

WWF スクールパリ協定 2018. 9. 19

IPCC1.5度報告書を読み解くために 必要な科学的知見

(一般財団法人)リモート・センシング技術センター(RESTEC)

参与

近藤 洋輝

1. 1.5℃問題: その意味と発端: ---2℃がまず焦点に---

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)と、 **UNFCCC** (Framework Convention on Climate Change):

- ◆ 1988年 : IPCCが発足
- ◆ 1990年: **IPCC**第1次評価報告書発表
- ◆ 1992年: **UNFCCC** が国連で採択

第2条: 「目的 (Objective)」 : The ultimate objective ... is to achieve, ..., **stabilization of greenhouse gas concentrations** in the atmosphere at a level that would **prevent dangerous anthropogenic interference** with the climate system. ...

- ◆ 1994 年 : UNFCCC 発効
- ◆ 1997年: UNFCCC : 第3回締約国会議 (**COP3**, 京都) で具体的な実施に関する「**京都議定書**」を採択。
 - ⇒2005年発効、2008年～2012年: **第1約束期間**として実施。
 - ⇒ 主に**1990年**を基準として先進国にのみ削減義務を負わせた。
- ◆ 2012 年 : COP18(ドーハ) で**京都議定書第2約束期間 (2013-2020)**の実施を採択。
- ◆ **パリ協定 (2015)** : 全員参加による2020年からの実施に合意。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC, 1988発足) による主要な科学的メッセージ(WG1の知見)

○1990年：第1次評価報告書(FAR): 410ページ

“増大している人為起源の温室効果は気候変化を生じさせるおそれがある”

“安定化のためには、温室効果ガスの大気中濃度を一定に抑える必要がある。”

○1995年：第2次評価報告書(SAR): 572ページ

“識別可能な(discernible)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): 881ページ

“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(66～90%の確からしさ)”

○2007年：第4次評価報告書(AR4): 996ページ

“気候システムの温暖化には疑う余地がない(unequivocal)”

“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観測された増加によってもたらされた可能性が非常に高い(90%以上の確からしさ)”

“Best estimate” や “likely range” が示されるようになった(モデル開発の進展)。

○2013～14年：第5次評価報告書(AR5): 1535ページ

・・・後述・・・

AR4が依拠した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」

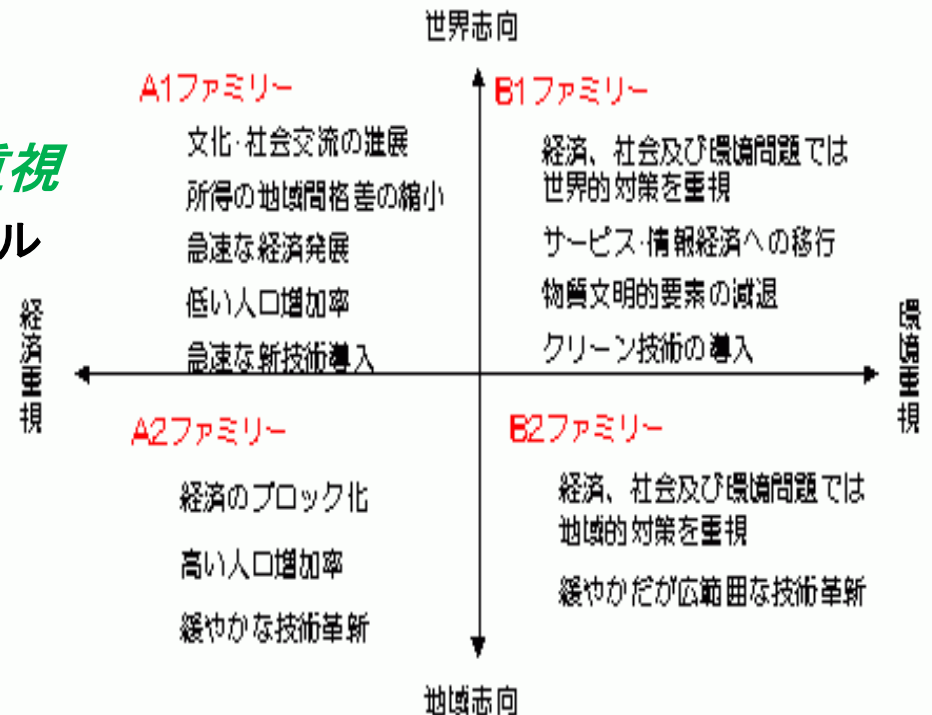
地域独自性、世界人口増加、経済成長・技術変化はばらつき、緩やかな技術革新など

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」

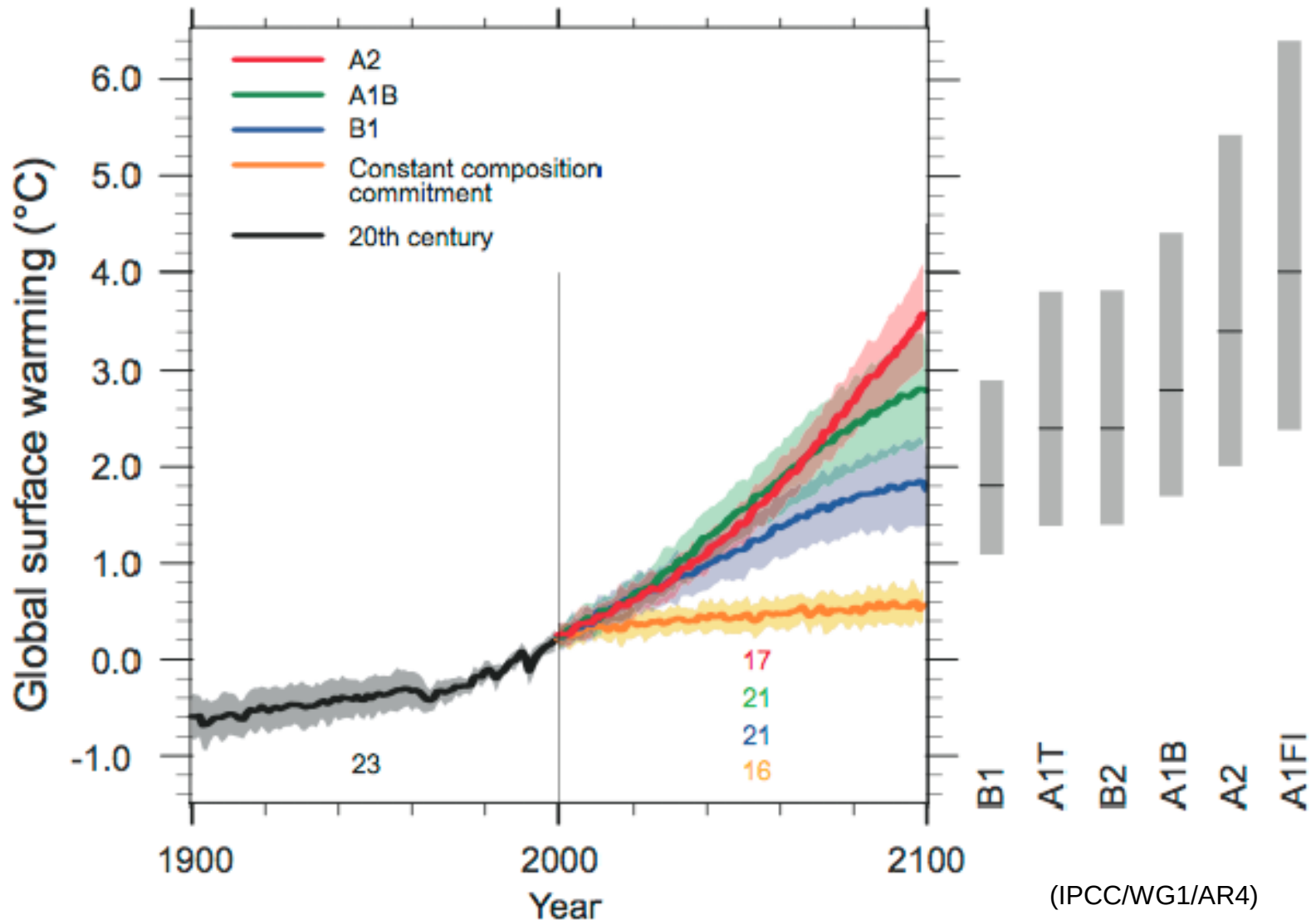
経済、社会及び環境問題では地域的対策重視、穏やかだが広範囲な技術革新



その他:

コミットメント: 今後濃度一定と仮定

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。

IPCC/WG1の第4次評価報告書(AR4, 2007)の 主要予測知見

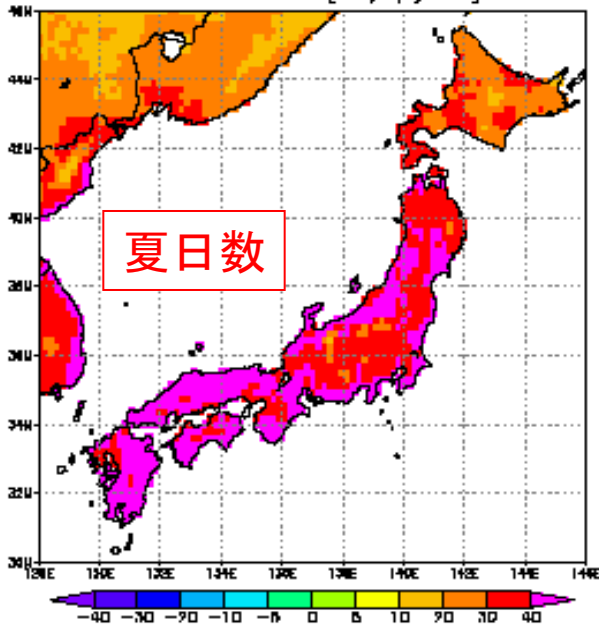
- 気候システムの温暖化には疑う余地がない。
- 近年の温暖化が温室効果ガスの増加によることは非常に可能性が高い。
- 猛暑、熱波、大雨などの極端な気象は、今後ますます頻度が増加する可能性が非常に高い。
- 炭素循環のフィードバックによると、温暖化はさらに進む。
- 熱帯低気圧(台風及びハリケーン)の強度は増大し、最大風速や降水強度は増加する可能性が高い。

上記のAR4の知見には、日本から先端・中心的な貢献をした。

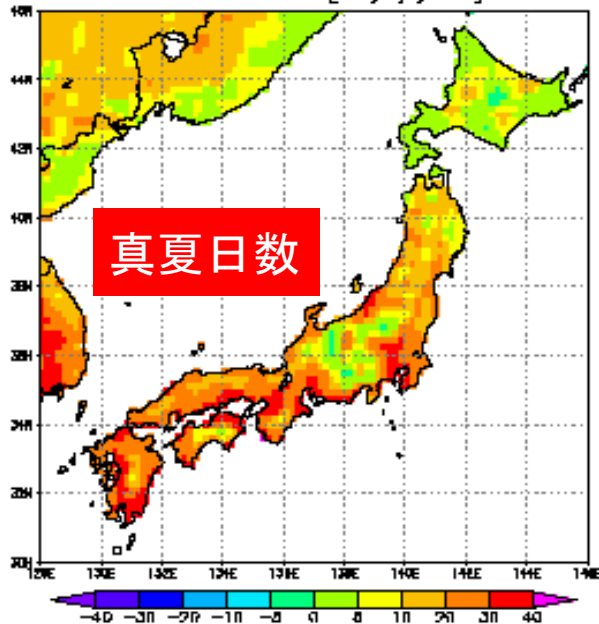
- 地球シミュレータの活用により、文部科学省の共生プロジェクトの下で、4つのグループがそれぞれ大きな成果を挙げた。
- その後、自然災害への影響評価も含む、文科省の新たな革新プログラムにより、主に長期予測、近未来予測、極端現象予測をテーマとする予測研究がAR5への寄与を目指した。

A1B(中程度排出シナリオ)で温暖化の高温/低温日数の変化分布 (JMA/MRI/AESTO)

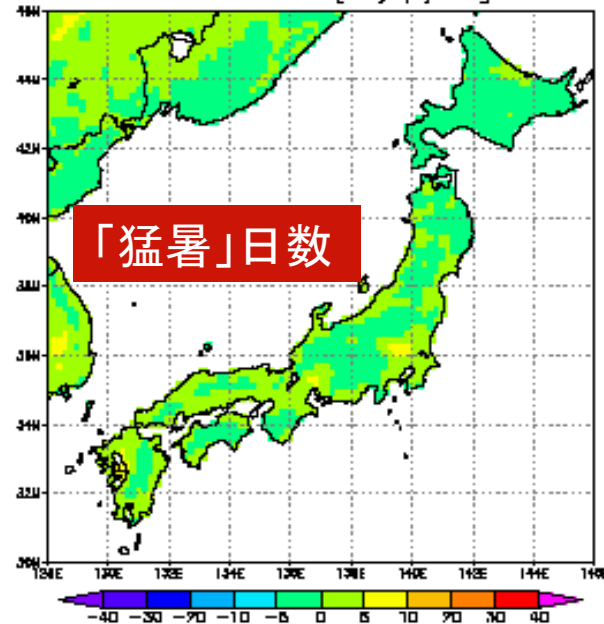
$T_{max} \geq 25.0$ [days/year]



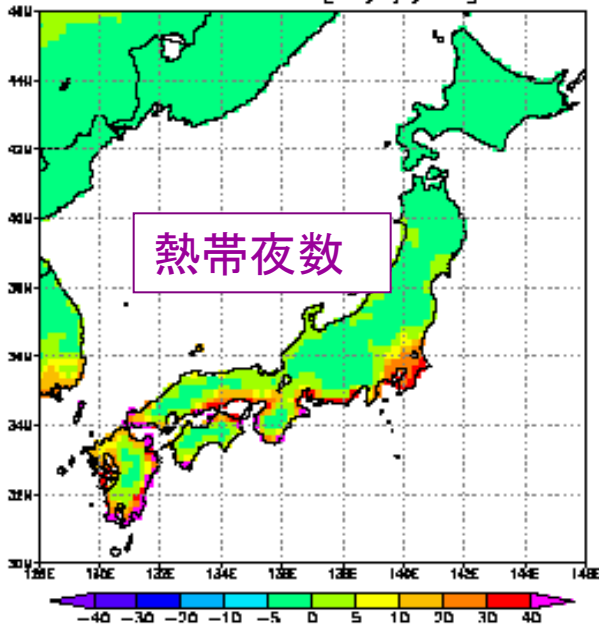
$T_{max} \geq 30.0$ [days/year]



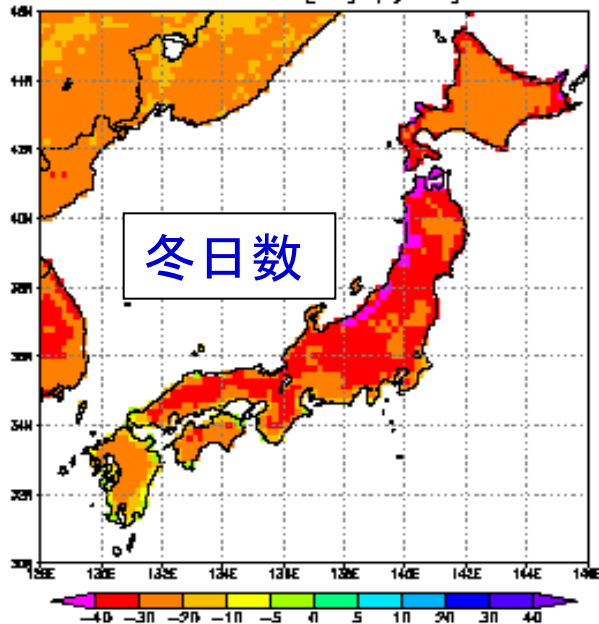
$T_{max} \geq 35.0$ [days/year]



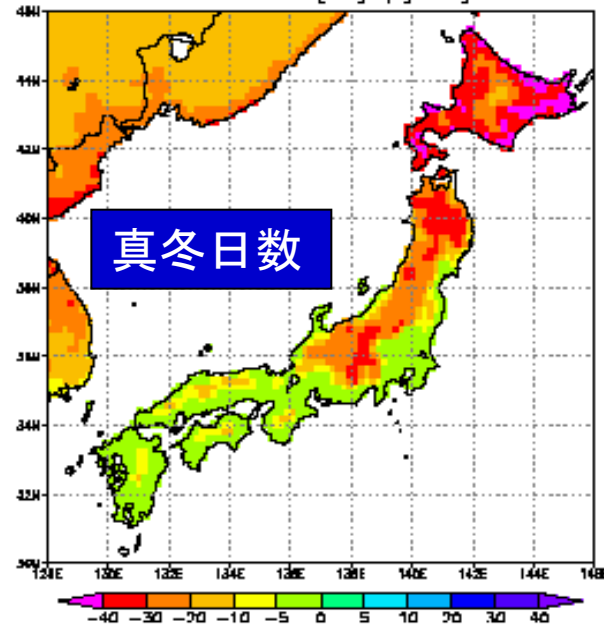
$T_{min} \geq 25.0$ [days/year]



$T_{min} < 0.0$ [days/year]



$T_{max} < 0.0$ [days/year]



生態系への影響 (AR4/WG2)

気温変化と生態系(極地、山岳地域などの動植物は特に脆弱)

◆ ΔT^* : +1.5 ~ 2.5°C (工業化以前より+2~3°C) なら
→ 2~3割が絶滅リスク増大

◆ ΔT^* : +3.5°C (工業化以前より+4°C) なら
→ 地球規模の重大な絶滅リスク

特に、サンゴへの影響は:

- 海面水温の1~3°Cの上昇*なら→サンゴの白化や広範な死滅が生じる可能性がある。
- 海水の酸性化(pHの減少)により成長が阻害される可能性がある。

* 注) ここでは、1990年と比較した世界平均気温の変化、
工業化以前から1990年までにすでに0.5°C上昇している。

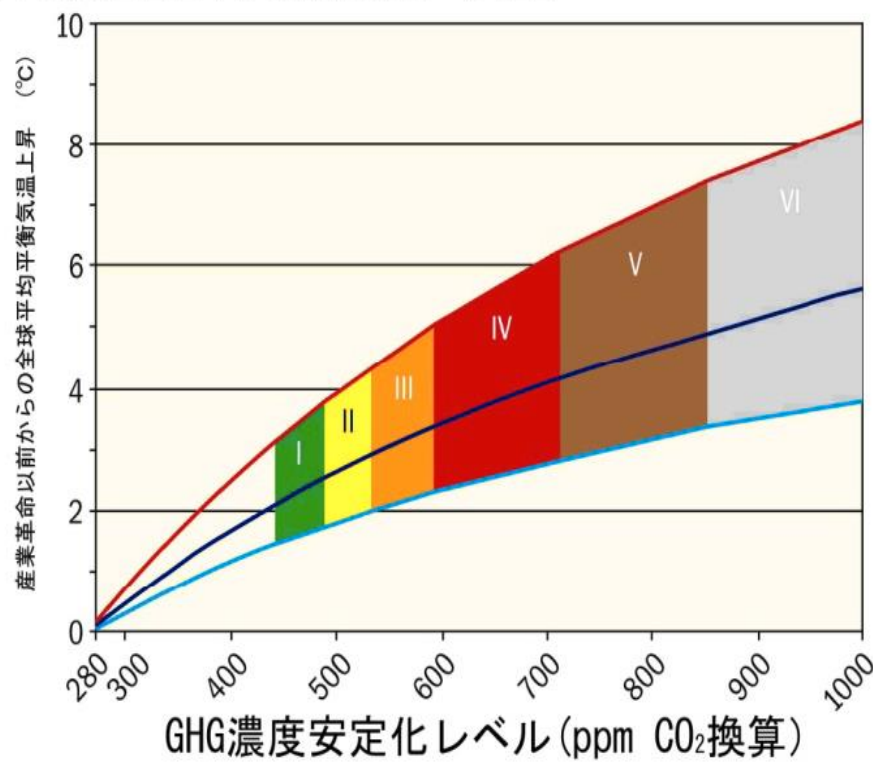
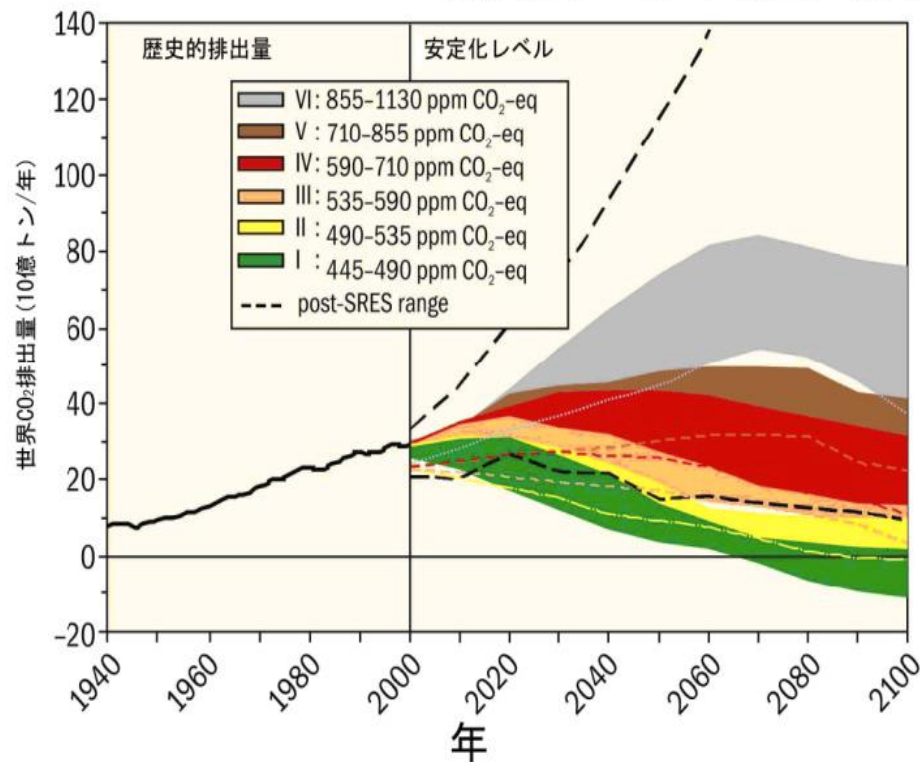
経済的影響(便益とコスト) (AR4)

気温上昇量による影響の評価 (AR4<WG2>):

- ΔT^* : $1 \sim 3^\circ\text{C}$ (工業化以前より $1.5^\circ\text{C} \sim 3.5^\circ\text{C}$) より小なら
便益が生じるところもコストの生じるところもある
- ΔT^* : $2 \sim 3^\circ\text{C}$ (工業化以前に比べ $2.5 \sim 3.5^\circ\text{C}$) より大なら
→ 全ての地域で正味の便益減少、あるいはコスト増大が生じる可能性が非常に大きい

* 注) ここでは、1990年と比較した世界平均気温の変化(工業化以前から1990年までに、すでに 0.5°C 昇温している)

安定化レベルの範囲におけるCO₂排出量と平衡気温の上昇量



文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省の資料(原典:AR4)

カテゴリー I : CO₂濃度を将来的に 350 ~ 400 ppm (温室効果ガスとエアロゾルを含む外力は CO₂濃度換算で 445—490ppm) に安定化が目標。

そのためには、CO₂排出量は2000年から2015年でピークに達し、2050年でのCO₂排出量は、2000年に比べ、-85 ~ -50 %という削減が必要。

(右図):「**最良の推定値**」では、工業化以前から**2.0 ~ 2.4度**(1990年からは**1.5 ~ 1.9度**)の上昇となる。

「工業化以前からのΔTを+2°Cで止める」→ 最も厳しいカテゴリー I が必要

付属書 I 国及び非付属書 I 国における、2020/2050 年の 削減割当レベル(Emission allowances levels) : WGⅢの知見

シナリオ・ カテゴリー	地域	2020	2050
A-450 ppm CO ₂ -eq ^b	付属書 I 国	-25% to -40%	-80% to -95%
	非付属書 I 国	ラテンアメリカ、中東、東アジアおよびアジアの計画経済国家では、ベースラインからかなり異なる対応 Centrally-Planned Asia	全ての地域でベースラインからかなり異なる対応
B-550 ppm CO ₂ -eq	付属書 I 国	-10% to -30%	-40% to -90%
	非付属書 I 国	ラテンアメリカ、中東、東アジアでベースラインから異なる対応	大抵の地域、とくにラテンアメリカ、中東でベースラインからかなり異なる対応 and Middle East
C-650 ppm CO ₂ -eq	付属書 I 国	0% to -25%	-30% to -80%
	非付属書 I 国	ベースライン	ラテンアメリカ、中東、東アジアでベースラインから異なる対応

コペンハーゲン会議 <COP15, 2009>

- (1) ポスト京都の交渉は先送り
- 京都議定書(実施期間2008-2012)の後継枠組みの策定はまとまらず、議論は2010年メキシコ市開催の次の国連気候変動会議に先送りとなった。

各国の異なる立場:

- 小島嶼国: 国土消失の危機。低い気温上昇で安定化すべき
 - 新興国: 今は経済成長最優先
 - 産油国: 石油の消費による収入が重要
 - LDC(後発開発国): 脆弱だから適応資金を
 - 先進国(日本、EU、米国など): 2℃の上昇で安定化
- しかし、2020年の中期的な削減率は不統一

コペンハーゲン会議<COP15, 2009>:

(2)コペンハーゲン合意 (Copenhagen Accord)

- 世界の主要な首脳によりまとめられた。
 - 産業革命以来の気温上昇を 2°C 以下にする
 - 先進国は2020年の削減目標を明示する
 - 途上国も削減行動を明示する
 - 先進国は途上国の適応に向け資金提供する
- COP15は、この「コペンハーゲン合意」に留意する(take note of the Copenhagen Accord)ことに決した。

Emissions pledges (commitments)

(up to November 2010)

- **31 January 2010** was set under the Accord as an initial deadline for countries to submit emissions reductions targets. But, UNFCCC Secretary Yvo De Boer later clarified that this was a "**soft deadline**." So, Countries continued to submit pledges past this deadline.

According to an updated analysis by **Climate Action Network** (**CAN**, a non-government organization: see <http://www.usclimatenetwork.org/>),

- **138 countries**, including the 27-member EU, are likely to or have engaged with the accord, representing **86.76%** of global emissions
- **8 countries** will not engage with the accord, representing **2.09%** of global emissions
- Others are not yet responding.

カンクン合意<COP16, 2010>(1):長期的対応課題

- 「共有のビジョン」(長期目標達成)の下で、**工業化以前からの気温上昇を2℃に抑えるという長期目標**に向け、2050年までの大幅削減や、排出のピークアウトをどうするか具体的な判断を今後考慮する。
- **上記2℃に関しては、1.5℃で抑えるという観点との関係も含め、定期的なレビューを行うこと。最初のレビューの時期は、2013年～15年とする。**
- 適応の強化のため、「カンクン適応枠組み」を立ち上げ、そのための適応委員会の設置を決めた。

カンクン合意(2)京都議定書の延長問題

- **京都議定書の切れ目のない延長に向け**決着を図る。
- 附属書 I 国(先進国・経済移行国)のコペンハーゲン合意への目標提示(次のスライド参照)のレベルアップを目指す。
- 削減目標は、**定量化した、制約・削減の目標**(QELRO= Quantified Emission Limitation and Reduction Objective)に変換する必要がある。

2. 気候変動の実態に関する AR5及び最新の科学的知見

気候システムの観測された変化 (AR5)

◆ 気候システムの温暖化は疑う余地がなく (*unequivocal*) 1950年代以降において、多くの観測された変化は、数十年から数千年にわたって前例がない。

- * 大気と海洋は暖まり、
- * 雪氷の量は縮小し、
- * 海面水位は上昇し、
- * 温室効果ガスは増加した。

全球平均地上気温

(IPCC/AR5)

1850 - 1900年の平均から

(工業化初期:工業化以前に近い)

2003 - 2012年の平均まで

(最近の10年)

平均的昇温: **0.78** [0.72~0.85] °C

また、

1880年 から 2012年までに、

[工業化初期]

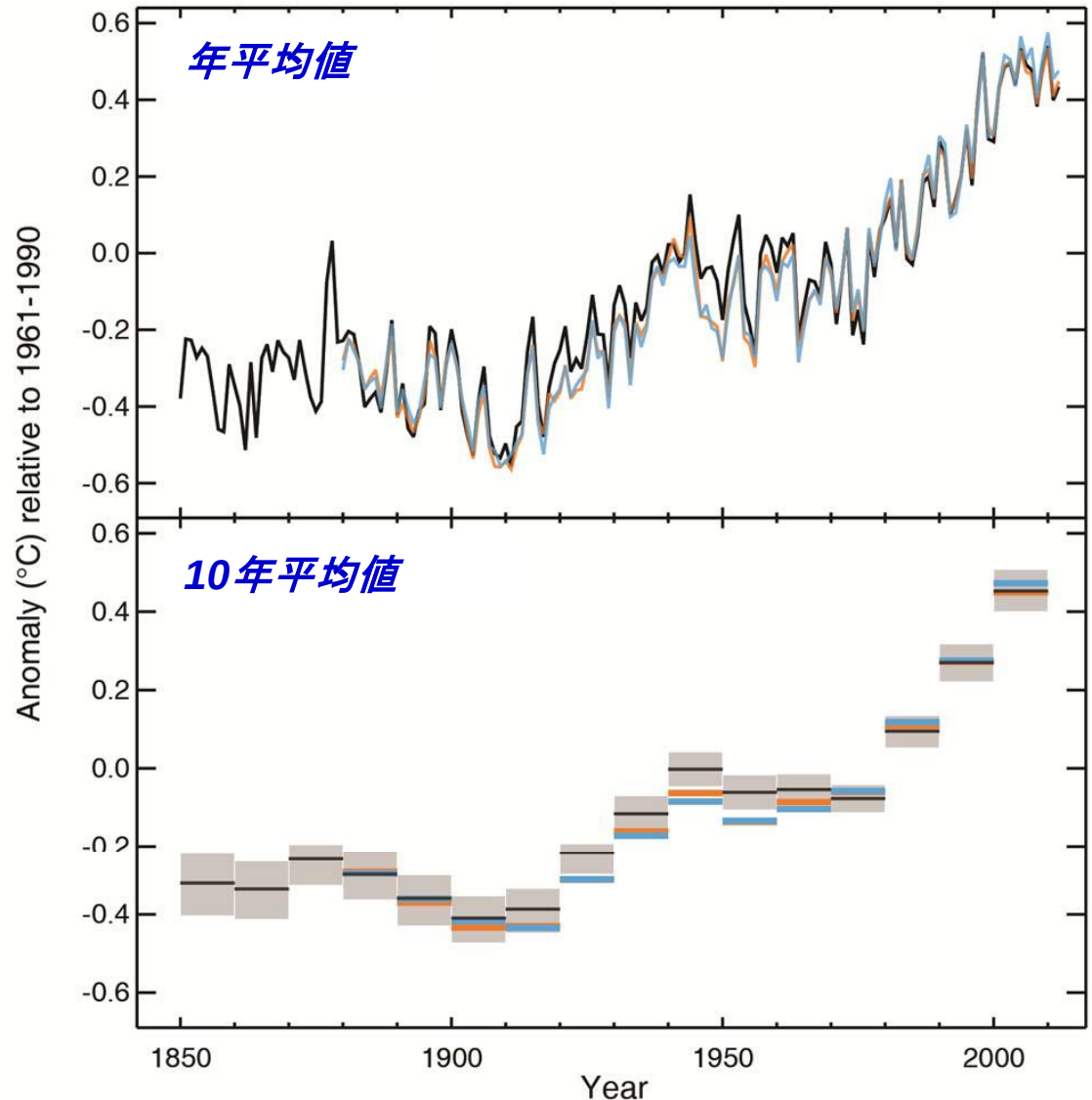
[現在]

0.85 [0.65~1.06] °Cの昇温

過去直近3回の10年間は
地球表面が、1850年以来、
どの10年間よりも暖か
かった。

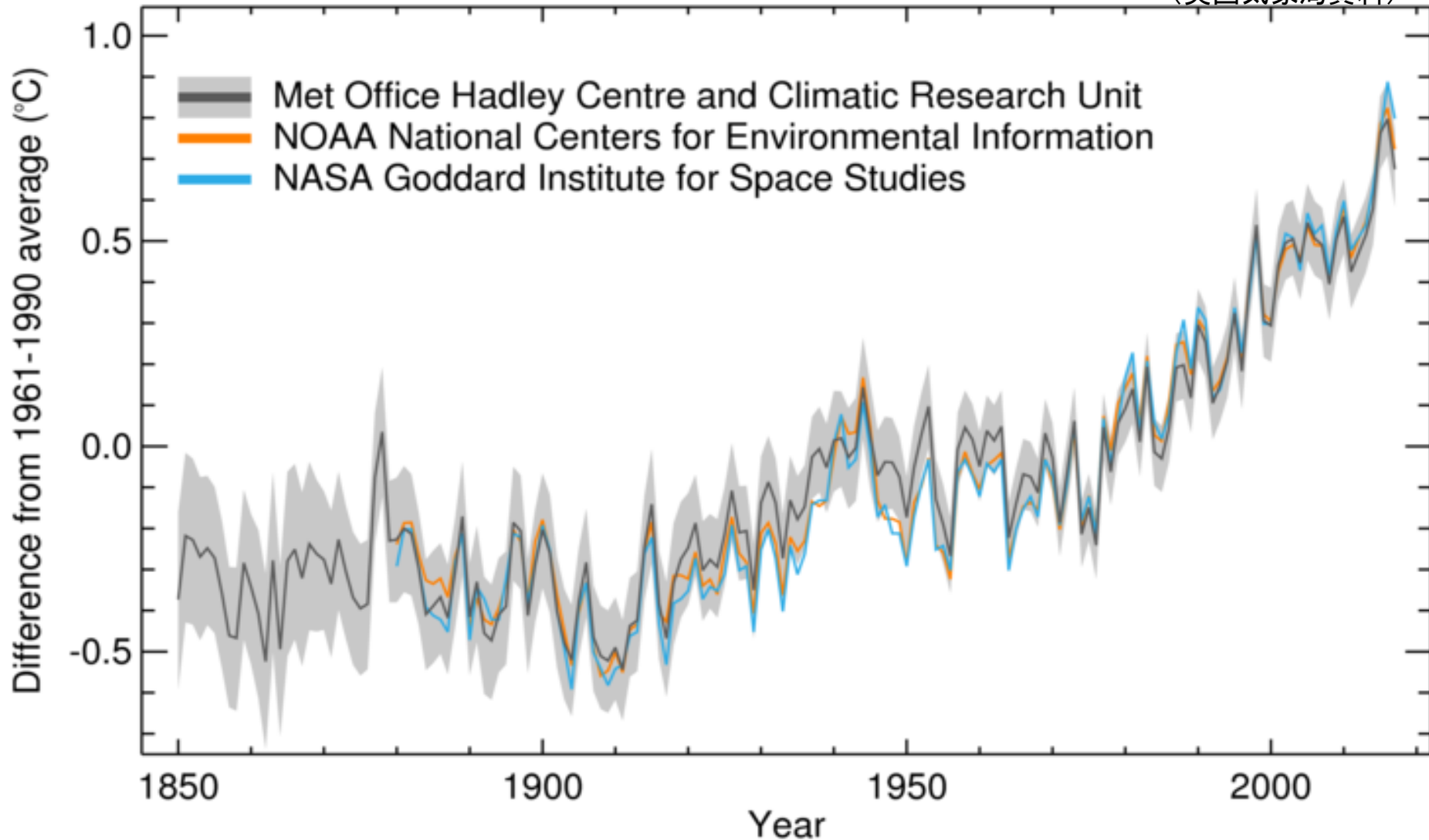
(a)

Observed globally averaged combined land and ocean
surface temperature anomaly 1850–2012



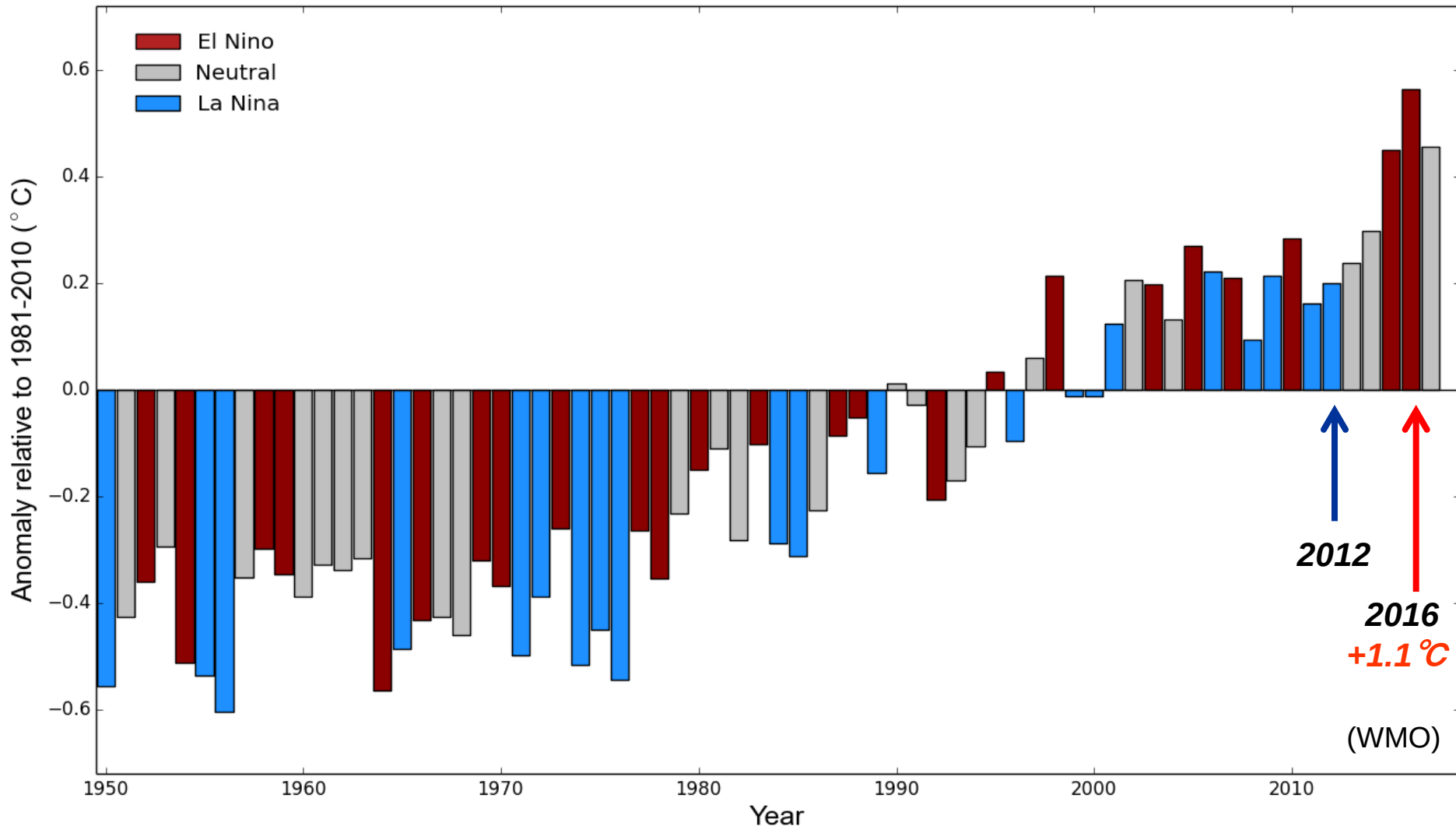
Global average temperature anomaly (1850-2017)

(英国気象局資料)



**WMO: 2016年は世界平均気温が工業化以前より1.1℃高く、
観測史上最も高い年であった (2017年1月18日)**

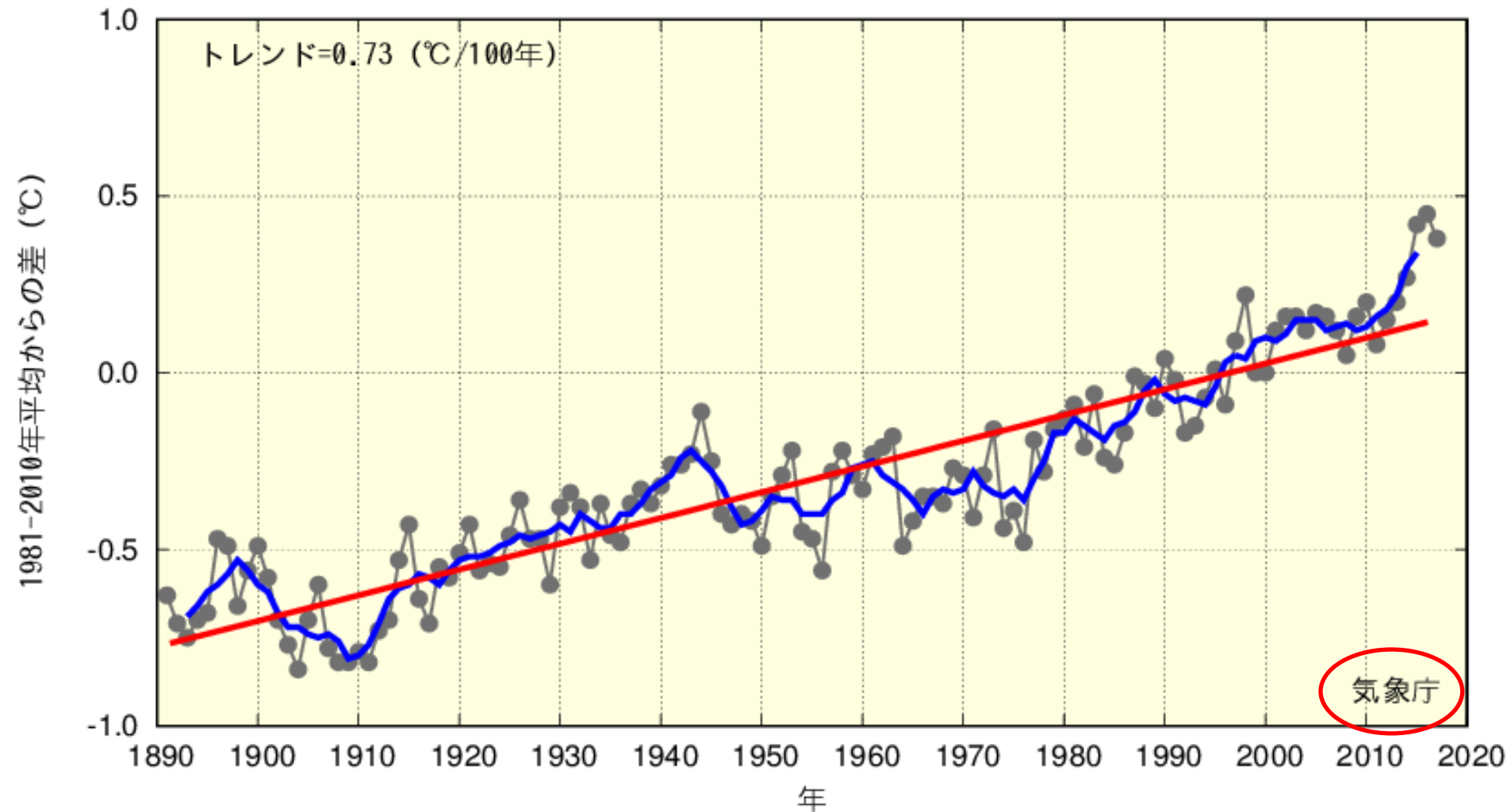
世界平均気温 <1950～2018年> (1981-2010年平均からの偏差で表示)



WMO(2017年1月18日): 2016年は世界平均気温が工業化以前より1.1℃高く、観測史上最も高い年であった

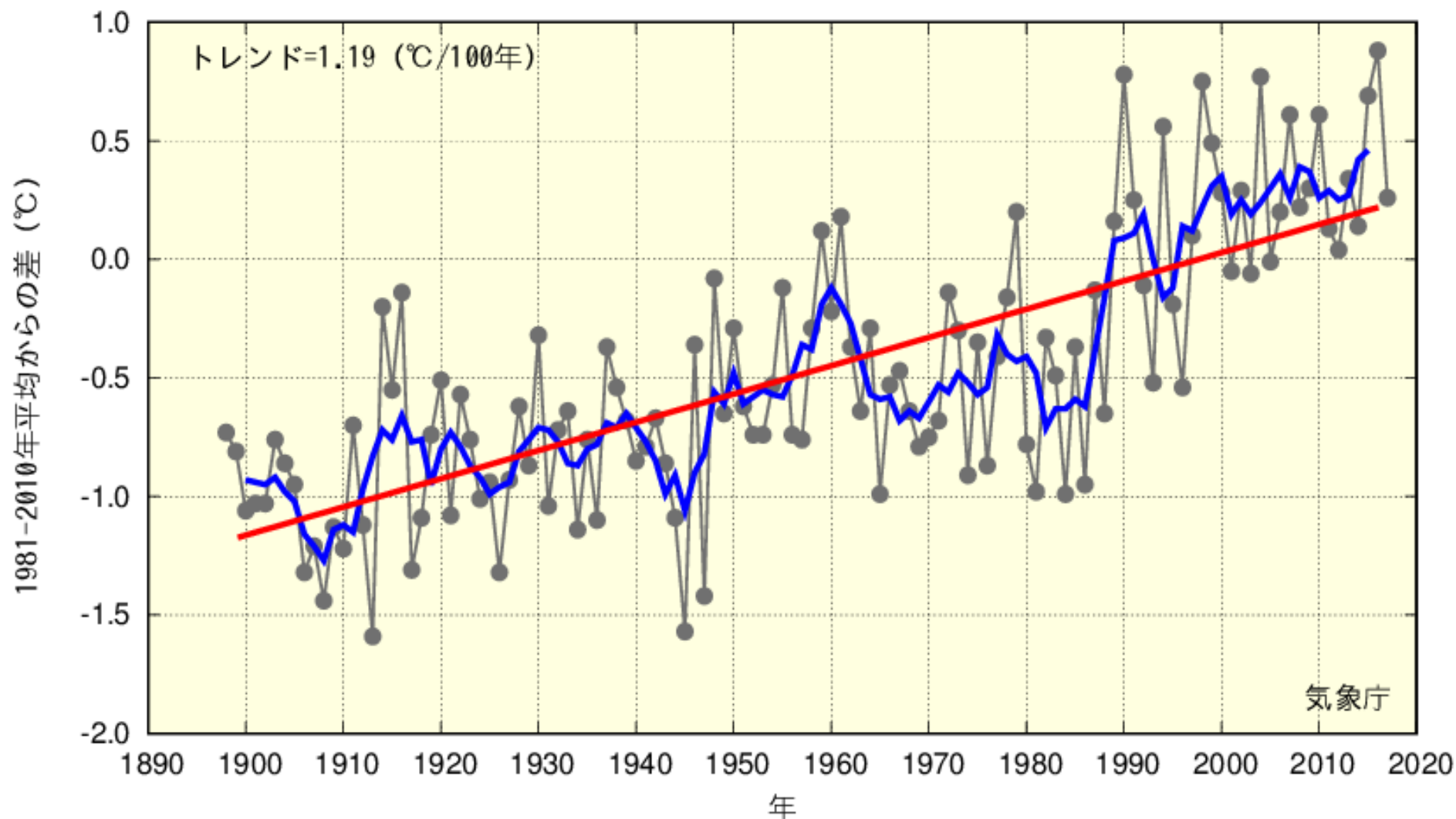
WMO(2018年1月18日): 2017年は、14.3℃で、観測史上最も温暖な3年に含まれる

世界の年平均気温偏差 (期間:1891年~2017年)



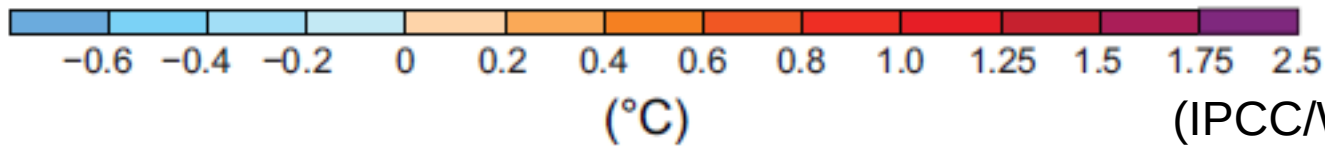
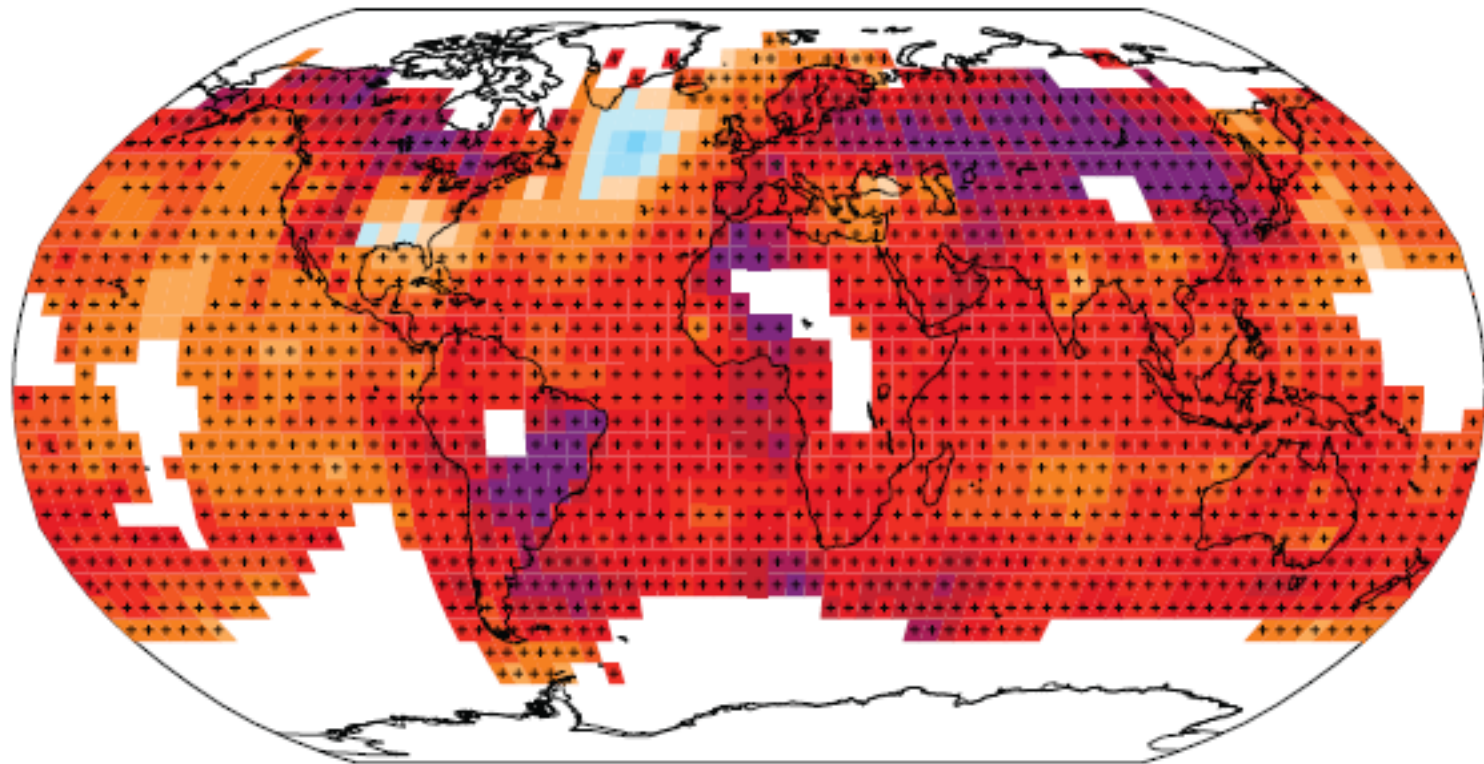
2016年の世界の(全球)年平均気温は、統計開始年の1891年以降で最も高い値となった
(気象庁, 2017)

日本の年平均気温偏差



気温の変動には、地域差がある。日本では都市化の影響の少ない15地点における気温の平均では世界平均とは若干異なる変動であるが、2016年は記録的な高温年であった。

全球平均地上気温変化

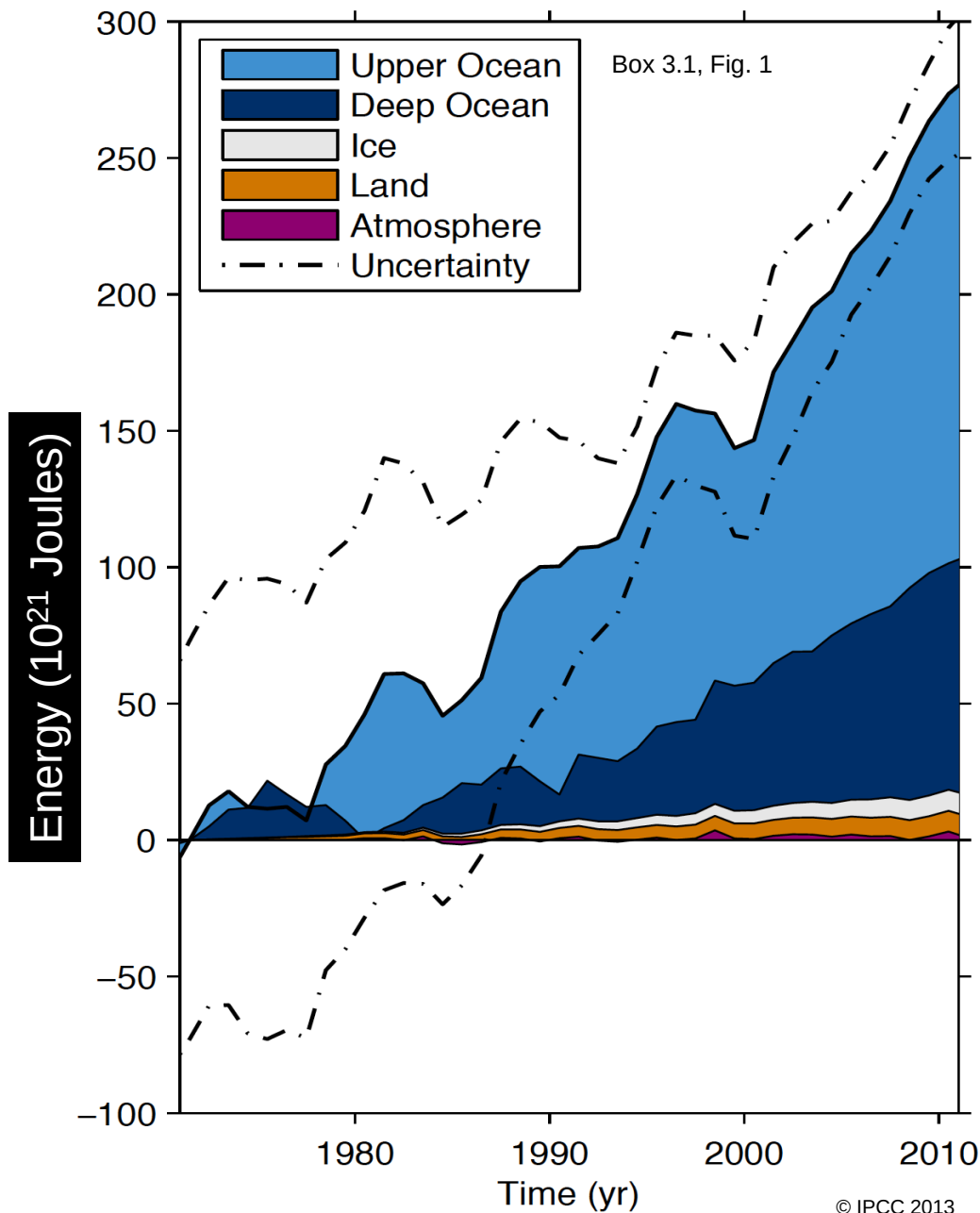


(IPCC/WG1/AR5)

地域的傾向の算定に十分なデータのある最長期間 (1901–2012) にわたり、
ほとんど全ての地球の地域が、地上気温の上昇に見舞われた。

極端現象(AR5)

- 1950年頃以来、多くの極端気象・気候現象の変化が観測されてきた。寒い日・寒い夜の数が減少し、暑い日・暑い夜の数が増加したことは全球的に非常に可能性が高い。
- 熱波の頻度は、ヨーロッパ、アジア及びオーストラリアのいずれも大部分で増加した可能性が高い。
- 陸域では、大雨現象が増加した地域のほうが減少した地域よりも多い可能性が高い。
- 北米やヨーロッパでは、大雨の頻度あるいは強度が増大した可能性が高い。その他の大陸では、大雨現象の変化に関する確信度はせいぜいで、中程度である。



IPCC/WG1/AR5

海洋の温暖化は、気候システムに貯留されたエネルギー増加において卓越しており、1971年から2010年に蓄積されたエネルギーの約**93%**を占めている(**高い信頼度**)

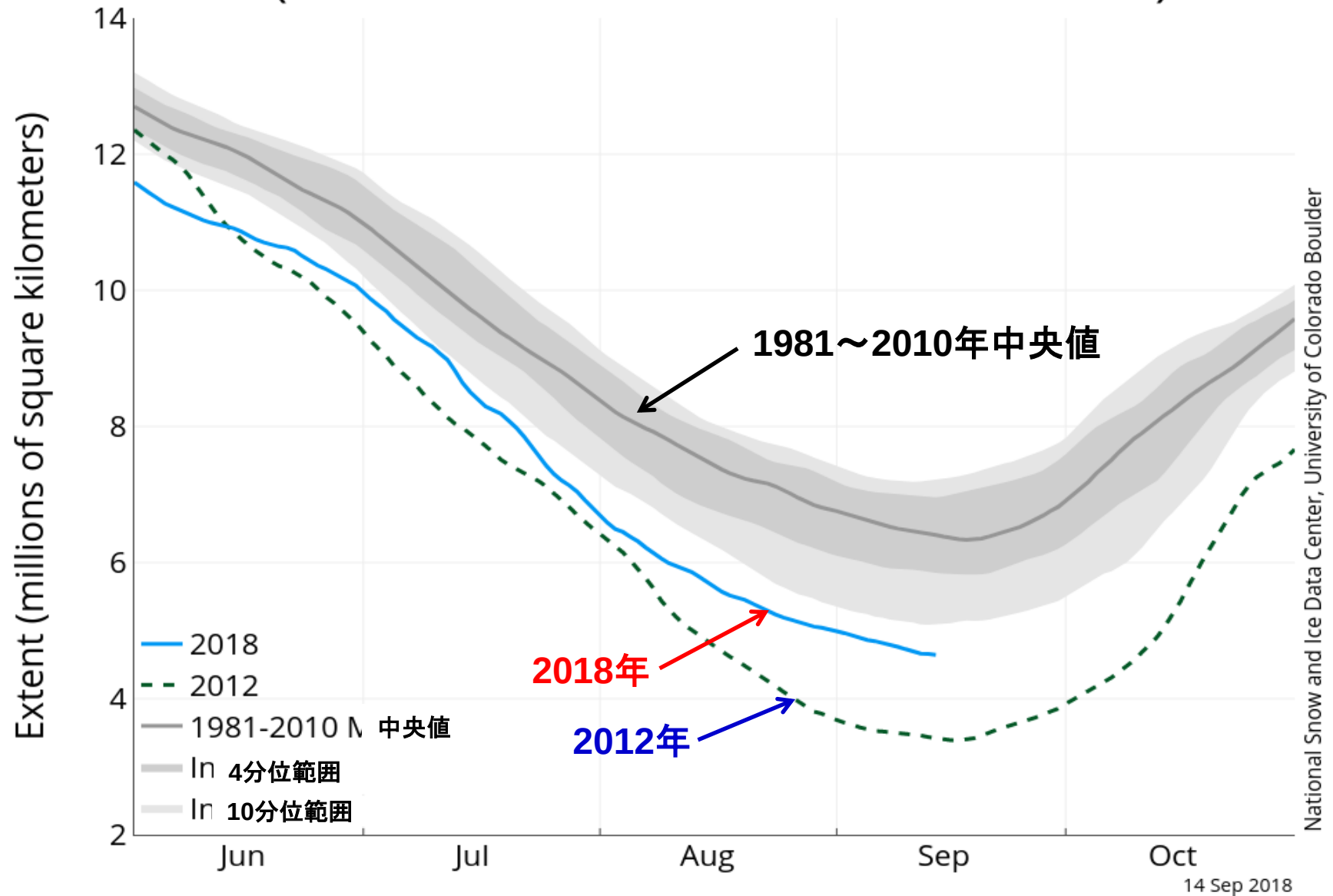
(大気は**1%**ほどに過ぎない)

海洋表層 (上部): 700mまで

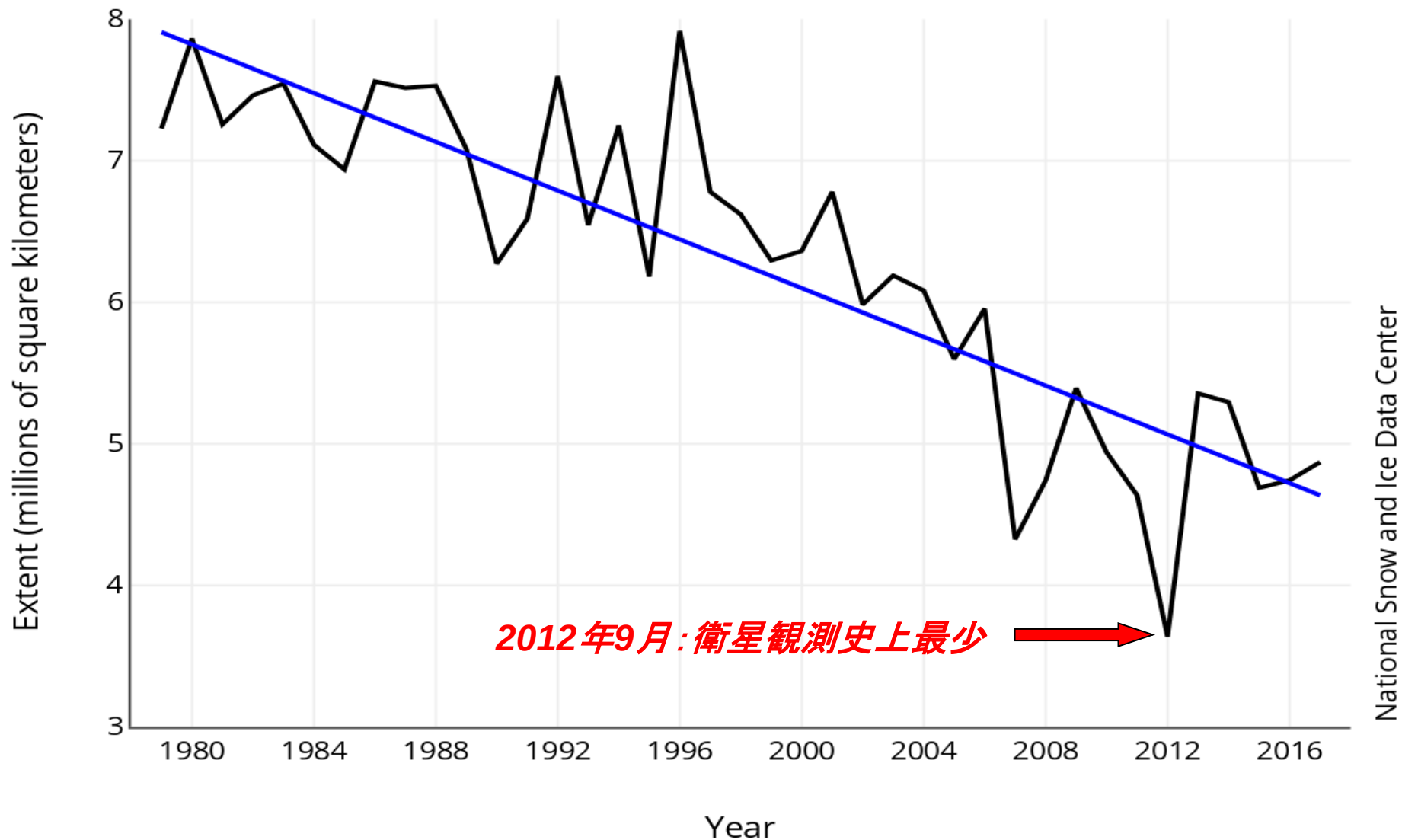
海洋深層: 700 m以深

(1992年からは2000m以深の見積もりも含む)

Arctic Sea Ice Extent (Area of ocean with at least 15% sea ice)

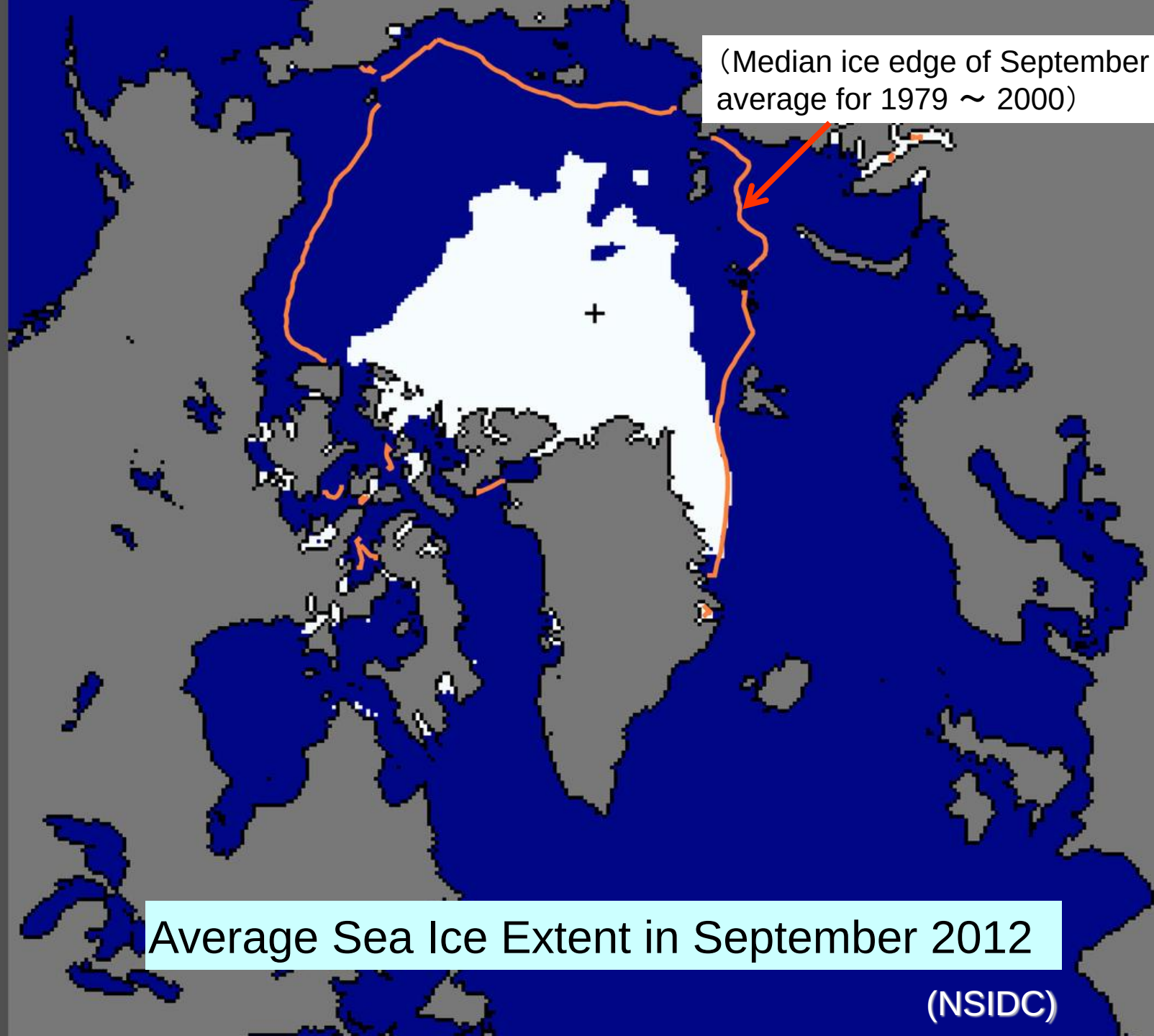


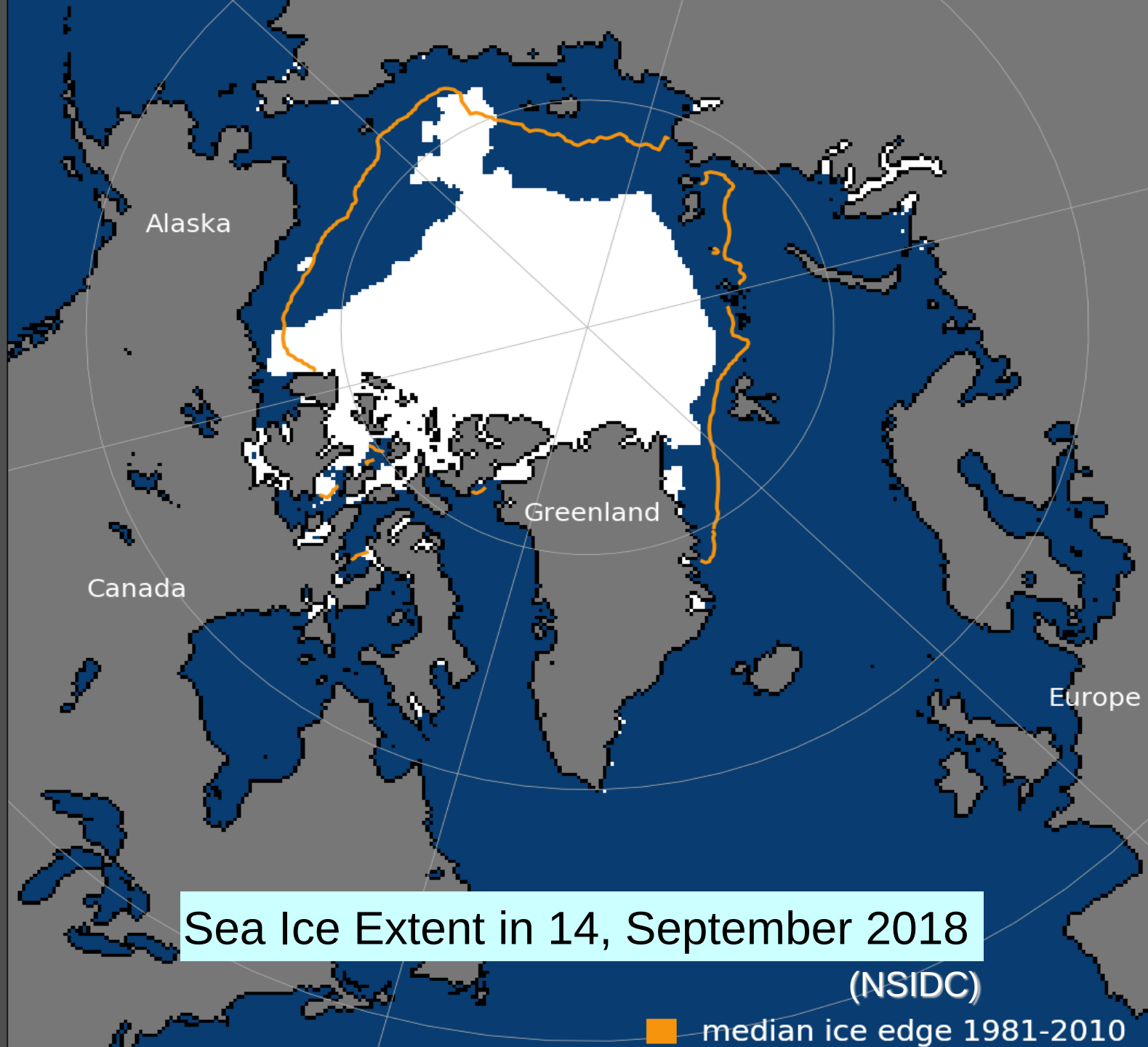
Average Monthly Arctic Sea Ice Extent September 1979 - 2017

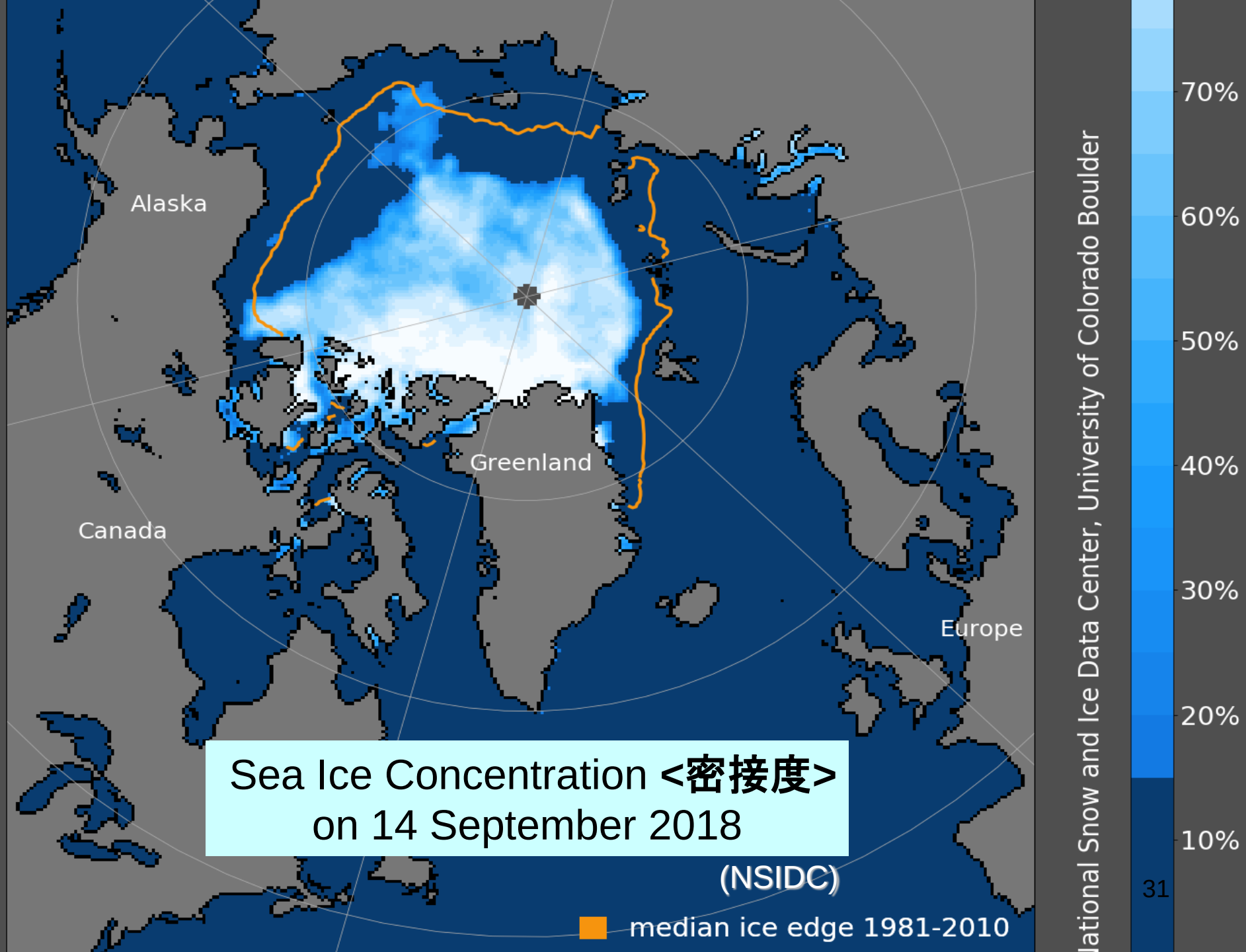


(Median ice edge of September average for 1979 ~ 2000)

Average Sea Ice Extent in September 2012
(NSIDC)





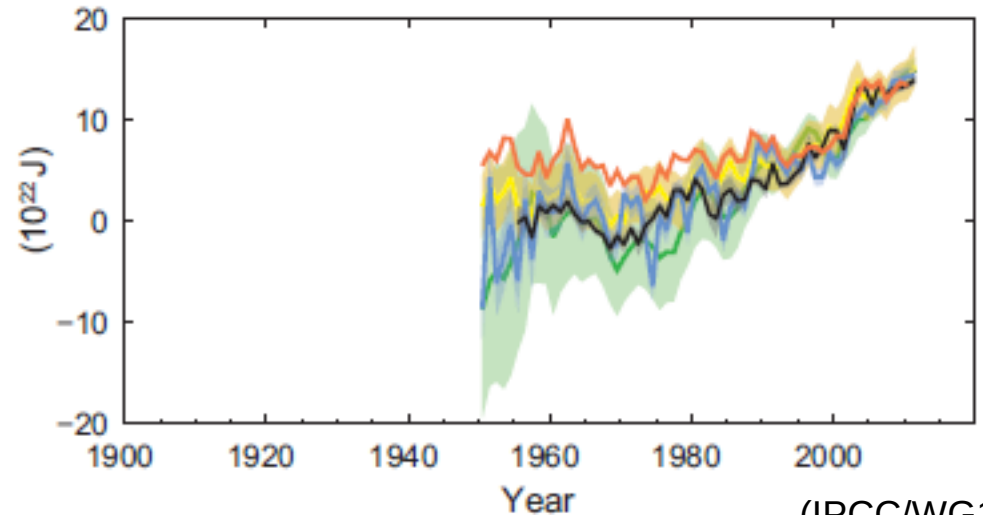


Ocean heat content and global average sea level

海洋表層(0-700 m)
が1971から 2010にか
けて温まったことは**ほ
ぼ確実**

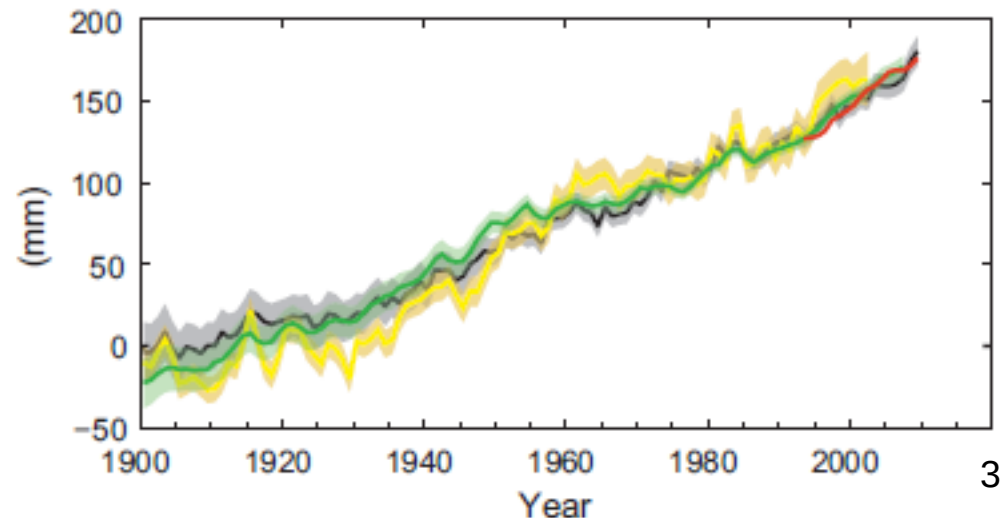
1901～2010において、
**全球平均海面水位は、
0.19 [0.17 to 0.21] m上昇**
(年率: **1.7 [1.5～1.9] mm yr^{-1}**)
ただし、地域性がかなりある(例:
日本沿岸域)

(c) Change in global average upper ocean heat content



(IPCC/WG1/AR5)

(d) Global average sea level change



海面水位

- ◆ 19世紀半ば以降の海面水位上昇率は、それ以前の2000年間の平均上昇率よりも大きい(高い確信度)。＜高上昇率への遷移＞
- ◆ 1901～2010年: 全球平均海面水位は 年率1.7 [1.5～1.9]mmyr⁻¹で上昇
特に上記のうち、最近年に関しては:
- ◆ 1993～2010年: 全球平均海面水位は 年率3.2 [2.8～3.6]mmyr⁻¹で上昇
- ◆ 直上記への観測された要因合計: 2.8[2.3～3.4] mmyr⁻¹ (下記では[]は省略) :

海洋熱膨張: 1.1mmyr⁻¹

氷河の変化: 0.76mmyr⁻¹

グリーンランド氷床の変化: 0.33mmyr⁻¹

南極氷床変化: 0.27mmyr⁻¹

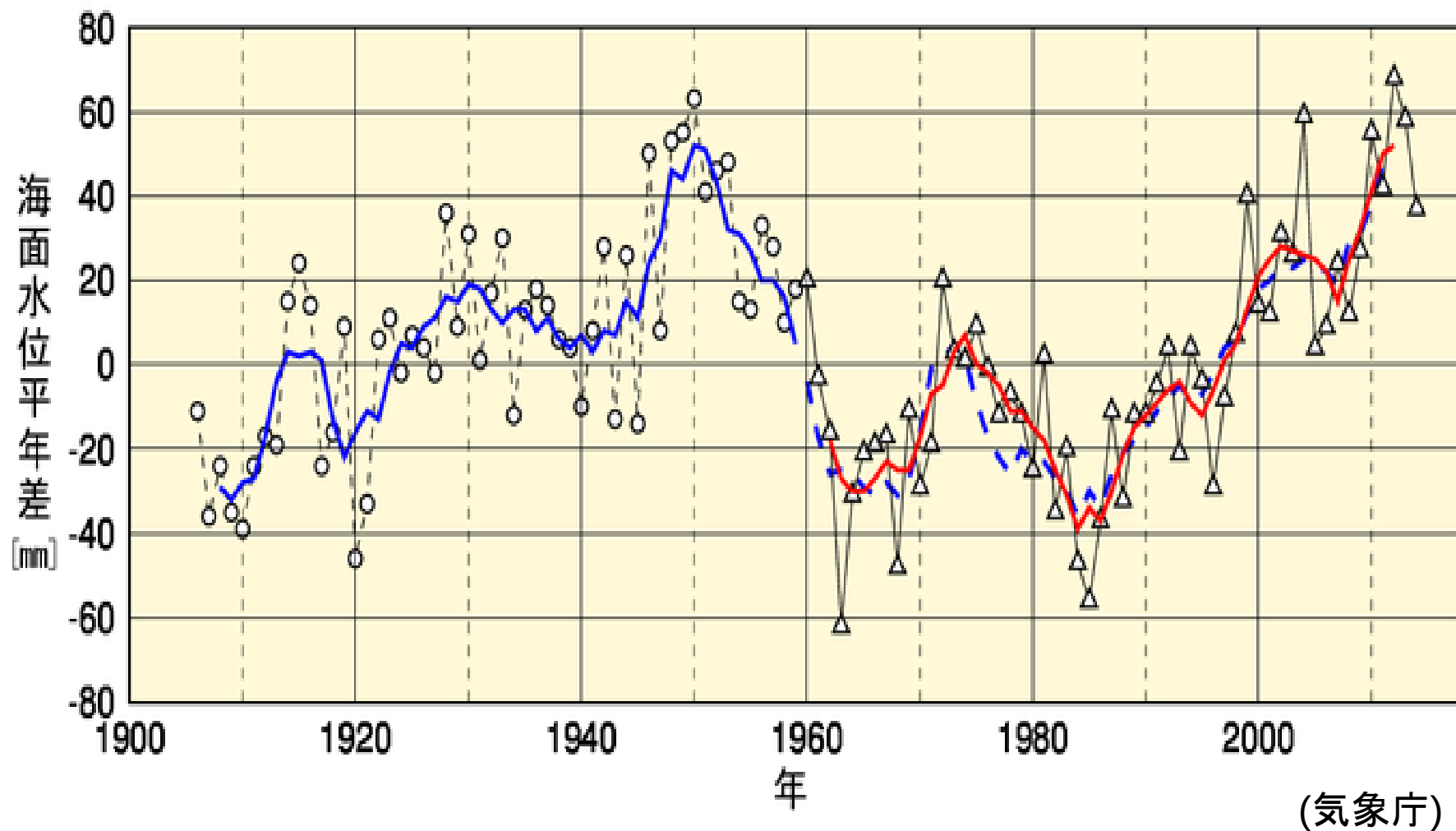
陸域貯水量の変化: 0.38mmyr⁻¹ :



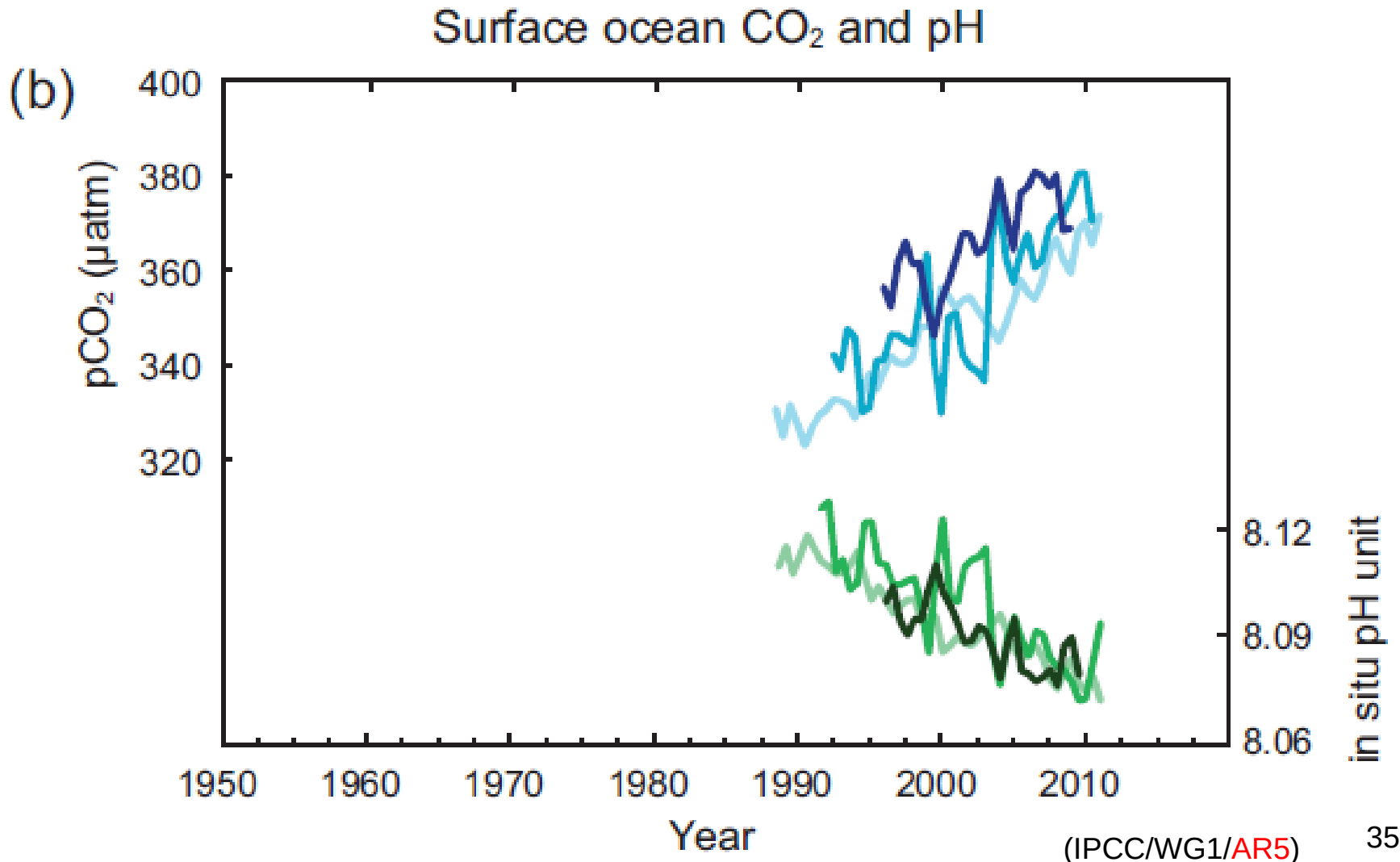
AR5新知見

留意点: 全球平均の海面水位の変化は地域的には一様ではない。

例) 日本沿岸の海面水位の変化

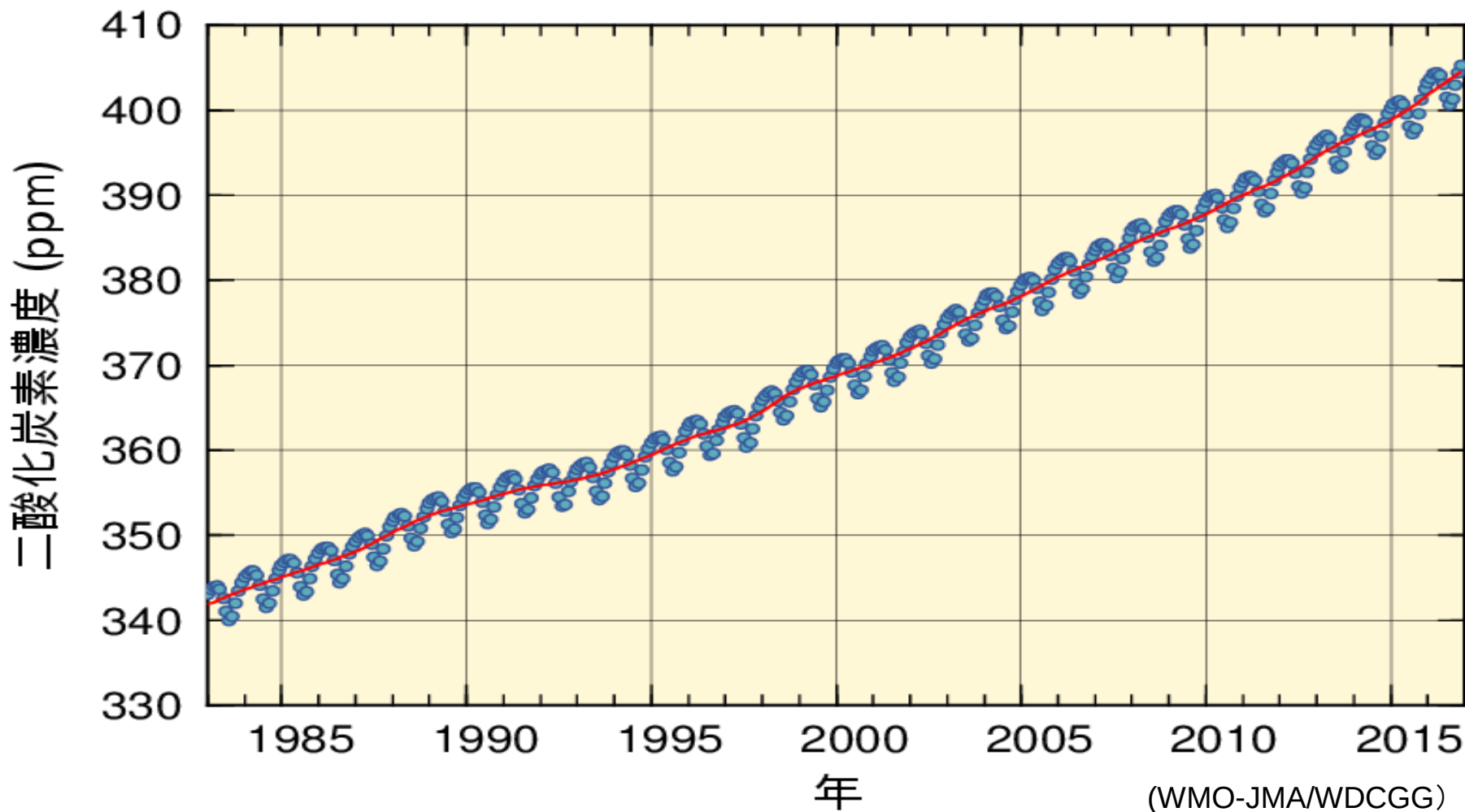


海洋は排出された人為起源のCO₂の約30%を吸収し、
海洋酸性化(pHの減少)を引き起こしている



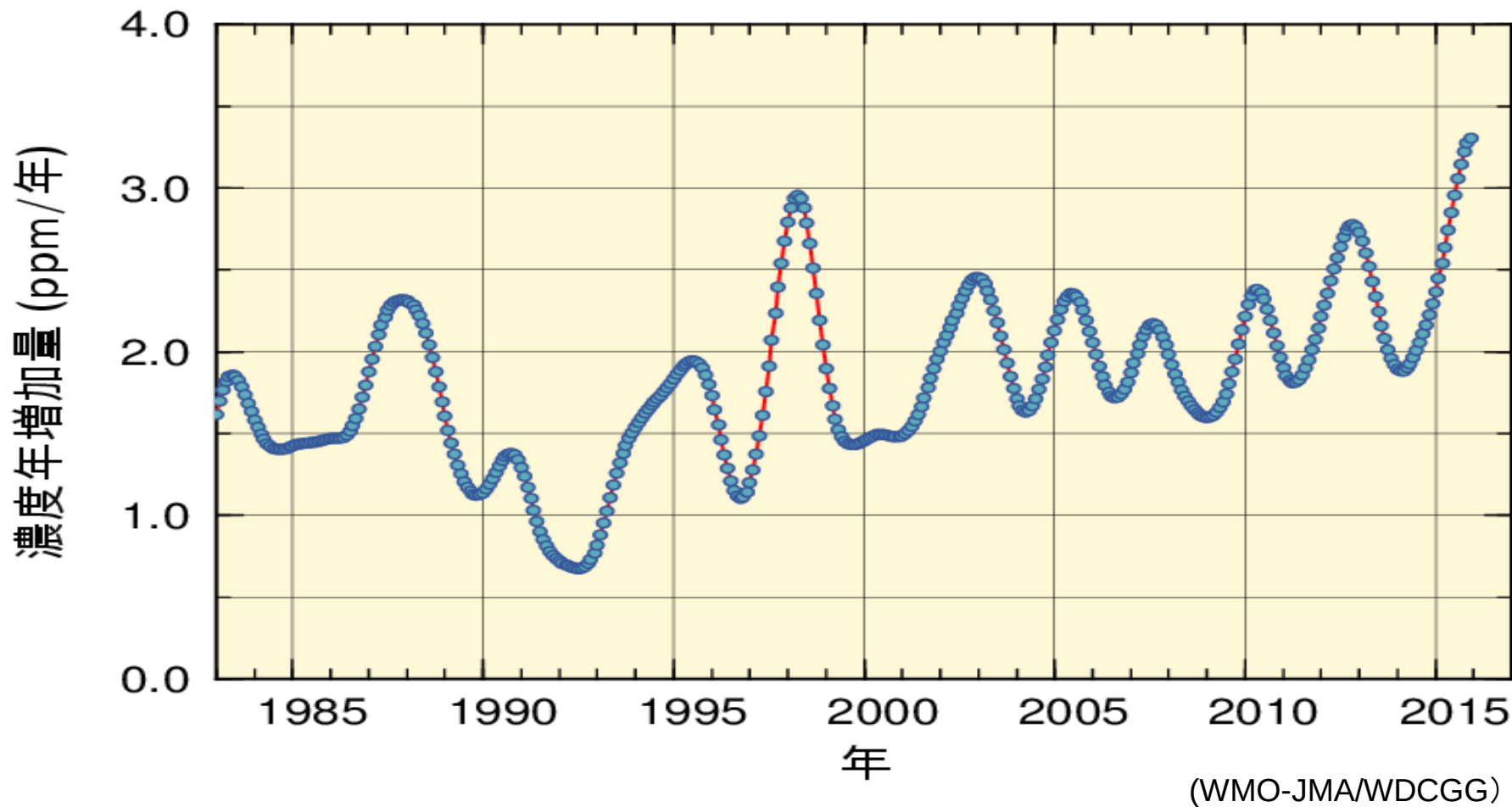
大気中CO₂の世界平均濃度の経年変化 (赤線: 季節変動分を除去)

1750年: 推定 278 ppm (IPCC/AR5) → 2016年: 403.3 ppm (+45%)



◆ 北半球の観測で月平均値が2014年4月に初めて400ppmを超えた。』(WMO)

大気中 CO_2 の世界平均濃度の年増加量 (赤線: 季節変動分を除去)



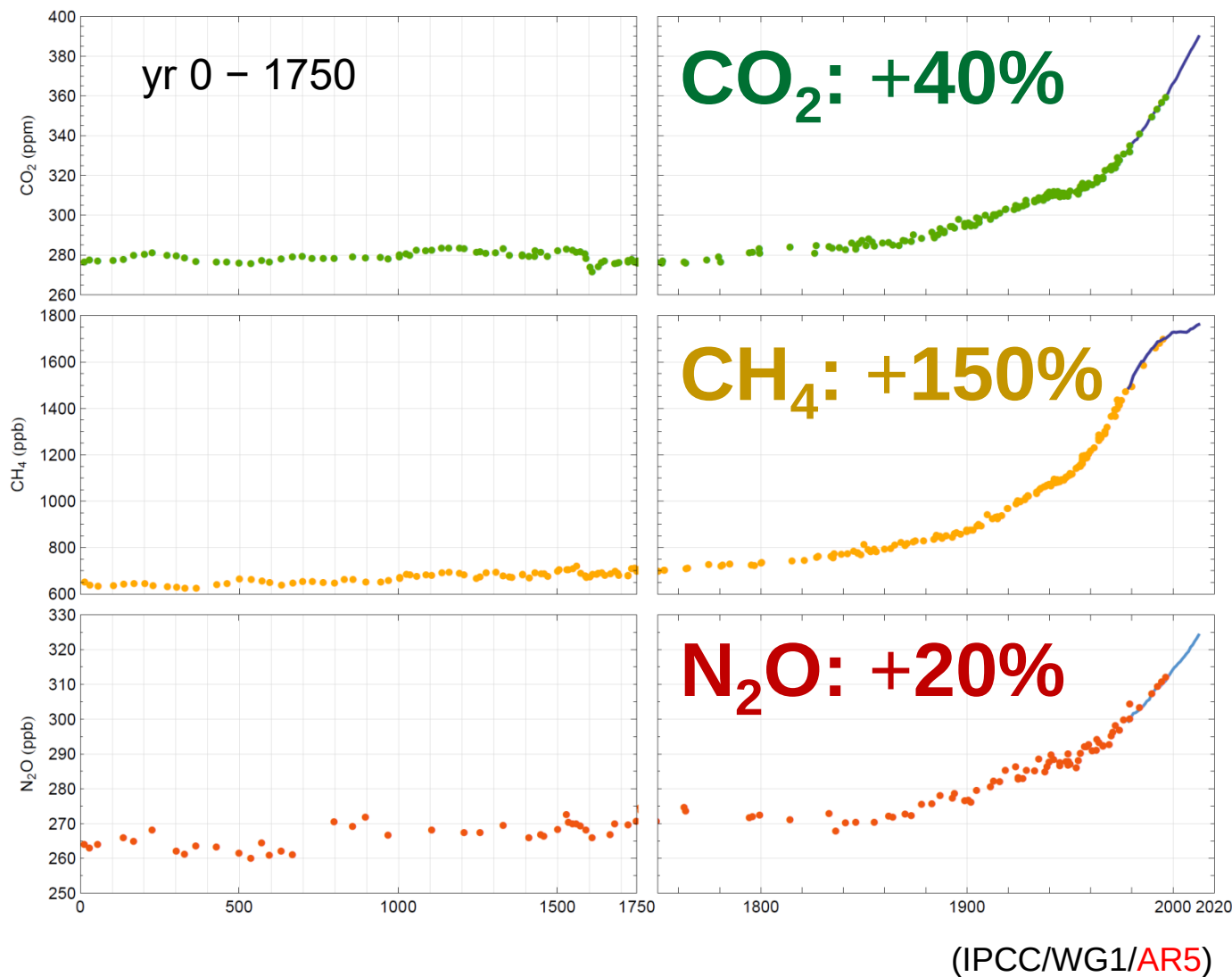
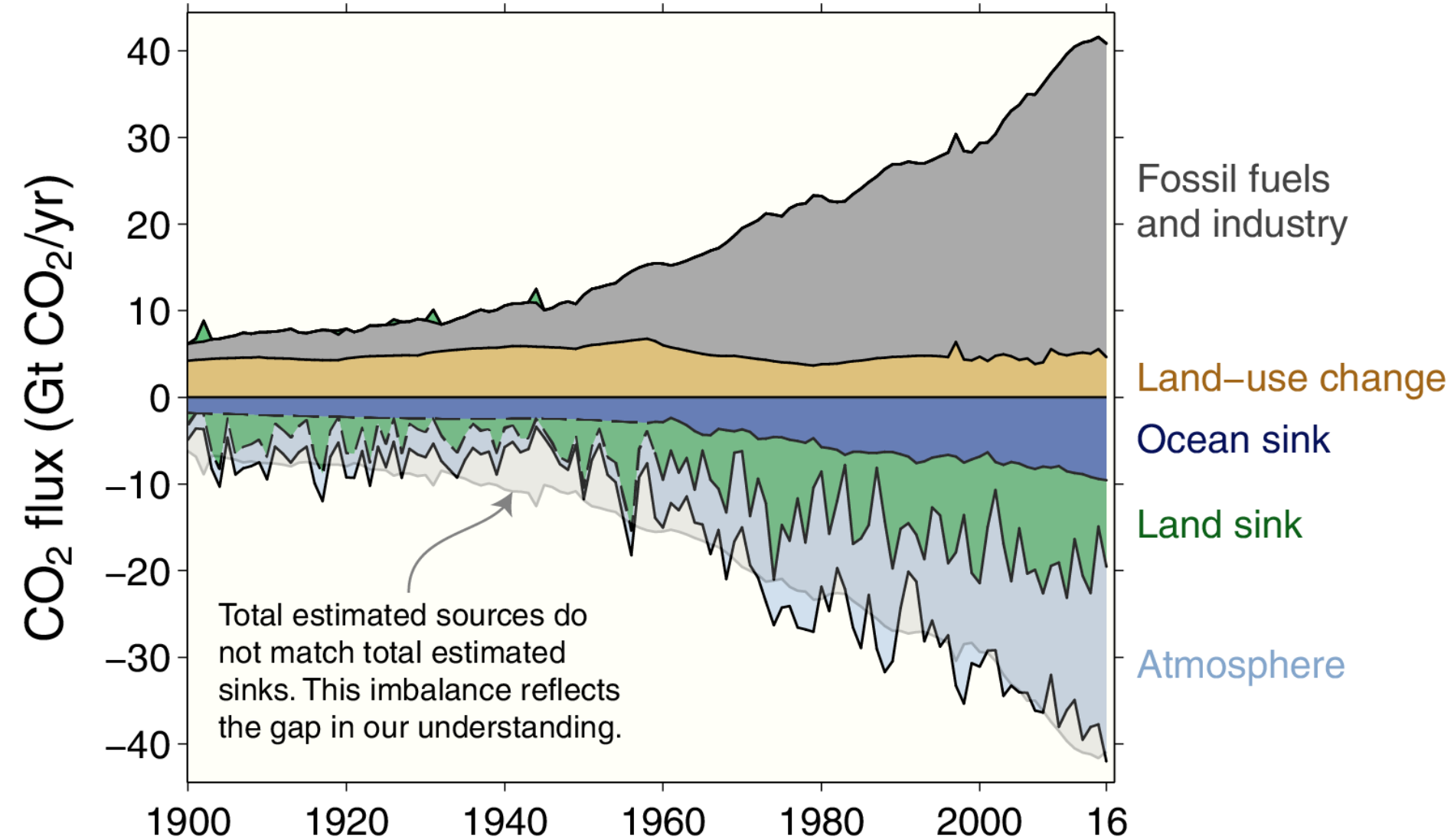


Fig. 6.11

CO₂、CH₄、N₂Oの大気中濃度は全て1750年以来、人間活動により増加してきた。

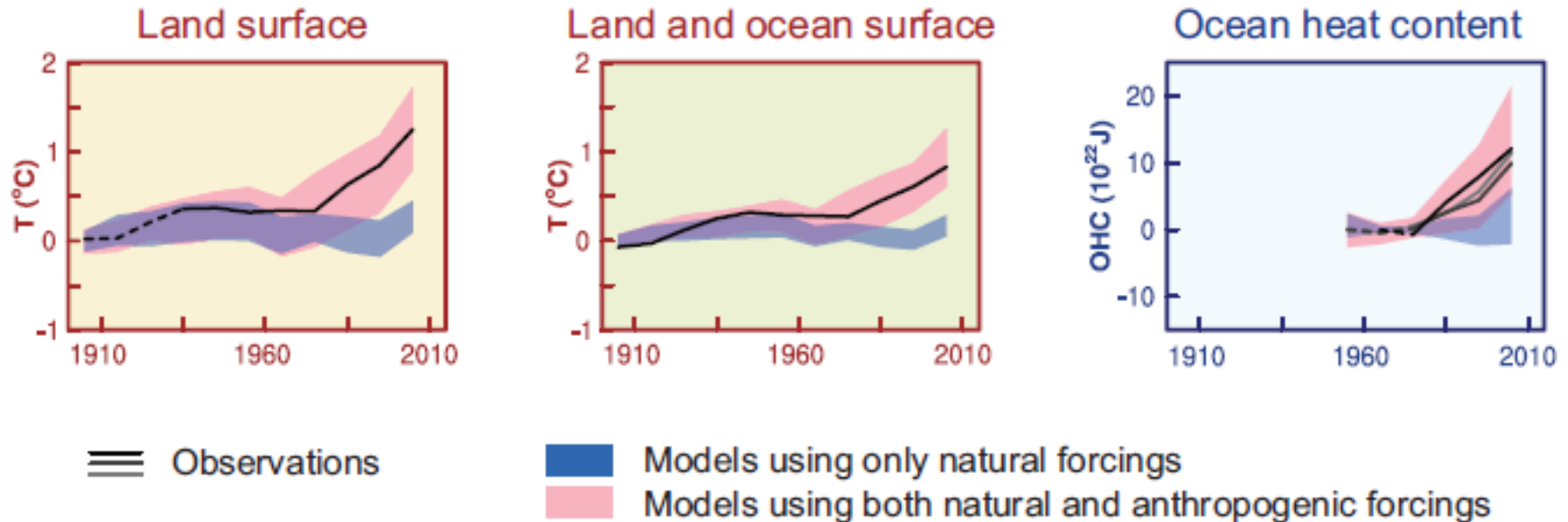
Data: CDIAC/NOAA-ESRL/GCP





観測・再現された平均気候変化 (AR5)

(IPCC/WG1/AR5)



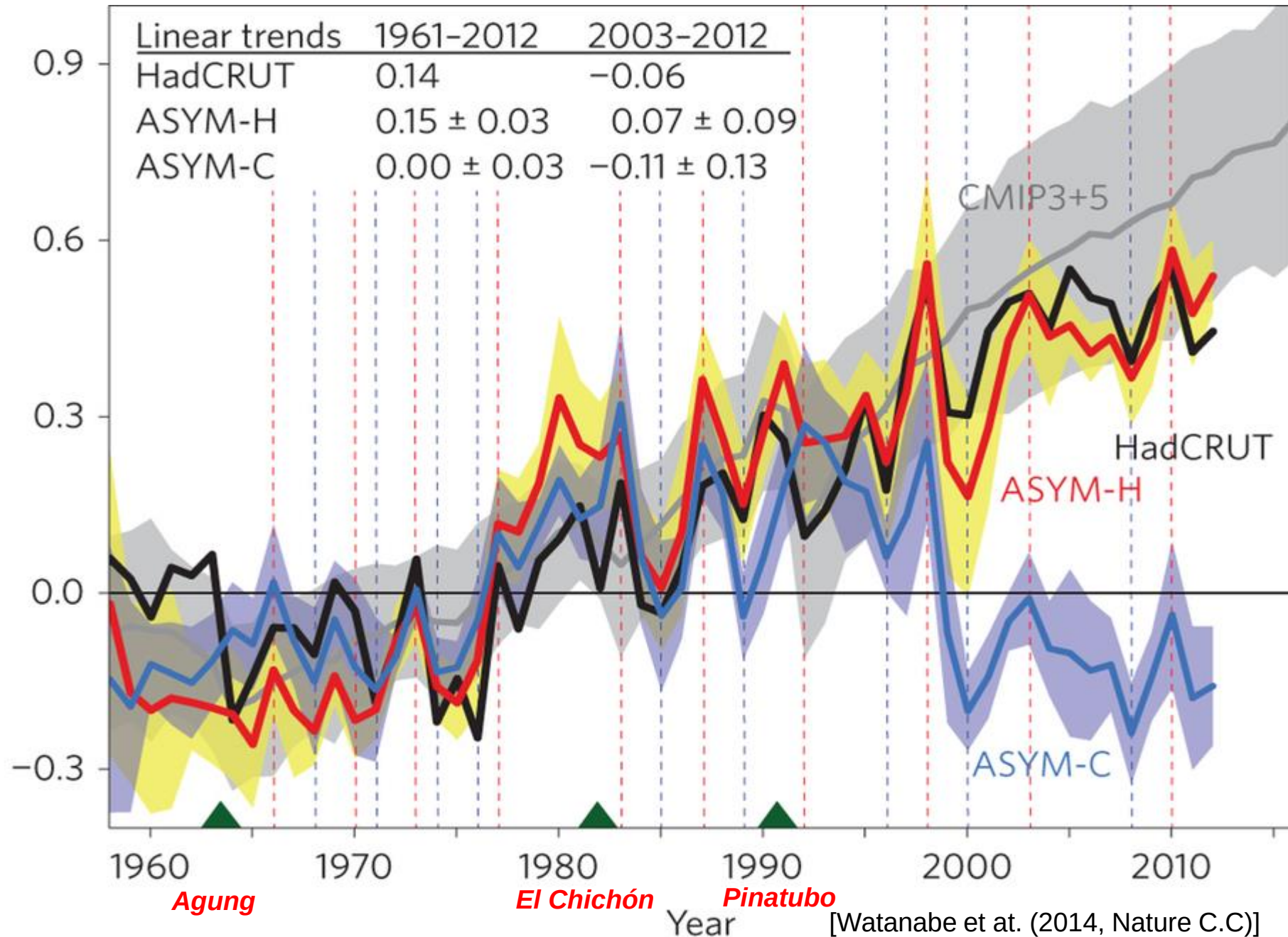
- 1951～2010年の全球平均地上気温の観測された上昇の半分以上が、温室効果ガス濃度の人為起源の増加とその他の人為起源の外力とがあいまって引き起こされたことは極めて可能性が高い。

- 宇宙線と雲量の変化の間に、強固な関連性は何も見出されていない。

気候システム及びその近年の変化についての理解 (AR5)

- ◆ AR4以降、気候モデルは改良され、20 世紀半ば以降のより急速な温暖化や、大規模火山噴火直後の寒冷化を含め、観測された地上気温の大陸規模の分布や数十年にわたる変化傾向を再現している(非常に高い確信度)。
- ◆ 「**ハイエイトス(Hiatus)**」について: 1951年～2012年に比べ、1998年～2012年における**昇温の変化傾向は弱まっている**。
- ◆ これは放射強制力の変化傾向の弱まりと、**自然起源の内部変動性**がもたらす寒冷化が概ね同程度に寄与しており、後者には**熱が海洋中で再配分されている可能性**も含まれる(中程度の確信度)。
- ◆ **十年規模の自然起源の内部変動性**が、かなりの程度で観測とシミュレーションの違いを引き起こしていることの**確信度は中程度**である。

Global-mean surface temperature (°C)



Observed and simulated change in global-mean surface temperature

「ハイエイタス (Hiatus)」の再現、原因解明、その意味

- ◆ AR5では2000年代に入ってからHiatusに関しては、十年規模の自然変動に起因していることに中程度の確信度と評価。
- ◆ Watanabe et al. (2014, Nature Climate Change)では、改良された気候モデルのシミュレーションにより、以下の知見を得ている:
 - * **ハイエイタスを再現**
 - * 気候の**内部自然変動 (太平洋10年規模変動:PDO*)**がハイエイタスの主原因
- ◆ PDO指数は2000年代半ばから正に転じていることから、全球SAT**に**短期変動的な急上昇の寄与**が想定される。
➡ 実際、その後のSATの観測値がそれを実証している！

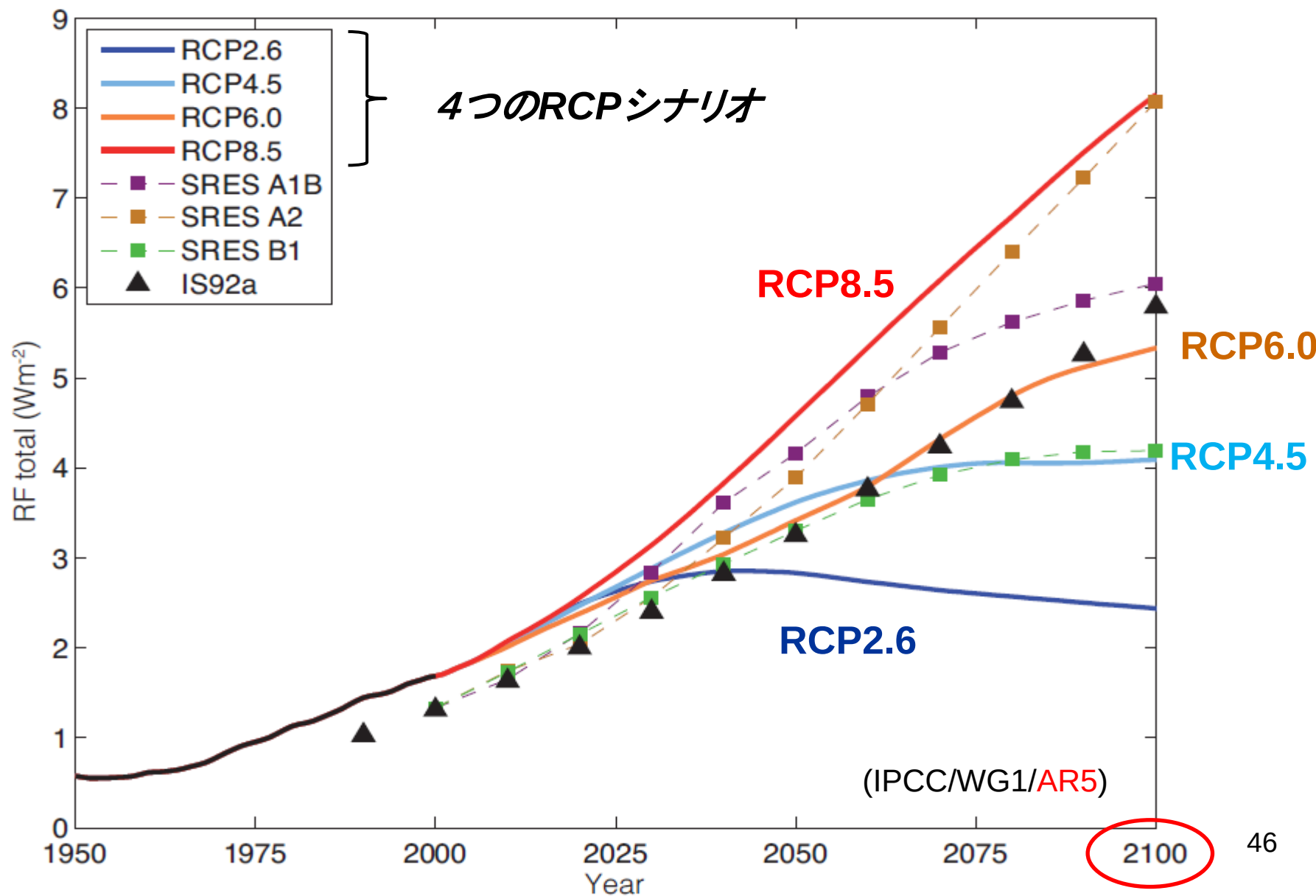
*PDO: Pacific Decadal Oscillation

** SAT: 地表気温 (Surface Air Temperature).

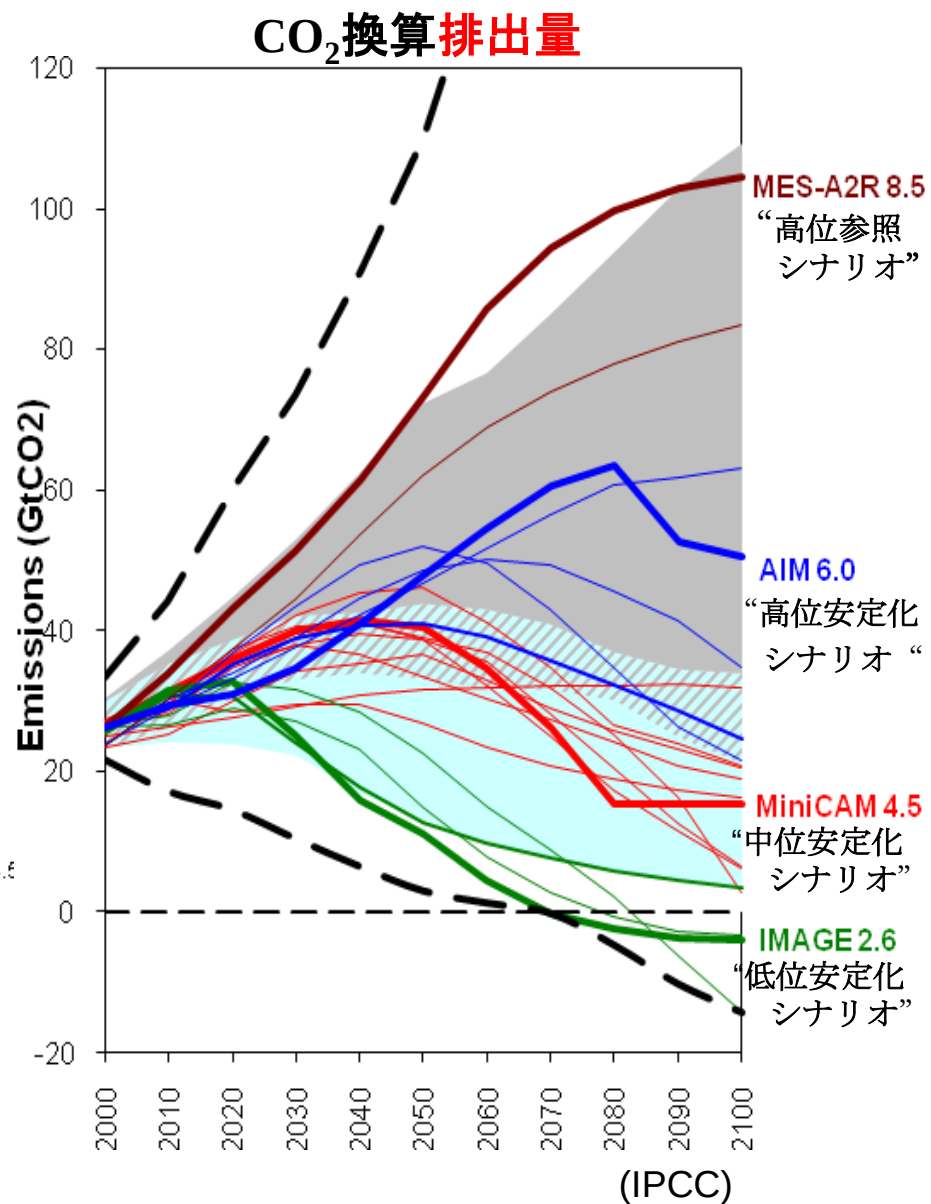
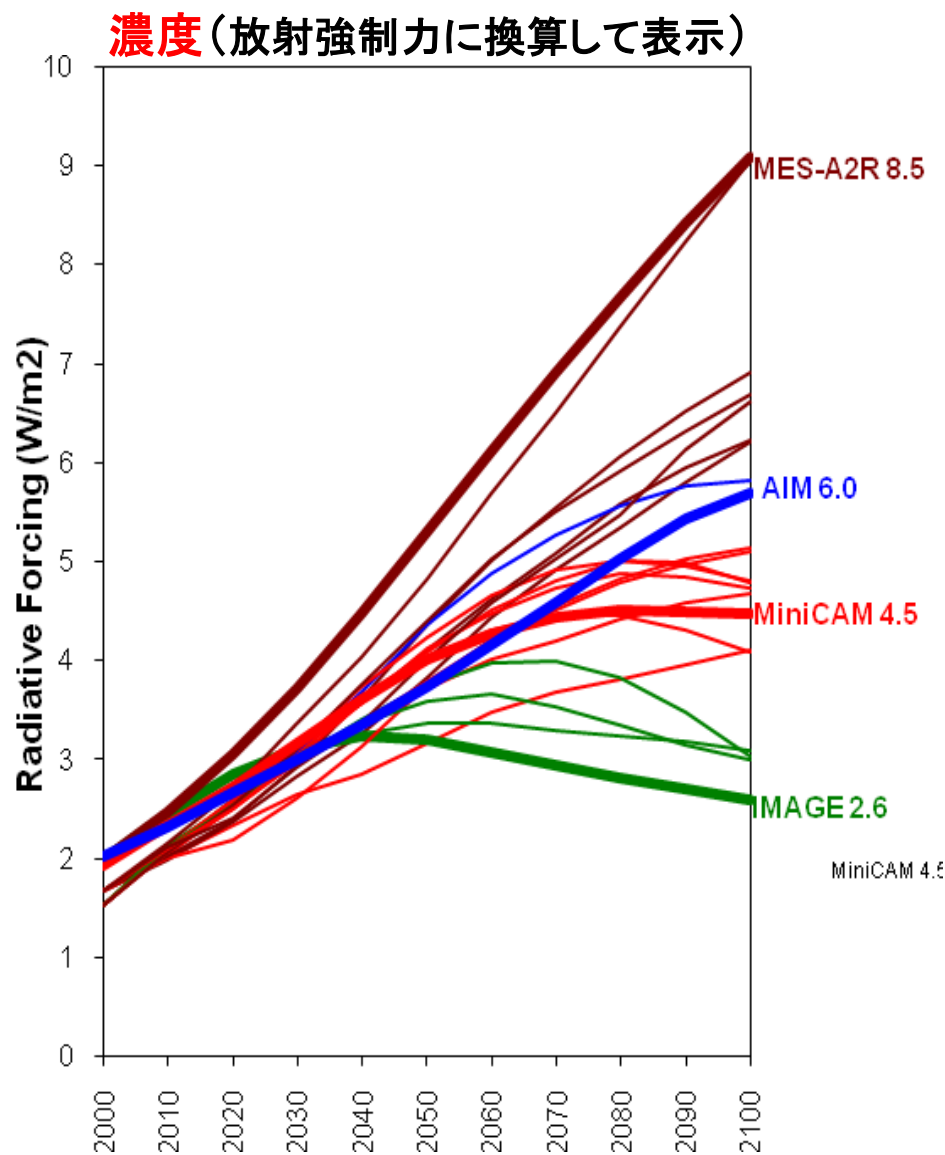
3. 気候変動の将来予測および目標実現
に関するAR5及び最新までの知見:
--- 2°Cおよび、1.5°Cとの関連 ---

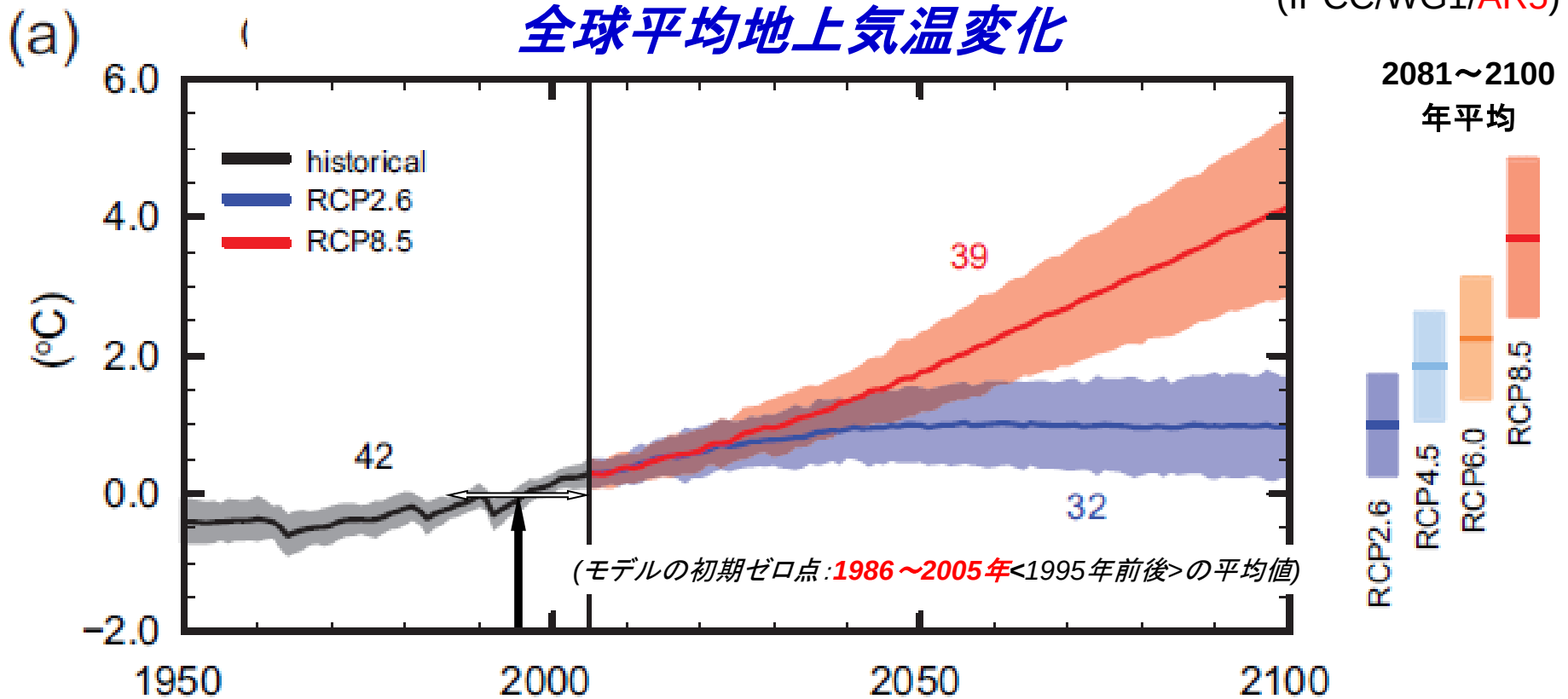
予測の前提: 代表的濃度経路(RCPs*)の下での人為起源総外力 (RF :2100 年まで)

*注) =Representative Concentration Pathways



予測で用いるRCPシナリオ(2100年までに関し) (AR5)





- 1986~2005年(モデル予測の出発点) からの気温変化予測:
- 0.61°C^* を加えれば、1850~1900年からの(近似的に工業化前からの)気温変化

* 注)1850~1900年から、1986~2005年までの気温上昇量(昇温量)

1986～2005年平均を基準とした、21世紀中頃と**21世紀末期**における、

世界平均地上気温と世界平均水位上昇の変化予測

		2046～2065年		2081～2100年	
	シナリオ	平均	可能性が高い予測幅 ^(c)	平均	可能性が高い予測幅 ^(c)
世界平均 地上気温の変化(°C) ^(a)	RCP2.6	1.0	0.4～1.6	1.0	0.3～1.7
	RCP4.5	1.4	0.9～2.1	1.8	1.1～2.6
	RCP6.0	1.2	0.8～1.8	2.2	1.4～3.1
	RCP8.5	2.0	1.4～2.6	3.7	2.6～4.8
	シナリオ	平均	可能性が高い予測幅 ^(d)	平均	可能性が高い予測幅 ^(d)
世界平均 海面水位の上昇(m) ^(b)	RCP2.6	0.24	0.17～0.32	0.40	0.26～0.55
	RCP4.5	0.26	0.19～0.33	0.47	0.32～0.63
	RCP6.0	0.25	0.18～0.32	0.48	0.33～0.63
	RCP8.5	0.30	0.22～0.38	0.63	0.45～0.82

工業化以来の予測:

(IPCC/WG1/AR5、気象庁)

[RCP4.5] $1.8 + 0.61 \Rightarrow$ 平均**2.4°C** (**1.7～3.2°C**)**昇温**

[RCP6.0] $3.7 + 0.61 \Rightarrow$ 平均**2.8°C** (**2.0～3.7°C**)**昇温**

[RCP8.5] $3.7 + 0.61 \Rightarrow$ 平均**4.3°C** (**3.2～5.4°C**)**昇温**

◆ RCP4.5 **では2°Cをどちらかといえば超える可能性が高い(高い確信度)。**

◆ RCP6.0とRCP8.5 **では2°Cを超える可能性が高い(高い確信度)。**

1986～2005年平均を基準とした、21世紀中頃と**21世紀末期**における、

世界平均地上気温と世界平均水位上昇の変化予測

		2046～2065年		2081～2100年	
	シナリオ	平均	可能性が高い予測幅 ^(c)	平均	可能性が高い予測幅 ^(c)
世界平均 地上気温の変化(°C) ^(a)	RCP2.6	1.0	0.4～1.6	1.0	0.3～1.7
	RCP4.5	1.4	0.9～2.0	1.8	1.1～2.6
	RCP6.0	1.3	0.8～1.8	2.2	1.4～3.1
	RCP8.5	2.0	1.4～2.6	3.7	2.6～4.8
	シナリオ	平均	可能性が高い予測幅 ^(d)	平均	可能性が高い予測幅 ^(d)
世界平均 海面水位の上昇(m) ^(b)	RCP2.6	0.24	0.17～0.32	0.40	0.26～0.55
	RCP4.5	0.26	0.19～0.33	0.47	0.32～0.63
	RCP6.0	0.25	0.18～0.32	0.48	0.33～0.63
	RCP8.5	0.30	0.22～0.38	0.63	0.45～0.82

(IPCC/WG1/AR5、気象庁)

◆ RCP2.6では、

工業化以来の昇温予測: $1.0 + 0.61 \Rightarrow$ **平均1.61°C (0.9～2.6°C) 昇温**

➡ RCP2.6では、**2°Cを超える可能性が低い(中程度の確信度)**。

➡ それ以外のRCPでは、**1.5°Cを超える可能性が高い**。

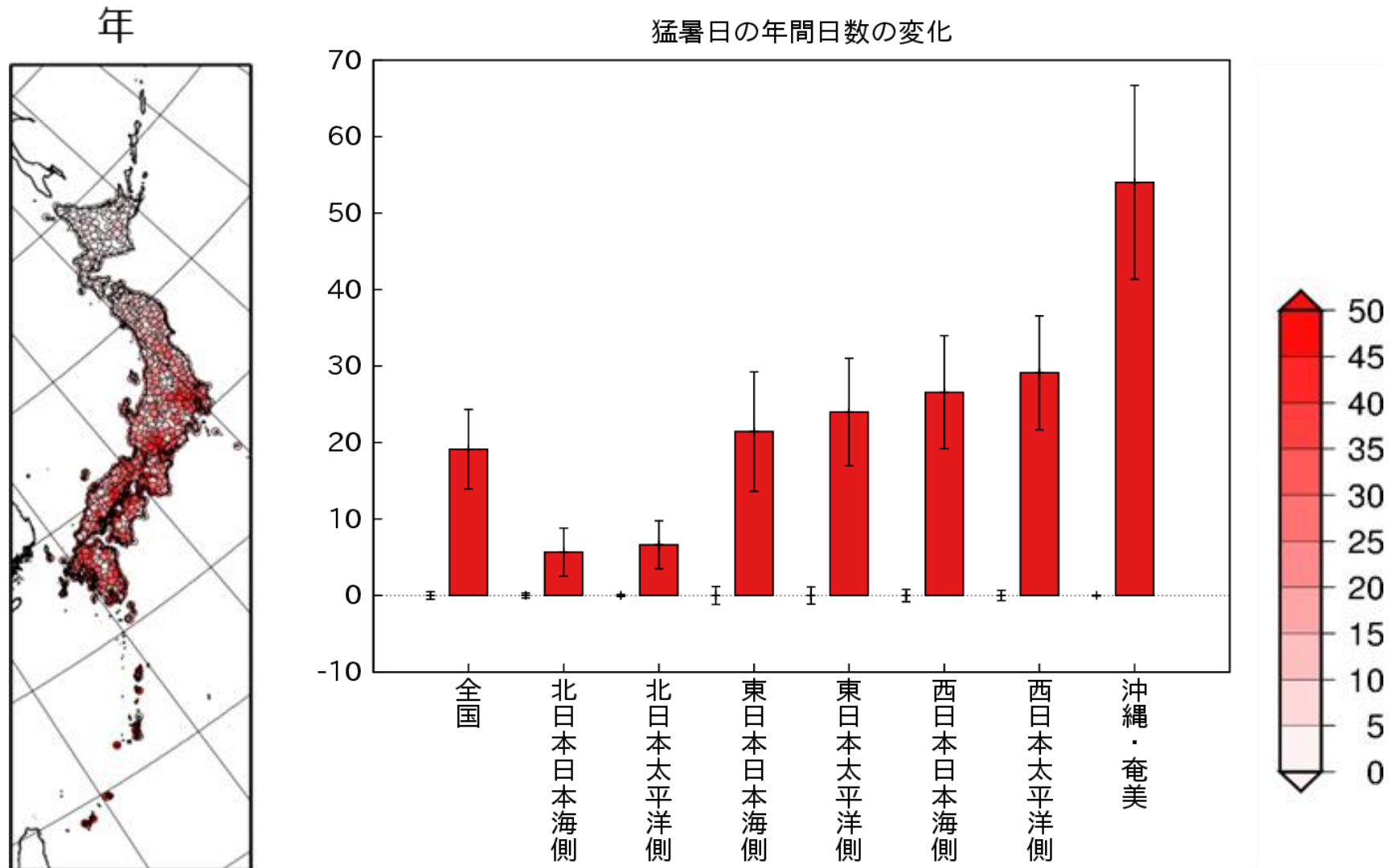
気温変化: 主要な21世紀末予測 (AR5)

- ◆ RCP4シナリオのうち、工業化以前からの昇温は、RCP2.6 以外で1.5℃を超える<1.5℃未達成の>可能性は高い:
2℃を超える<2℃未達成の>可能性が高いか、あるいは、
どちらかといえば可能性が高い。
RCP2.6のみ、2℃を超える<2℃未達成の>可能性が低い。
- ◆ RCP8.5では、4.3℃ 前後(3.2～5.6℃) の昇温。

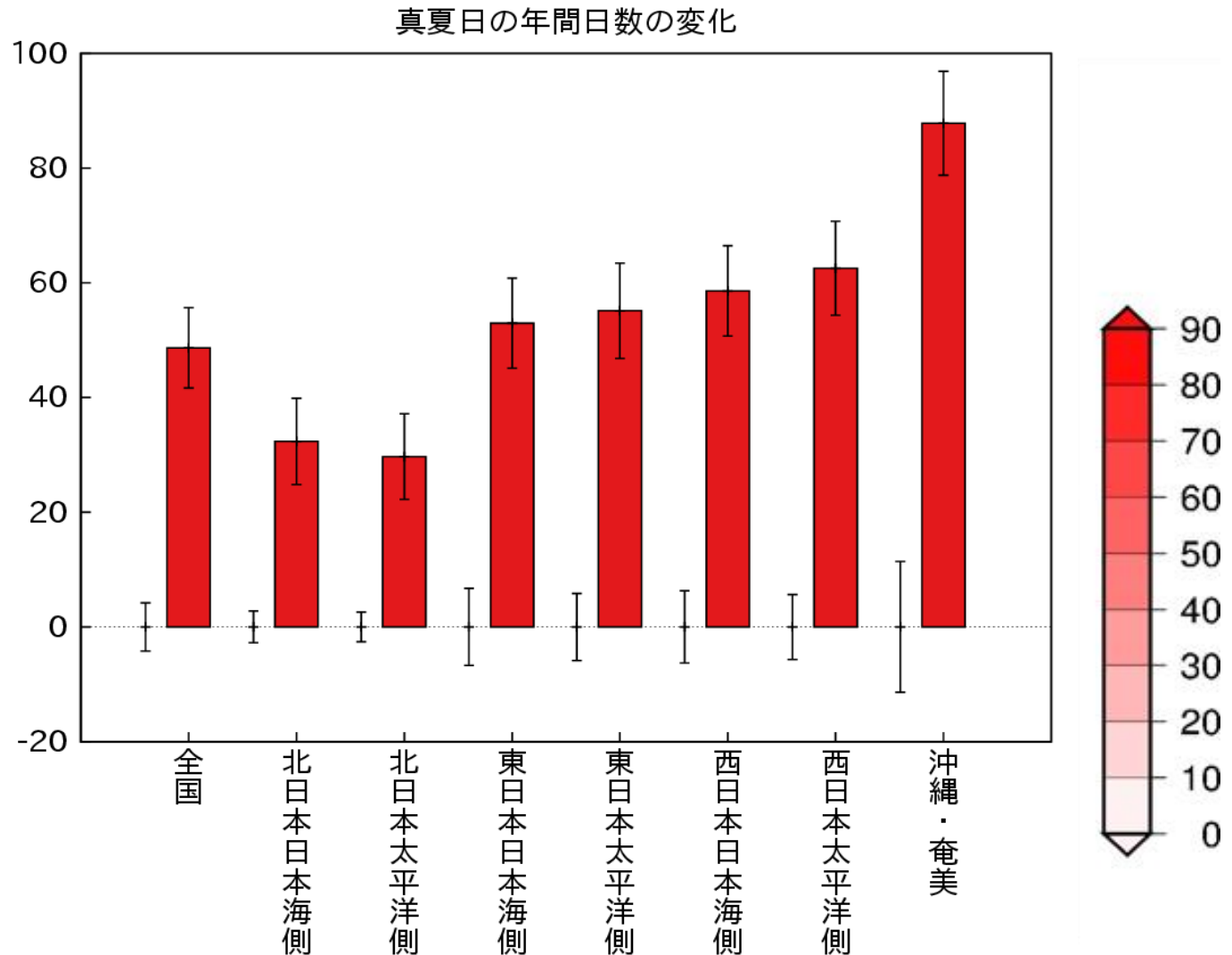
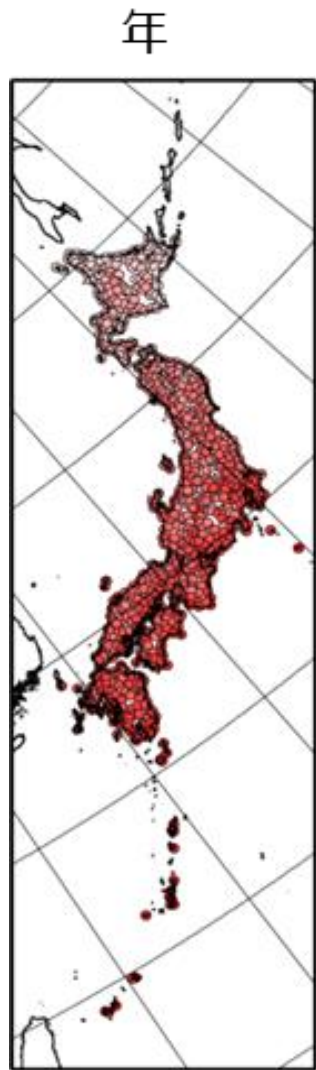
気温の極端現象の変化予測

- ◆ 全球平均気温が上昇するにつれて、ほとんどの陸域で日々及び 季節の時間スケールで極端な高温がより頻繁になり、極端な低温が減少することはほぼ確実である。
- ◆ 熱波の頻度が増加し、より長く続く可能性が非常に高い。
- ◆ たまに起こる冬季の極端な低温は引き続き発生するだろう

RCP8.5に基づく100年後(20世紀末→21世紀末)の 日本の猛暑日数(年間)の変化予測



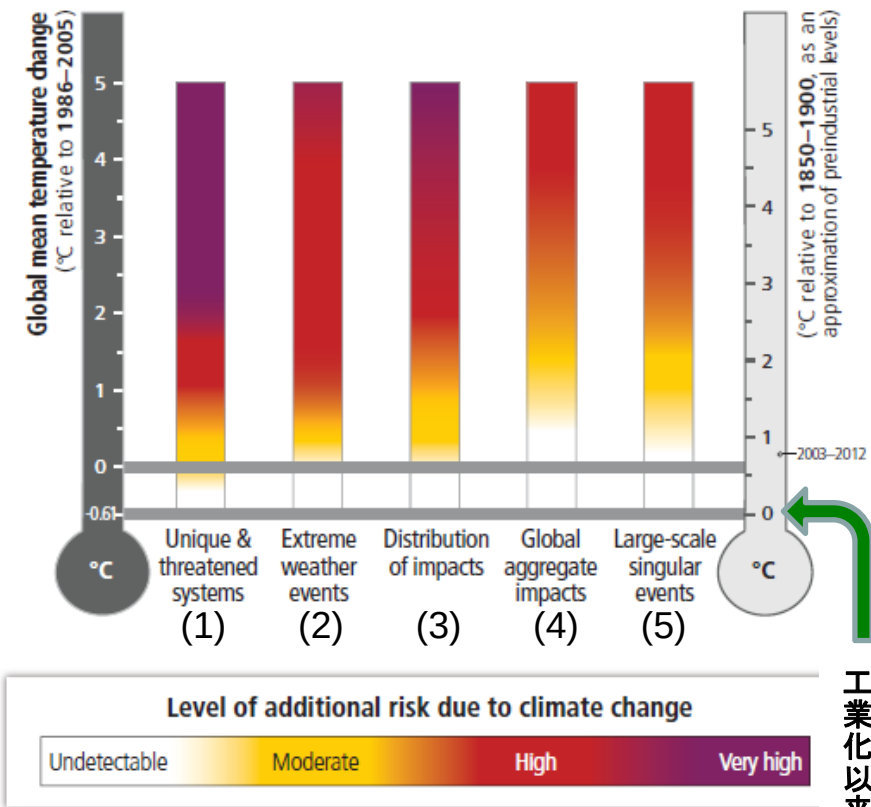
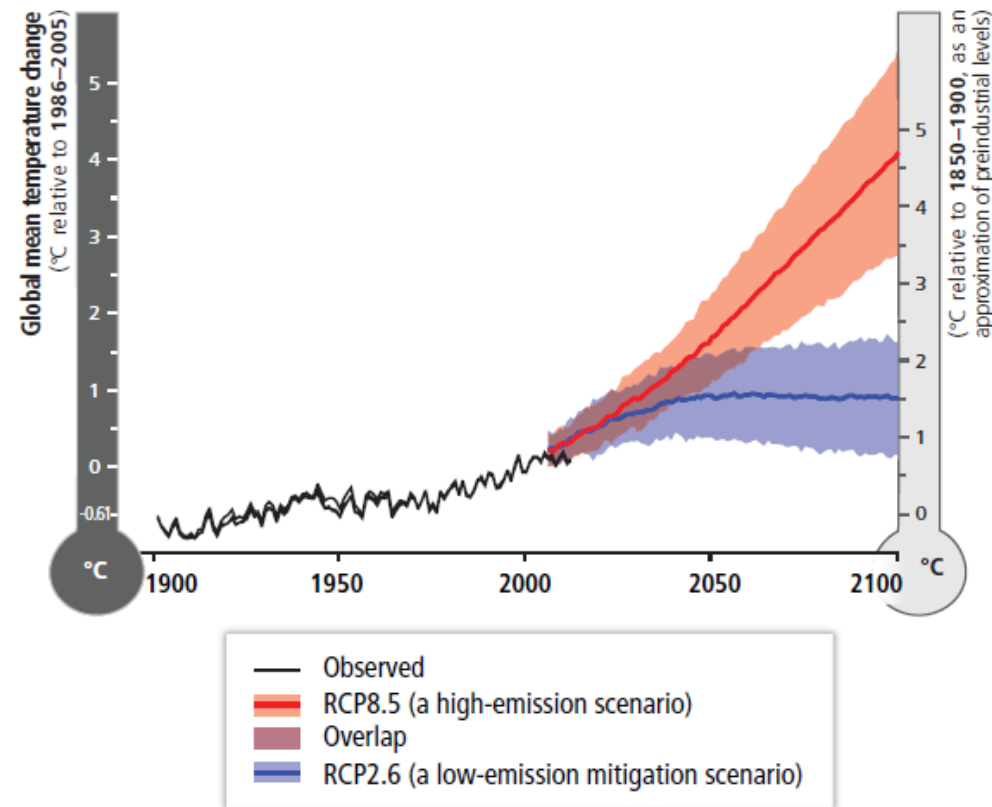
RCP8.5に基づく100年後(20世紀末→21世紀末)の 日本の真夏日数(年間)の変化予測



水循環とその極端現象

- ◆ 21世紀にわたる温暖化に応答して、全球的水循環における変化は一様ではない。**湿潤域と乾燥域、また雨季と乾季の間の降水の対照**は、地域的な例外はあるかもしれないが、**増大**するだろう。
- 全球平均地上気温が上昇するにつれて、**中緯度の陸域のほとんどと湿潤な熱帯域において、今世紀末までに極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高い。**
- 全球的には、**モンスーンシステムに含まれる領域は21世紀を通じて拡大する可能性が高い。**モンスーンの風は弱くなる可能性が高い。
- モンスーンの降水は大気中の水蒸気量の増加により強まる可能性が高い。
- **モンスーン期の開始期は早くなるか、またはあまり変化しない可能性が高い。**
- **モンスーン期の終了期は遅くなり、結果としてモンスーン期は多くの地域で長期化する可能性が高い。**
- **ENSOに関係した降水量の変動度は強まる可能性が高い。**

気候変動による影響評価とリスクレベル (AR5/WG2)



(IPCC/WG2/AR5に基づく)

懸念の理由・根拠(ROC):

- (1) ユニークで切迫したシステム: **一部の生態系や文化**
- (2) 極端気象現象: **熱波、豪雨、沿岸洪水など**
- (3) 影響の分布: **リスク分布の不均一性**
- (4) 全球総合的な影響: **全球的な生物多様性、世界経済**
- (5) 大規模な特異な現象: **突然の・不可逆的变化**

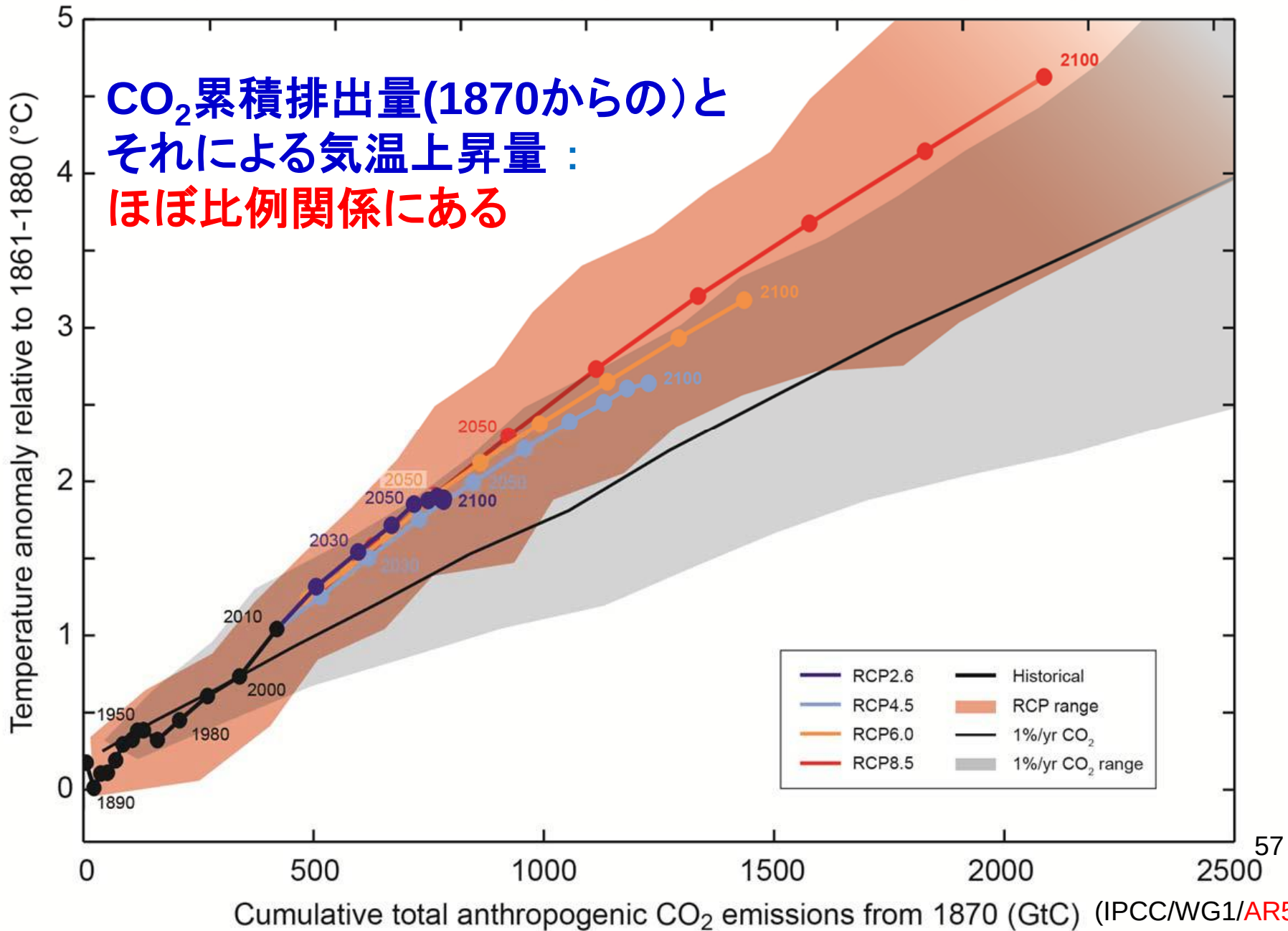
工業化以来

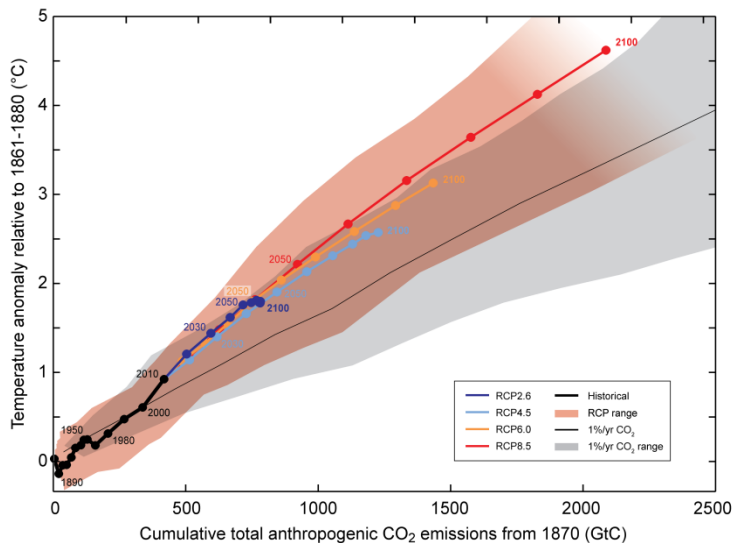
4 長期安定化に関わる予測知見:

---炭素(カーボン)バジェットの観点から---

1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000

CO₂累積排出量(1870からの)と
それによる気温上昇量：
ほぼ比例関係にある





(IPCC/WG1/AR5)

気候変動を抑制するには、温室効果ガス排出量の大幅かつ持続的な削減が必要であろう

2°C目標の炭素Budget: 790 GtC (2,900 GtCO₂)* <66%の確率で>

2011年までのCO₂累積量: 515 GtC (約1,900 GtCO₂)

差し引きの残量: 275 GtC (約1000GtCO₂)

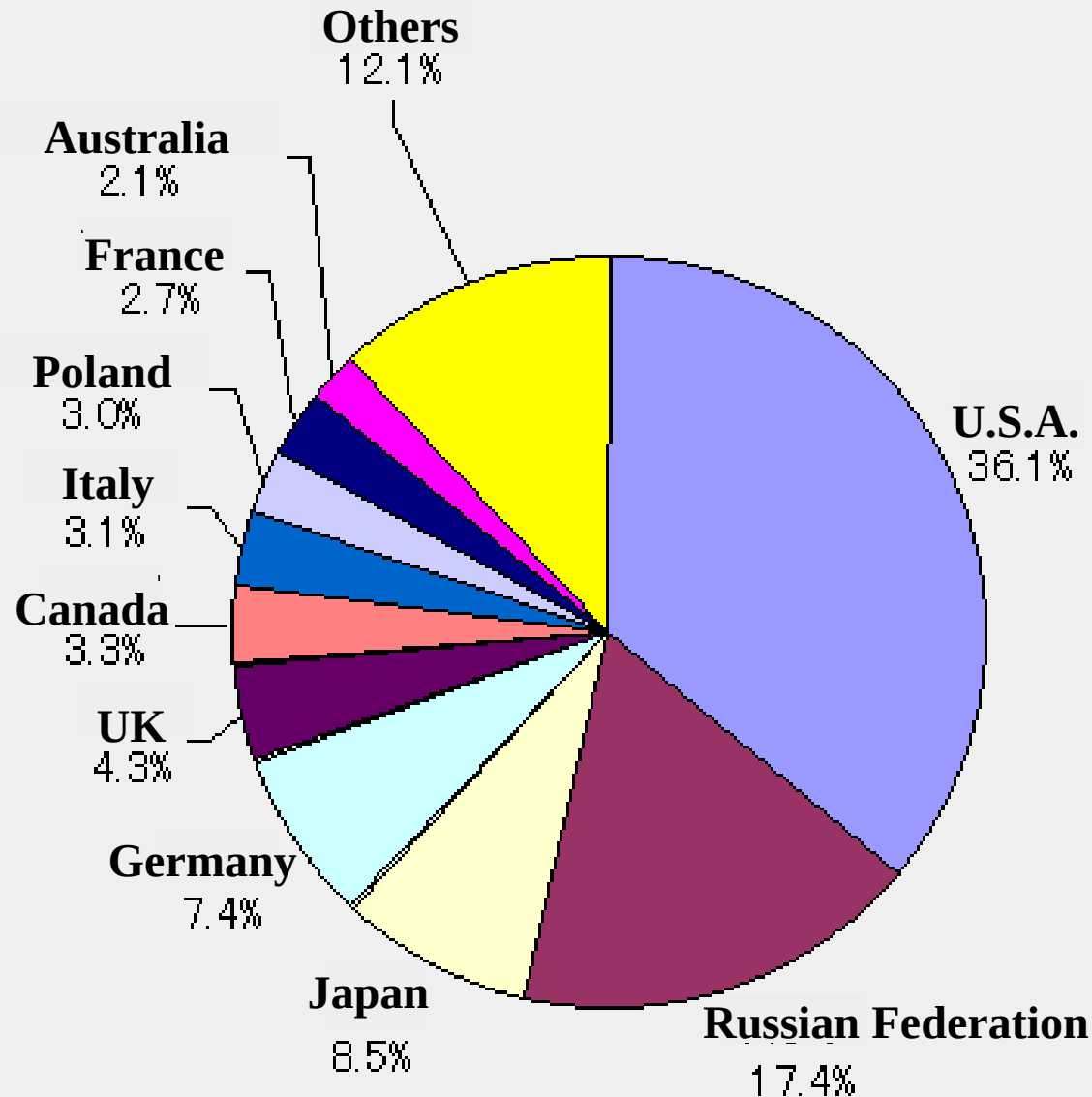
ここで、2012年のCO₂ 排出量: 9.7 GtC/yr

気候の安定化、気候変動の不可避性と、気候変動の不可逆性

- ◆ CO_2 の**累積排出量**は、21世紀末およびその後の全球平均地表面の**温暖化**を主として決定する。
- ◆ 気候変動のほとんどの状況は、たとえ CO_2 排出が停止しても多数の世紀にわたり持続するだろう： かなりの**気候変動不可避性** (Climate Change Commitment)。
- ◆ ある**しきい値**を超える気温上昇が持続すると、千年ないしさらに長期間に、グリーンランド氷床の**ほぼ完全な消失**を招いて、7mに達する**全球平均海面上昇**をもたらすだろうということの確信度は高い：**不可逆性** (Climate Change Irreversibility)
- ◆ 現在の見積もりでは、その**しきい値**は工業化以前に対する**全球平均気温の上昇量**は：
1°C (低い確信度) ～ **4°C** (中程度の確信度)

5. 排出量の近年の状況

CO₂ emission rates among the Annex-I countries in 1990

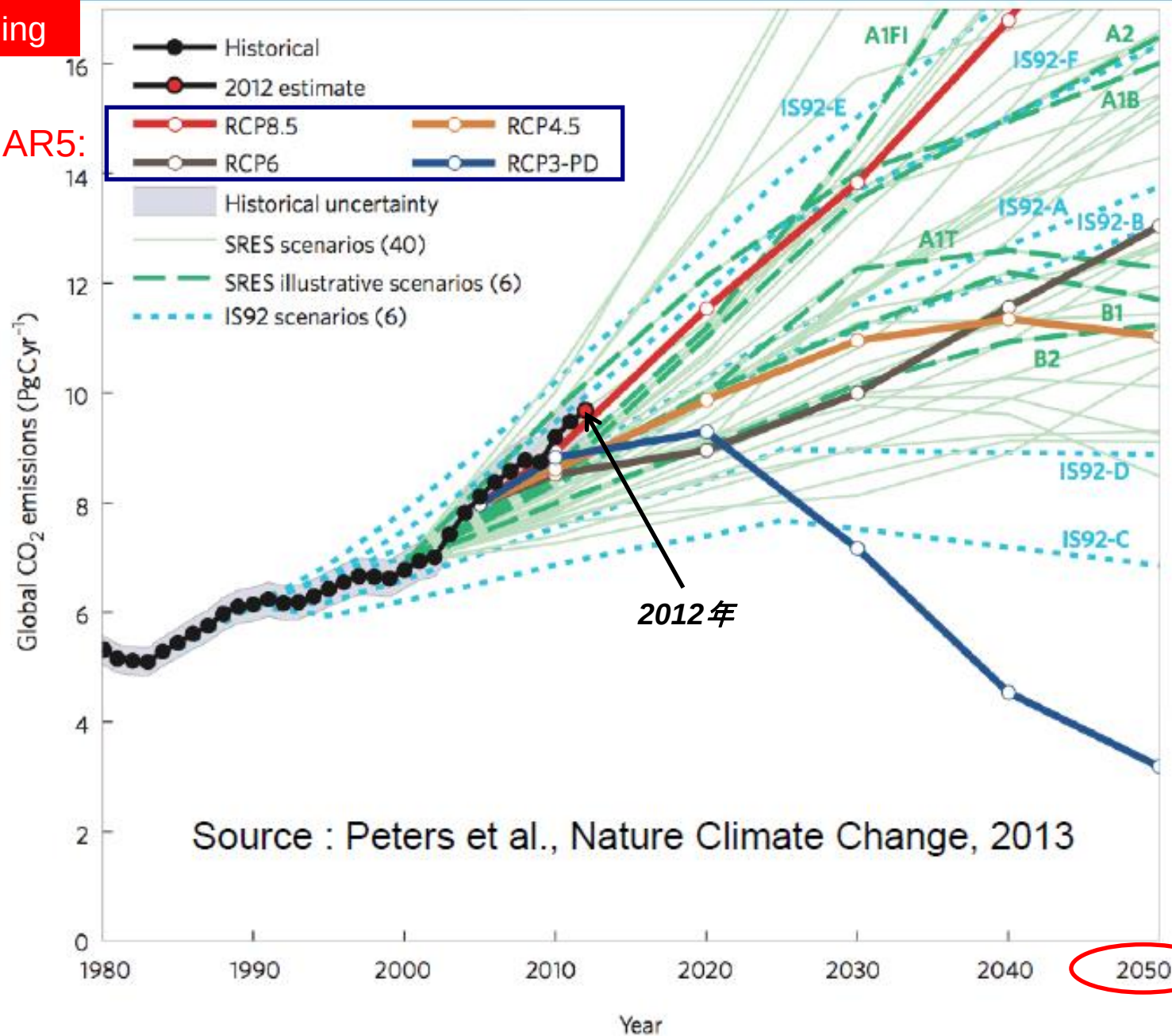


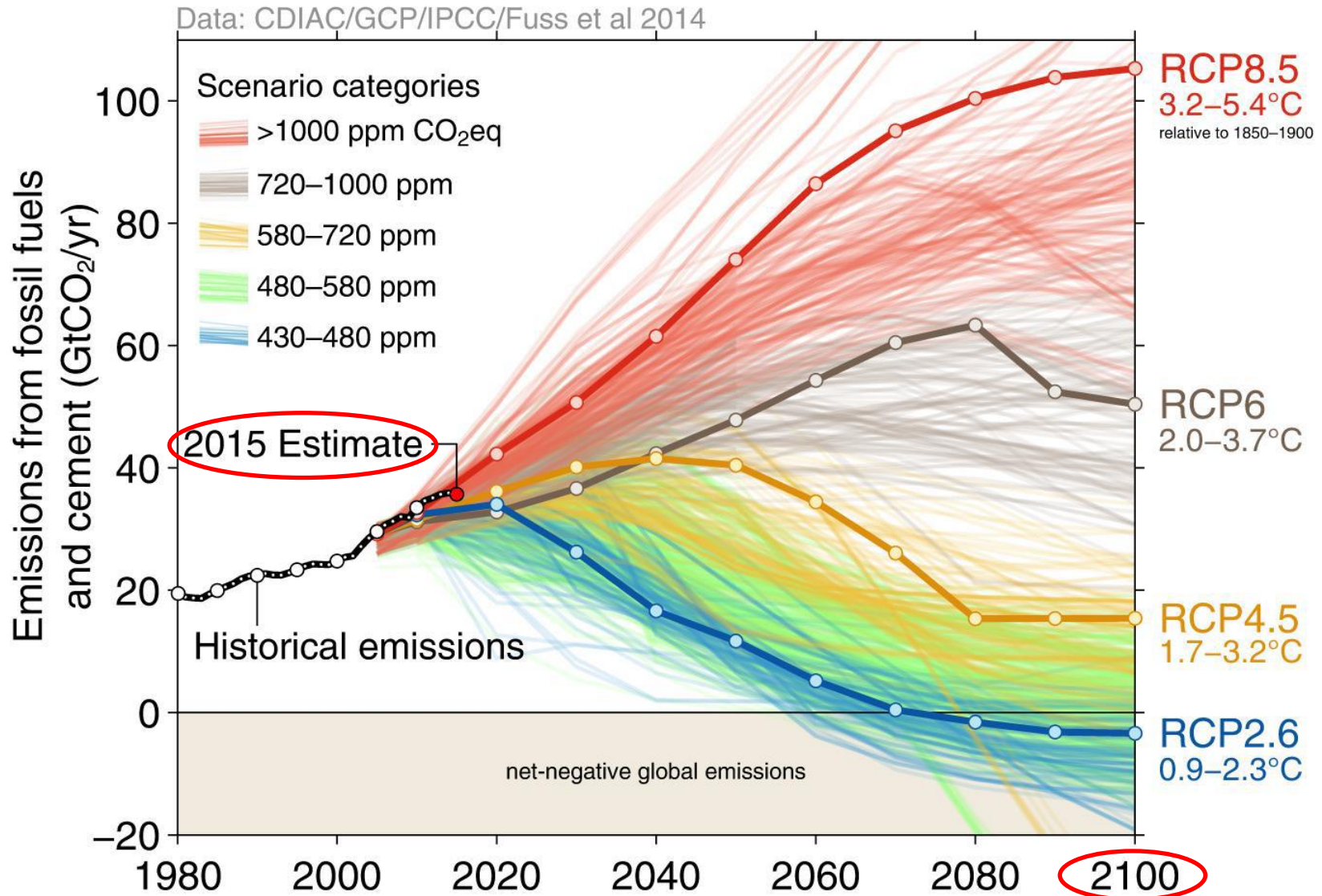
(Based on a Document by MOE)

Emissions are on the high side of past IPCC scenarios

Recent Finding

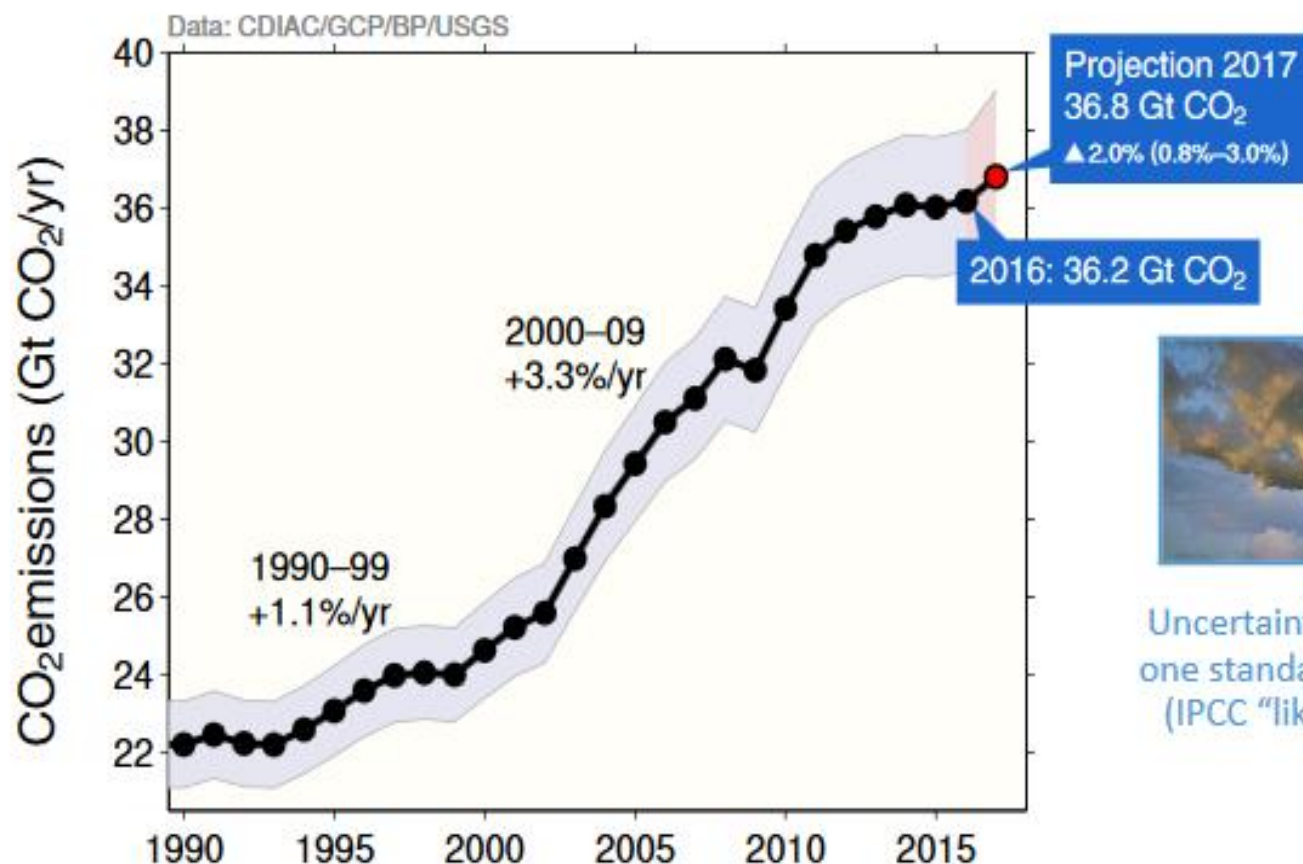
AR5:





Global emissions from fossil fuel and industry: 36.2 ± 2 GtCO₂ in 2016, 62% over 1990

● Projection for 2017: 36.8 ± 2 GtCO₂, 2.0% higher than 2016



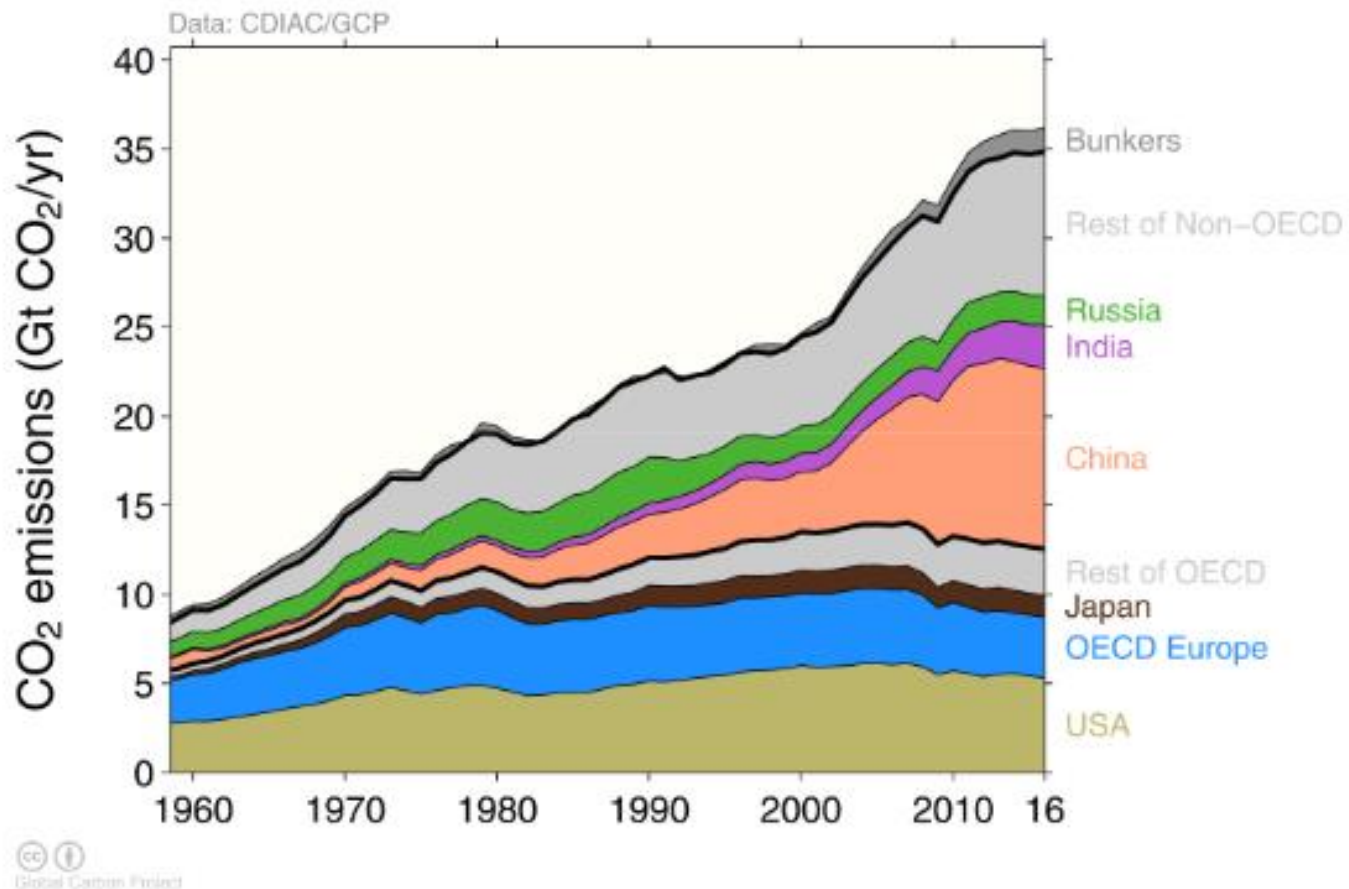
Uncertainty is $\pm 5\%$ for one standard deviation (IPCC “likely” range)

Estimates for 2015 and 2016 are preliminary. Growth rate is adjusted for the leap year in 2016.

Source: [CDIAC](#); [Le Quéré et al 2017](#); [Global Carbon Budget 2017](#)

Breakdown of global emissions by country

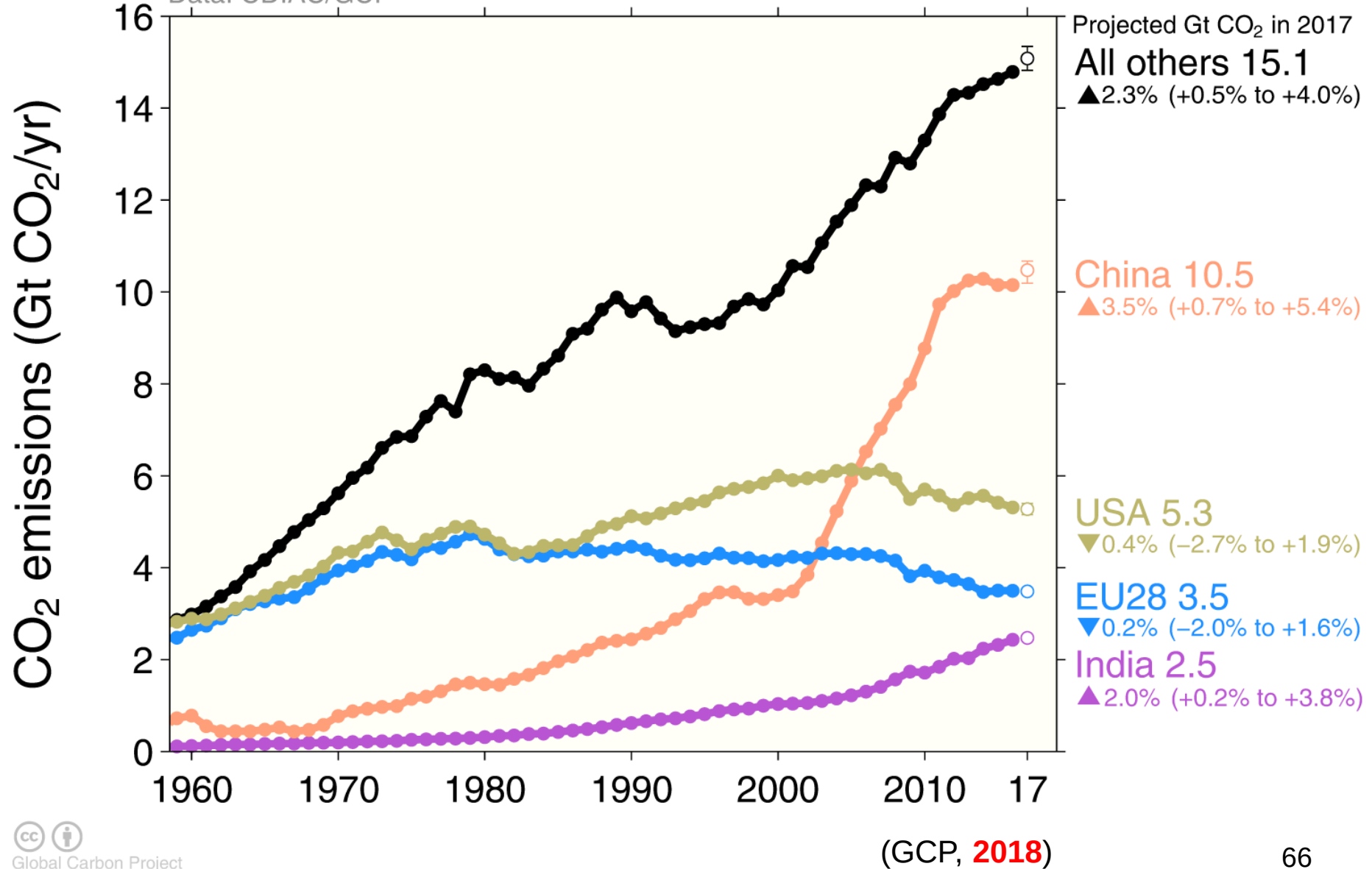
Emissions from OECD countries are about the same as in 1990
Emissions from non-OECD countries have increased rapidly in the last decade



Source: [CDIAC](#); [Le Quéré et al 2017](#); [Global Carbon Budget 2017](#)

CO₂年間排出量(ギガトン年)の近年における変化

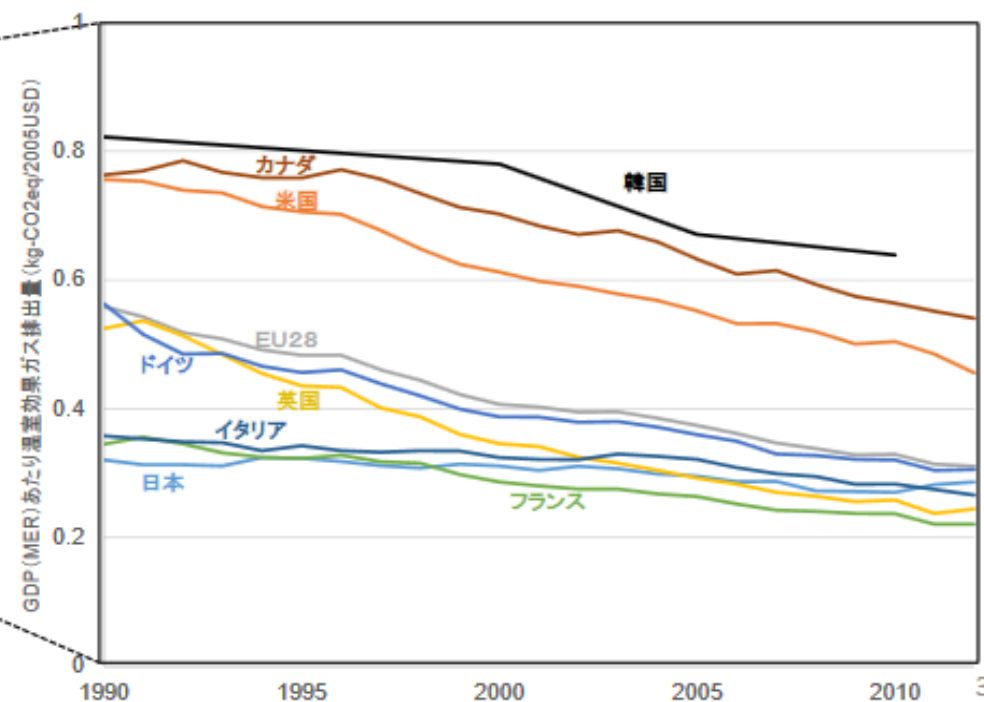
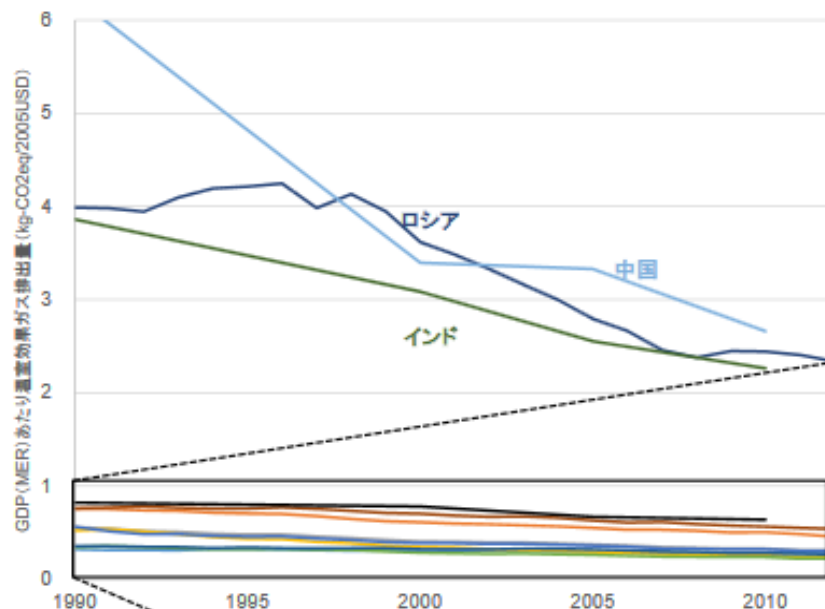
Data: CDIAC/GCP



GDP当たり温室効果ガス排出量

- 日本は石油危機のあった1970年代より、省エネルギーに精力的に取り組んできており、GDP (MER) 当たり排出量は世界トップレベル。一方、1990年以降、欧州は着実に減少し、日本の水準に近づきつつあるが、米国とはまだまだ開きがある。

(経済産業省資料)



※LULUCFを除く。

※GDP (MER) : 市場交換レート (Market Exchange Rate)。

2005年の実取引の為替レートでUSD換算したGDP。

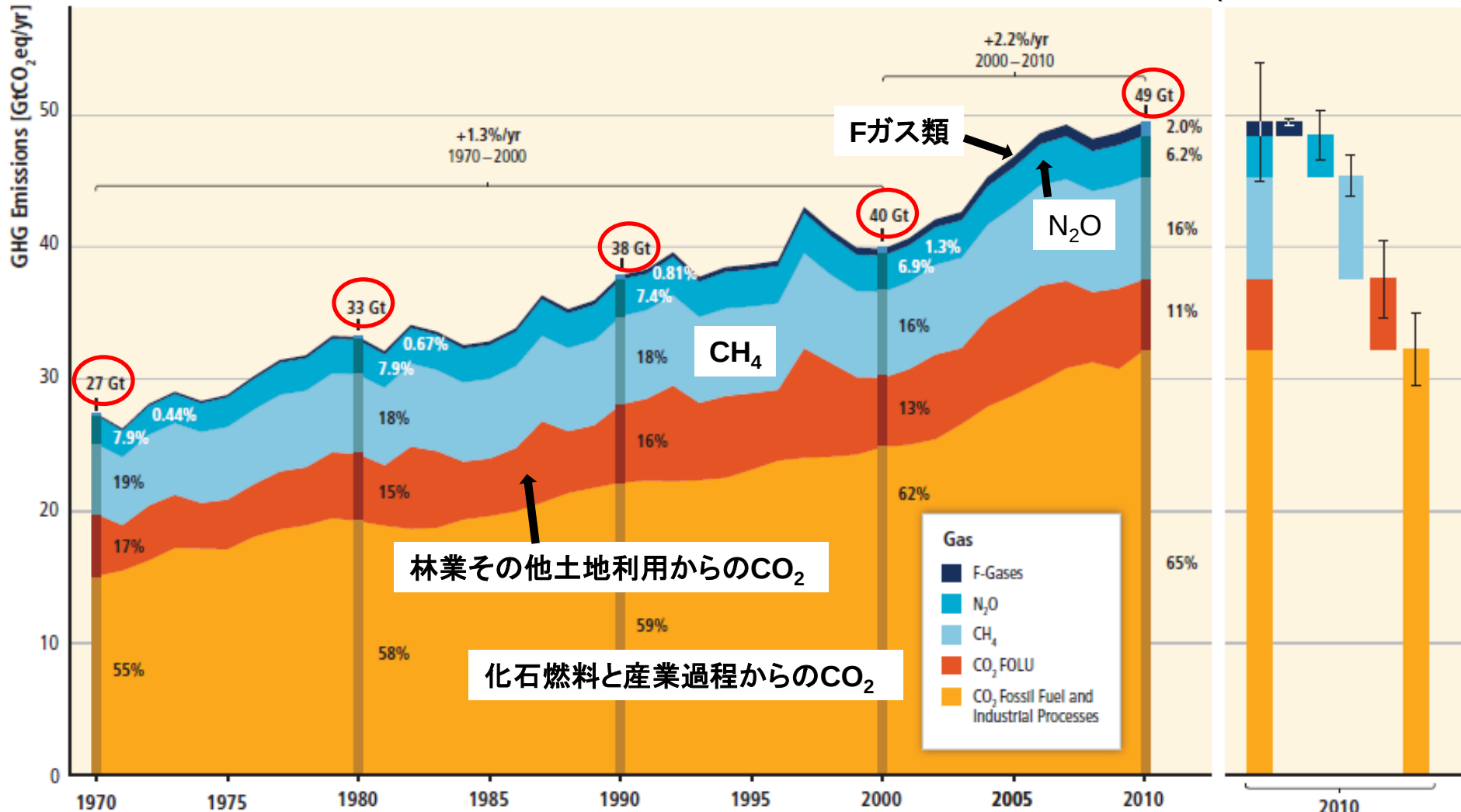
出典: GHG: UNFCCC報告値、
IEA「CO2 emissions from fuel combustion(2014 Edition)」
(中国、インド、韓国はIEAによる推計で1990年、2000年、2005年、
2010年の数値)

GDP: IEA「Energy Balances of OECD Countries」
「Energy Balances of Non-OECD Countries」

人為起源の温室効果ガス (GHG): 排出物質別年間総排出量

Total Annual Anthropogenic GHG Emissions by Groups of Gases 1970–2010

(IPCC/WG3/AR5)



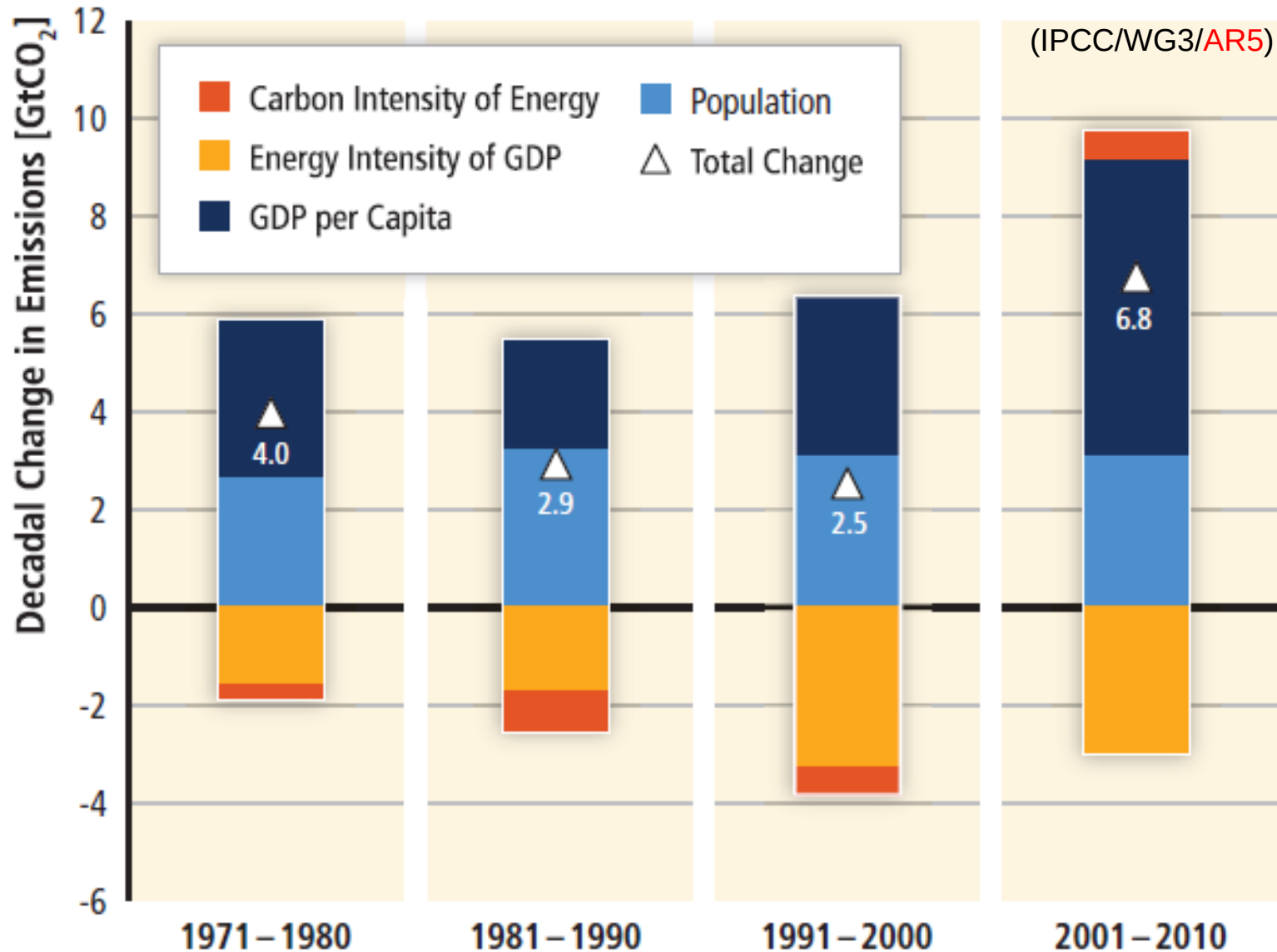
* 注: F-ガス類 は、HFC(ハイドロフルオロカーボン), PFC(パーフルオロカーボン), SF₆(六フッ化硫黄)を指す。

温室効果ガス(GHG)の最近の状況

- ◆ 人為起源GHG排出量は**1970～2010年**にかけて増え続け、
10年単位で見ても最後にかけて次第に増加量が多い。
- ◆ 特に化石燃料と産業過程からのCO₂排出量は、上記総排出量の**増加量のうちで78%**を占める
- ◆ 1750年から2010年までの人為起源のCO₂累積排出量について、
その約半分は**上記40年間**に排出された。
- ◆ 特に、**2000～2010年**まで人為起源のGHG年間排出量は、毎年約10億トンCO₂換算ずつ(約**1ギガトン**CO₂eq/yr) 増加。
- ◆ この増加は、エネルギー供給:47%、産業:30%、運輸:11%、
建築(3%)などである(中程度の確信度)。
- ◆ 2010年での総排出量は約490億トン<**49ギガトン**>CO₂eq/yr

化石燃料燃焼からの世界CO₂排出量

各10年間の変化(総量を要因別分解)比較



化石燃料燃焼によるCO₂総排出量 の4つの10年期間ごとの変化の要因

◆ 経済成長と人口増加が、+の最も重要な要因

- * 人口増加の寄与は全期間 ほぼ同様である
- * 経済成長の寄与は最近大きく増大している。

◆ 効率性に関わる

- * **単位GDPを生み出すのに必要なエネルギー量:**
Energy Intensity of GDP (GDPのエネルギー原単位)
の**減少**が、**-**の要因であった。

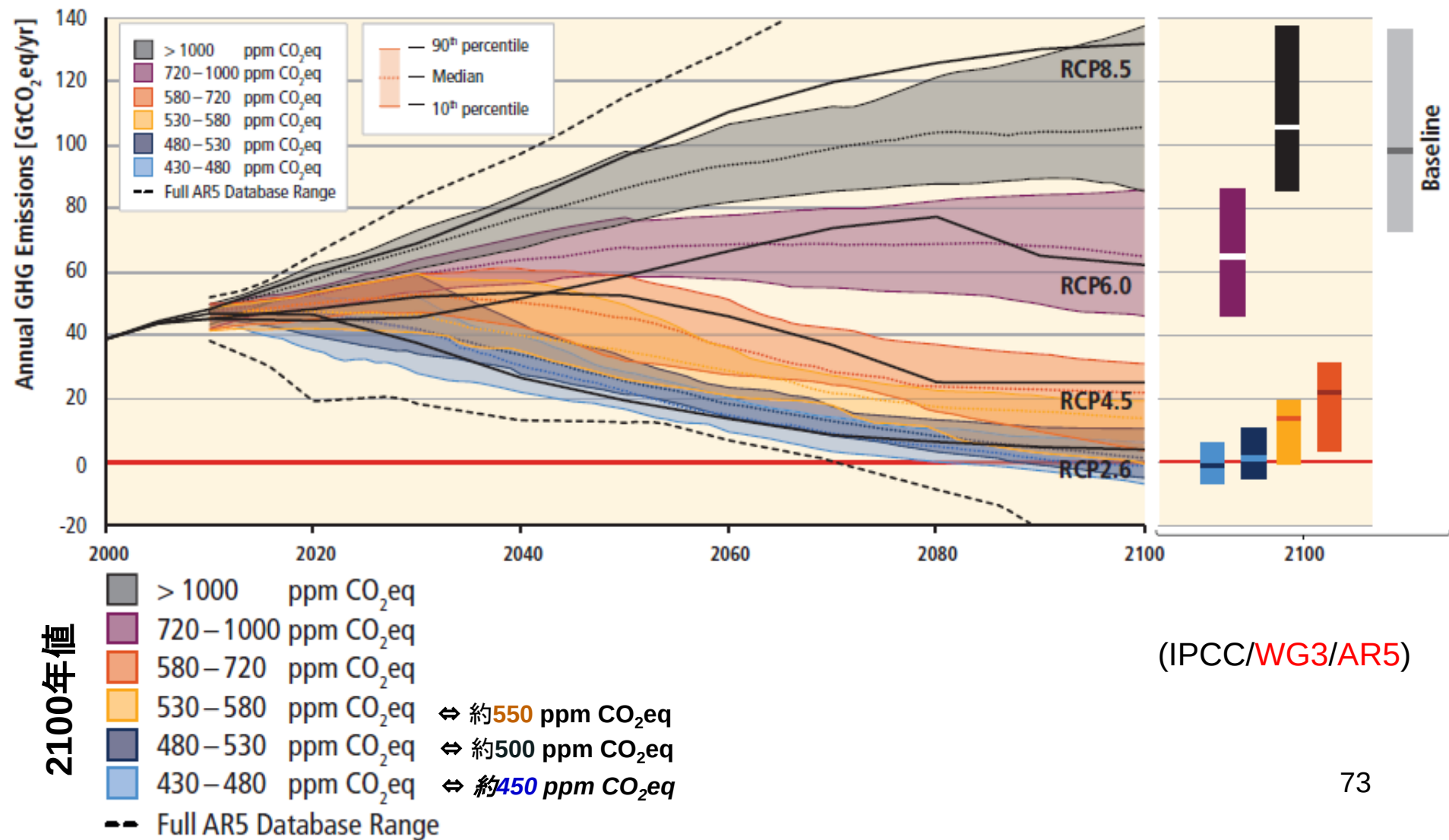
2000年までは、

- * **単位エネルギーを生み出すために必要な炭素量:**
Carbon Intensity of Energy(エネルギーの炭素原単位)
は**減少**で、**-**要因。直近期間では**増加**し**+**要因に転じた。
⇔ 石炭使用量の増大による(原油高騰など)。

6. WG3からの簡易モデル予測結果を含む
AR5全体の安定化オプションと
新たなシナリオ

AR5の全てのシナリオ

GHG Emission Pathways 2000–2100: All AR5 Scenarios



(IPCC/WG3/AR5)

WG3/AR5で評価されたシナリオの主要な特徴

Table SPM.1 | Key characteristics of the scenarios collected and assessed for WGIII AR5. For all parameters, the 10th to 90th percentile of the scenarios is shown.^{1,2} [Table 6.3]

CO ₂ eq Concentrations in 2100 (CO ₂ eq) Category label (concentration range) ³	Subcategories	Relative position of the RCPs ⁵	Cumulative CO ₂ emissions ³ (GtCO ₂)		Change in CO ₂ eq emissions compared to 2010 in (%) ⁴		Temperature change (relative to 1850–1900) ^{5,6}				
			2011–2050	2011–2100	2050	2100	2100 Temperature change (°C) ⁷	Likelihood of staying below temperature level over the 21st century ⁸			
								1.5 °C	2.0 °C	3.0 °C	4.0 °C
< 430	Only a limited number of individual model studies have explored levels below 430 ppm CO ₂ eq										
450 (430–480)	Total range ^{1,10}	RCP2.6	550–1300	630–1180	–72 to –41	–118 to –78	1.5–1.7 (1.0–2.8)	More unlikely than likely	Likely	Likely	Likely
500 (480–530)	No overshoot of 530 ppm CO ₂ eq		860–1180	960–1430	–57 to –42	–107 to –73	1.7–1.9 (1.2–2.9)	Unlikely	More likely than not		
	Overshoot of 530 ppm CO ₂ eq		1130–1530	990–1550	–55 to –25	–114 to –90	1.8–2.0 (1.2–3.3)		About as likely as not		
550 (530–580)	No overshoot of 580 ppm CO ₂ eq		1070–1460	1240–2240	–47 to –19	–81 to –59	2.0–2.2 (1.4–3.6)		More unlikely than likely ¹²		
	Overshoot of 580 ppm CO ₂ eq		1420–1750	1170–2100	–16 to 7	–183 to –86	2.1–2.3 (1.4–3.6)				
(580–650)	Total range	RCP4.5	1260–1640	1870–2440	–38 to 24	–134 to –50	2.3–2.6 (1.5–4.2)	Unlikely	Unlikely	More likely than not	
(650–720)	Total range		1310–1750	2570–3340	–11 to 17	–54 to –21	2.6–2.9 (1.8–4.5)			More unlikely than likely	
(720–1000)	Total range	RCP6.0	1570–1940	3620–4990	18 to 54	–7 to 72	3.1–3.7 (2.1–5.8)	Unlikely ¹¹			More unlikely than likely
> 1000	Total range	RCP8.5	1840–2310	5350–7010	52 to 95	74 to 178	4.1–4.8 (2.8–7.8)		Unlikely ²⁶	Unlikely	

(IPCC/WG3/AR5)

安定化へのオプション

- ◆ 昇温を 2°C 未満で抑えられる<2度達成の>可能性が高い緩和シナリオは、2100年に大気中の濃度が 450ppmCO_2 換算となるものである(高い確信度)⇒ ほぼRCP2.6に対応⇒ 今世紀半ばまでの大幅な排出削減が前提。
- ◆ 2100年までにおよそ 500ppmCO_2 換算濃度に達する緩和シナリオでは、途中で約 530ppmCO_2 換算の水準を一時的にオーバーシュートしない限り、 2°C 未満で抑えられる<2度達成の>可能性はどちらかといえば高い。上記でオーバーシュートありなら、<2度達成の>可能性はどちらも同程度である。
- ◆ 昇温を 1.5°C 未満で抑えられる<1.5度達成の>可能性がどちらかといえば高い緩和シナリオは、2100年の濃度が $430\text{ppmCO}_2\text{eq}$ 未満になる場合である。

新たな**共通社会経済(SSP*)**シナリオのコンセプト

*: Shared Socioeconomic Pathways

緩和策の課題

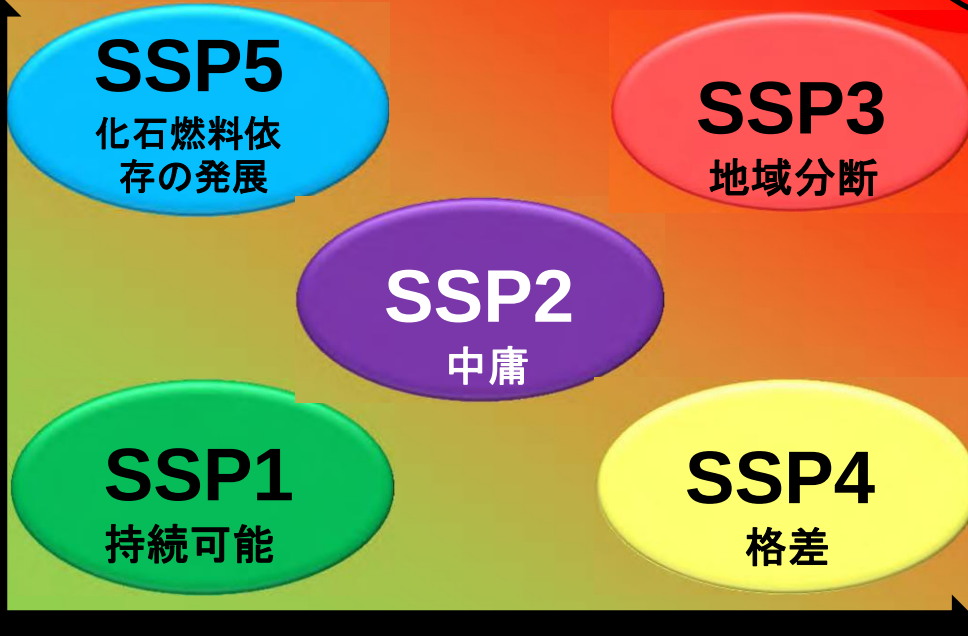
緩和策の能力が低い

- ・限界費用が高い
- ・対策の総費用が大きい
- ・化石燃料依存の発展

緩和策の能力が低い

- ・限界費用が高い
- ・対策の総費用が大きい

高い教育水準
行政改革の一層の促進
国際化の進展



低い教育水準
行政改革の停滞
国際化進展せず

適応策の課題

潜在的な被害が小さい

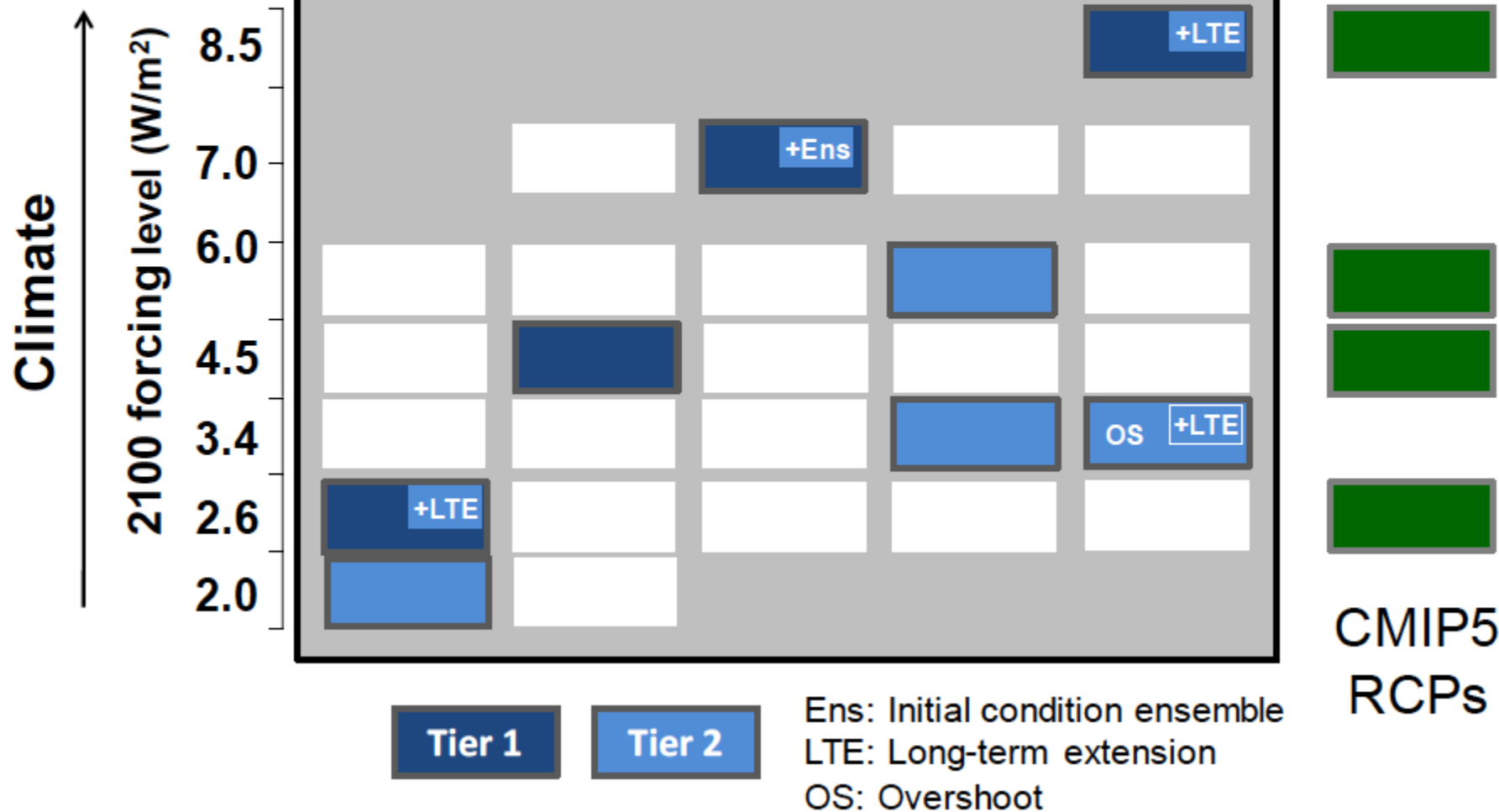
- ・被害人口が小さい。
- ・資本が分散
- ・所得格差が小さい

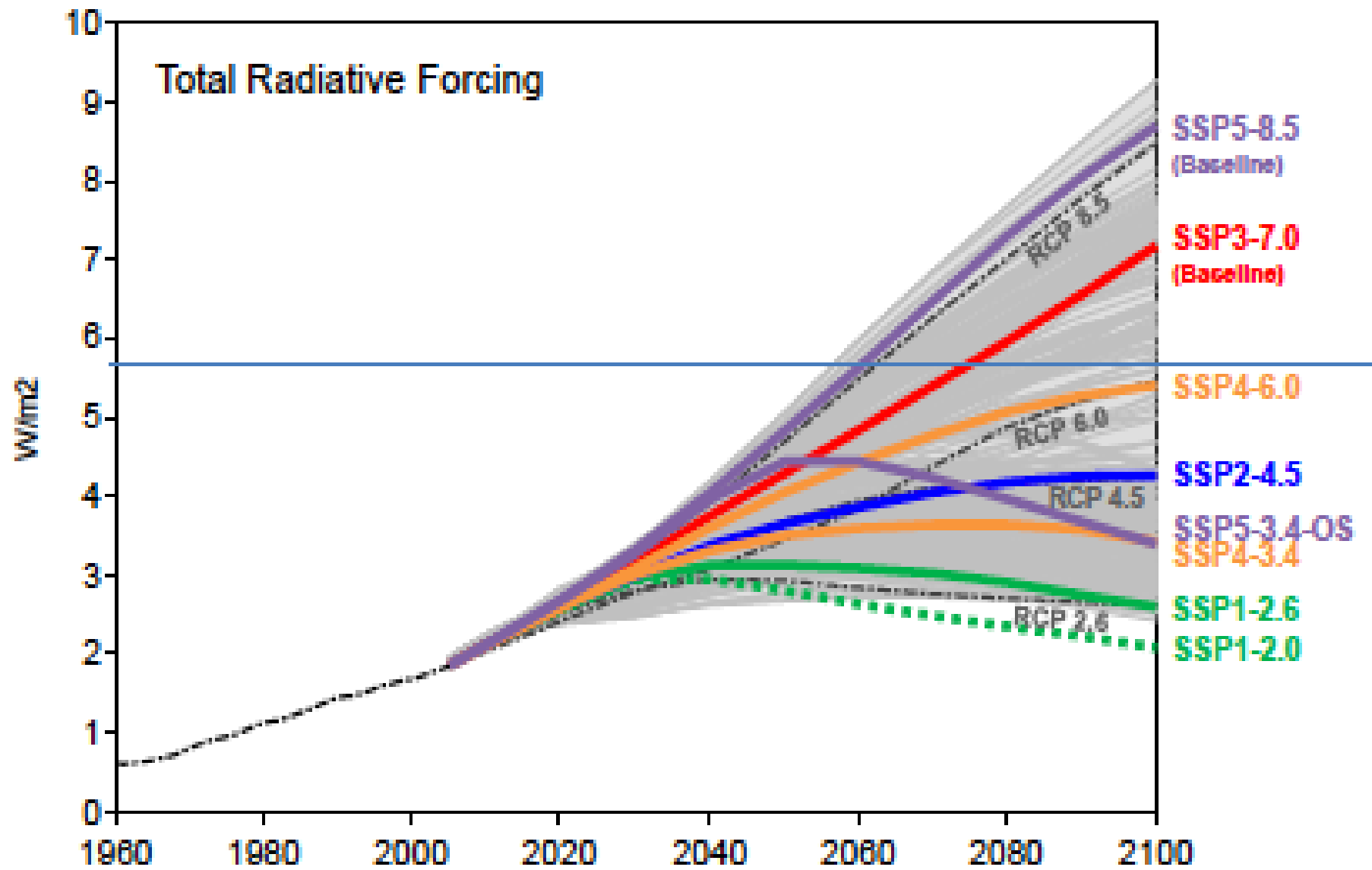
潜在的な被害が大きい

- ・被害人口が大きい。
- ・沿岸域に資本が集中
- ・所得格差が大きい

Shared Socioeconomic Pathways

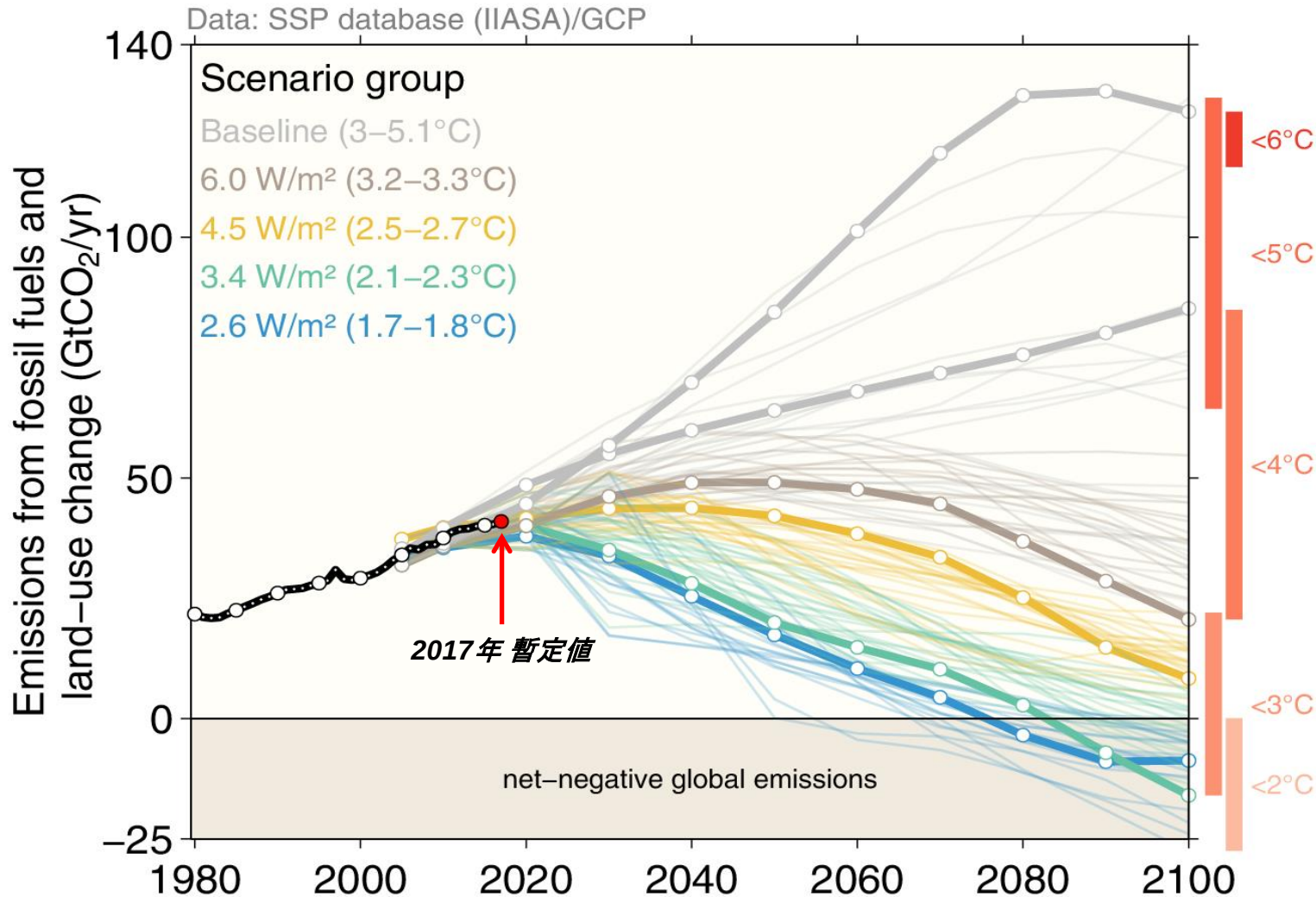
SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5	Previous scenarios
Sustainability	Middle of the Road	Regional Rivalry	Inequality	Fossil-fueled Development	



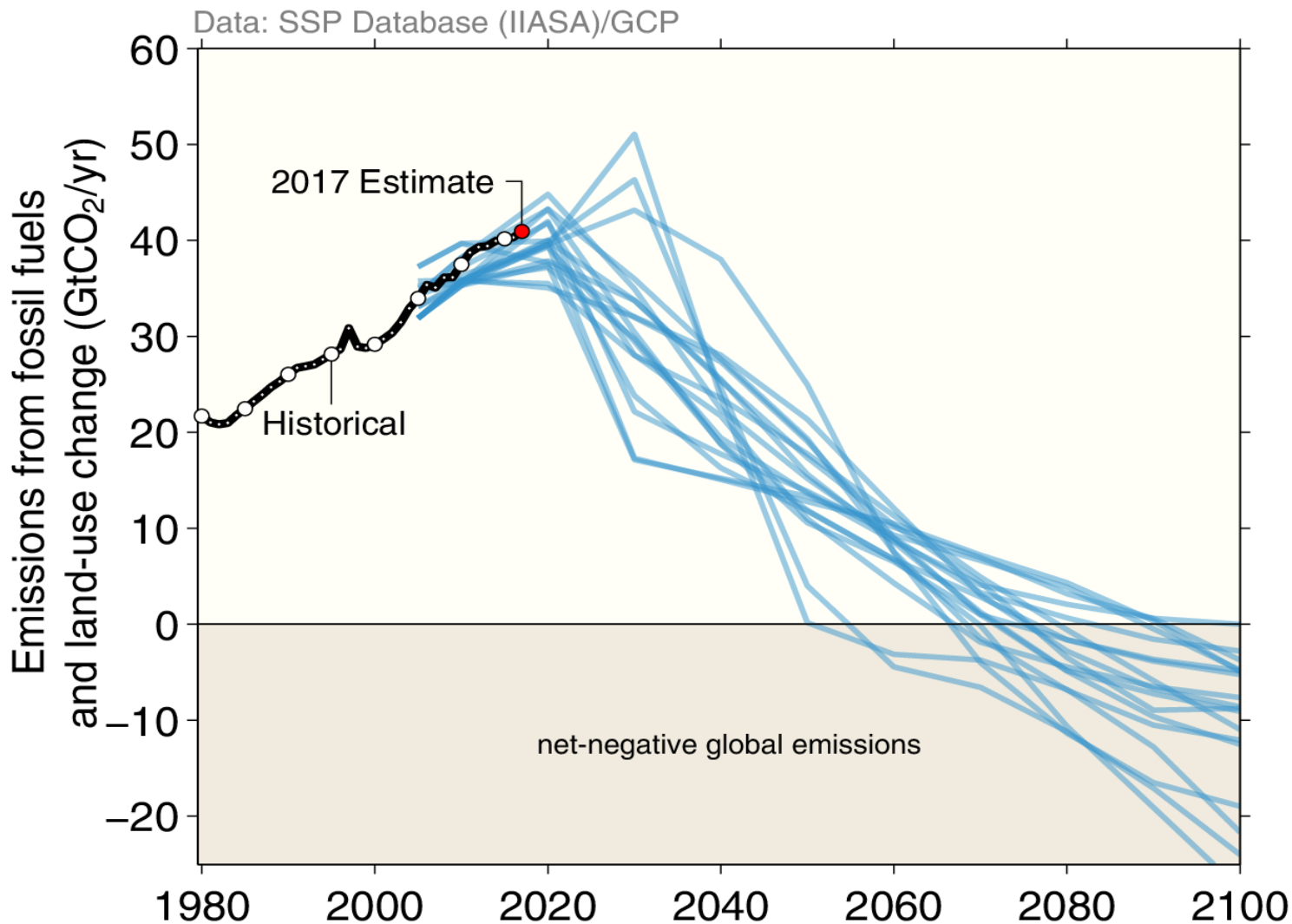


実際のCO2世界排出量変化 (黒線)とAR6に向けた新シナリオ(SSP*sなど)の排出量変化

* SSP: Shared Socioeconomic Pathways



2℃の昇温(工業化以来の)を避けるための排出経路(シナリオ)群



7. 安定化実現に向けた技術と 削減に向けた国際的動向

安定化に向けた技術(1)

◆ 二酸化炭素を回収(Capture)し、貯留(Storage)する技術(CCS)の開発が進行中: CCSに関する特別報告書(2005、IPCC)

➤ 陸上で回収して地中に貯留するオプション

残留率は100年にわたり99%を上回る(可能性は非常に高い)

- ⇒
- 1 石油及びガスの枯渇した貯留層
 - 2 CO₂を用いた石油及びガスの強制回収
 - 3 深い岩塩層 - (a)沖合 (b)陸上

これらは、これまで石油やガス産業が用いており、油田・ガス田や含塩層の特定の条件下で経済的に採算が合うことが立証されている技術と同一のものを多く用いることで実現可能性がある。

4 CO₂を用いた炭層メタンの強制回収

薄すぎるか深すぎて採掘されない炭層の利用であるが、回収したメタンの扱いなどの課題がある。

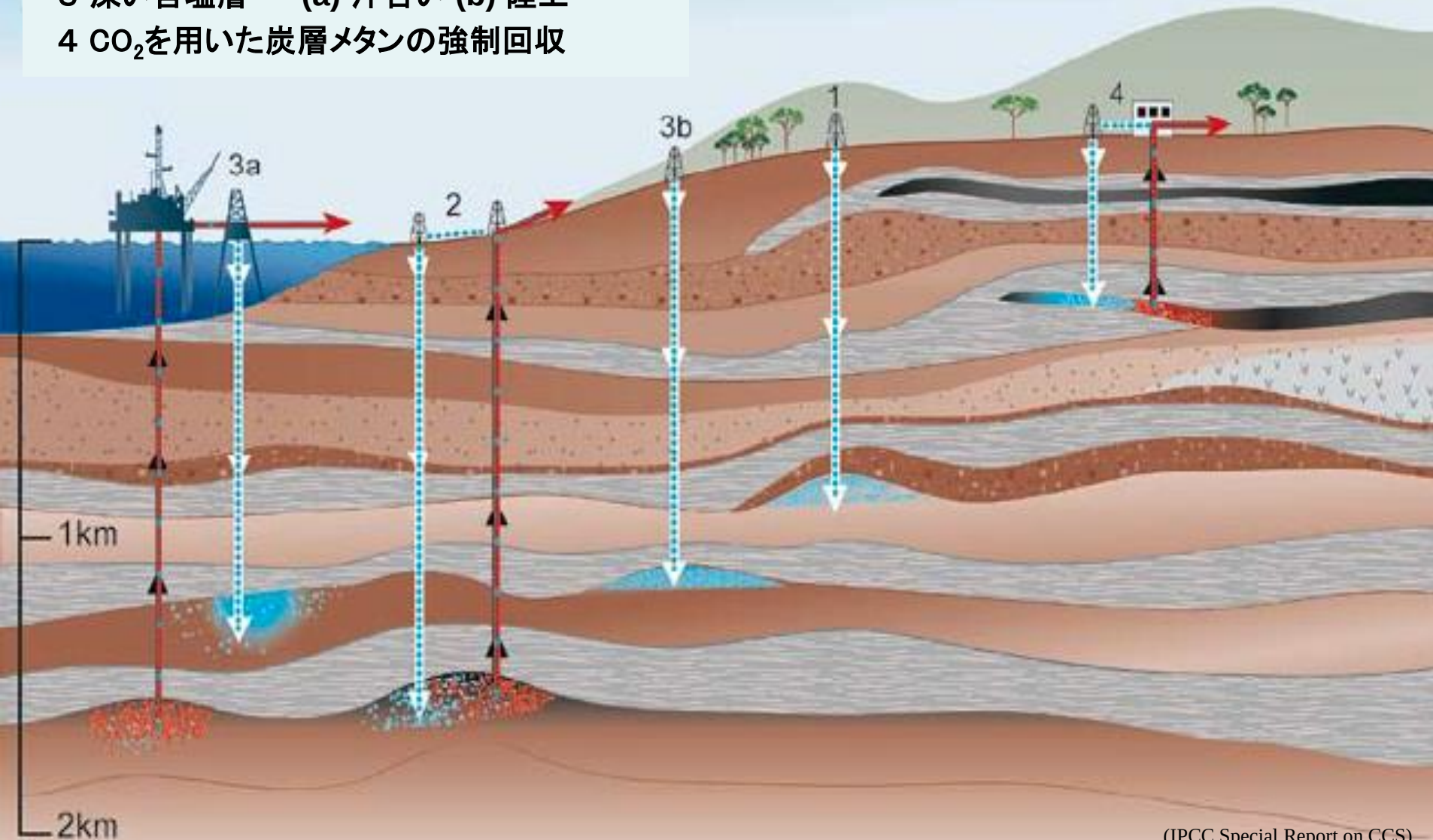
➤ 海洋中に貯留するオプション

残留率は、100年後 65～100%

地中貯留オプションの概観

- 1 石油及びガスの枯渇した貯留層
- 2 CO₂を用いた石油及びガスの強制回収
- 3 深い含塩層 — (a) 沖合い (b) 陸上
- 4 CO₂を用いた炭層メタンの強制回収

産出した石油又はガス
注入されたCO₂
貯留されたCO₂



固定パイプライン

回収

航行中の船舶

プラットフォーム

ガス状又は
液化 CO₂

湧昇するプルーム

溶解方式

液化CO₂

沈下するプルーム

溶解方式

液化
CO₂

湖方式

3 km

安定化に向けた技術(2)

- ◆再生可能エネルギー(Renewable energy):
(太陽、水力、風力、潮汐差、地熱、バイオマス)
の活用。cf: 「再生可能エネルギーに関する特別報告書」(2011, IPCC)
- ◆バイオマスとCCSを組み合わせた新技術: **BCCS**
(=Bio-energy with carbon and storage)
- ◆Geoengineeringの可能性についての議論
が進行中: 可能性と課題
 - 太陽放射管理(SRM*):
(例) 成層圏にエアロゾルを注入し太陽入射光を減らす
 - 二酸化炭素除去(CDR**): (例) 海洋に鉄を散布して光合成を促進)
 - 課題①不確実性が大、課題②研究はともかく、実施は気候変化につながる、...

注) *: Solar Radiation Management

** : Carbon Dioxide Removal

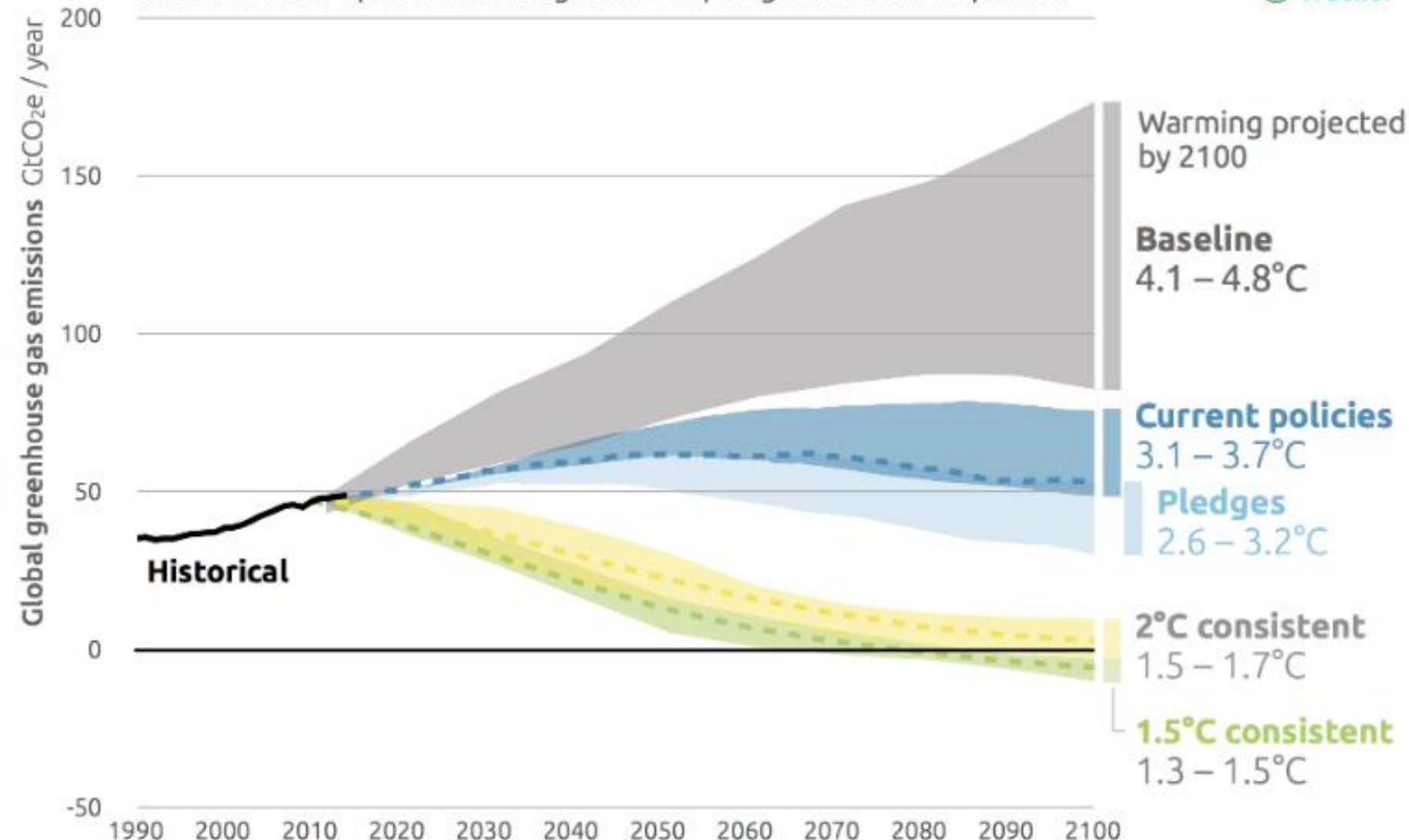
主要国による、当面の**自国削減目標**の現状 (*INDCs: Intended Nationally Determined Contributions*)

- ◆EU: 2030年までに**1990 年に比べ、少なくとも 40%減**
- ◆米国: 2025年までに**2005 年に比べ、26–28%減**。28%を目指して最大限の努力する。⇒ **トランプ政権が撤退の意向**
- ◆日本*: 2030年までに**2013年に比べ、26%削減**。
- ◆中国: 2030年より最も早い時点で削減を開始し、**2005年に比べ、単位GDPあたりで、CO2排出を 60-65 %削減**
- ◆ブラジル: 2025年までに、**2005年に比べ、37%削減**

*注)2050年までには、**80%削減**

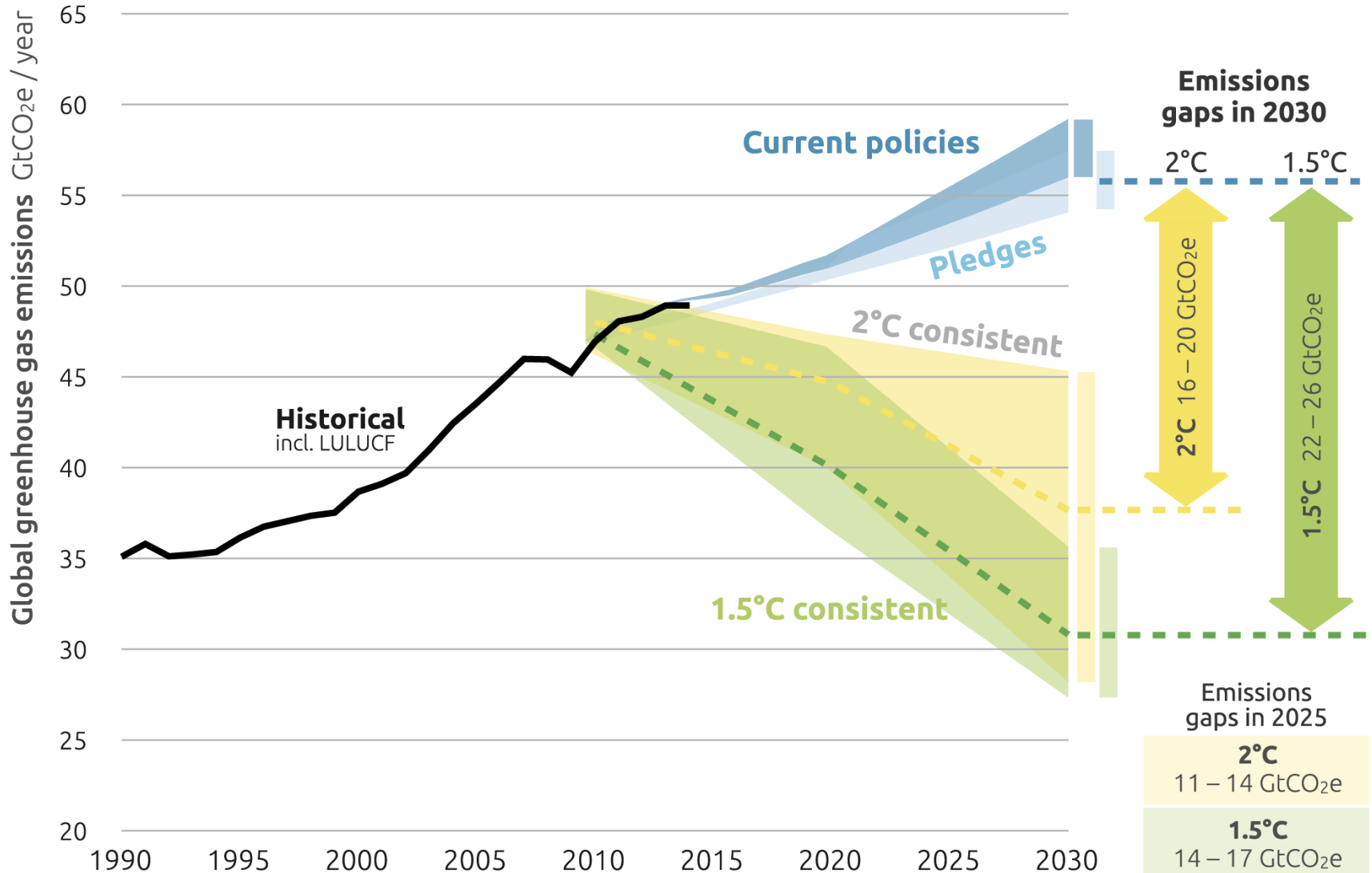
2100 WARMING PROJECTIONS

Emissions and expected warming based on pledges and current policies



2030 EMISSIONS GAPS

CAT 2017 projections and resulting emissions gaps in meeting the Paris Agreement's temperature goals



The "gap" range results only from uncertainties in the pledge projections. Gaps are calculated against the mean of the benchmark emissions for 1.5°C and 2°C.

パリ協定と今後の課題

- ◆ 2015年末パリで開催の国連気候変動会議(COP21)では、
2020年から実施する、すべての国の参加による新たな枠組み
としてパリ協定が合意された：国際交渉の画期的な成果
- * 共通の長期目標として工業化以前からの昇温を 2°C より十分
低く保つとともに、 1.5°C に抑える努力を追求すること
- * 主要排出国を含むすべての国が削減目標を5年ごとに提出・
更新すること
- * 発効要件：55か国以上が締結、かつ締結国の排出量が全体の
55%以上)が満たされた30日後に発効
- ◆ 1.5°C 目標に関しては、AR5ではまだ不確実性が大きいため、
UNFCCCからの要請に基づき、IPCCは特別報告書の作成にとり
かかっている。⇒ 気候科学に対する政策ニーズとして、より定量的
な確実性の高い知見が強く求められている。

パリ協定の現状

- ◆ **2016年11月4日パリ協定**は、その第 21条*により**発効**した。
- ◆ **その直後、COP22** (モロッコ・マラケシュ、11月7-18日)では、**第1回パリ協定締約国会議(CMA1)**が開催された。
- ◆ **2018年9月17日(UTC午前8時)現在、197UNFCCC締約国**のうち、**中国、米国の2大排出国**(いずれも2016年9月3日)、**日本**(2016年11月8日)を含む**180カ国がパリ協定を締結(批准/受諾/承認)**している

- **Note: Article 21:** “This Agreement shall enter into force **on the thirtieth day** after the date on which at least 55 Parties to the Convention accounting in total for at least an estimated 55 per cent of the total global greenhouse gas emissions have deposited their instruments of ratification, acceptance, approval or accession....”20

1.5℃に関するIPCC特別報告書*

- ◆ UNFCCCにおける政策ニーズに対応し、IPCCは工業化以前からの1.5昇温に関する最新の知見を特別報告書の作成を43回総会(2016年4月)で決定し**、その概要を44回総会(2016年10月)において合意し、現在作成活動に取り組んでいる。2018年10月***に完成・公表予定。

<表題>:

*「**1.5℃の地球温暖化**: 気候変動の脅威への世界的な対応の強化、持続可能な開発及び貧困撲滅への努力の文脈における、産業革命以前の水準から1.5℃の地球温暖化による影響及び関連する世界の温室効果ガス(GHG)排出経路に関するIPCC 特別報告書」

** その際同時に、「砂漠化、土地の劣化に関する報告書」および、「海洋と雪氷件に関する報告書」の作成も決定し、それぞれ取り組んでいる。

*** **IPCC48回総会(2018年10月1～5日、韓国・インチョン)**による。

「1.5℃の地球温暖化特別報告書」のアウトライン

- ◆ まえがき：政策決定者向け要約（ヘッドラインステートメント）
- ◆ 第1章：枠組みと文脈
- ◆ 第2章：持続可能な開発の文脈において1.5℃と整合する緩和経路
- ◆ 第3章：自然及び人間システムにおける1.5℃地球温暖化の影響
- ◆ 第4章：気候変動の脅威に対する世界的な対応の強化と実施
- ◆ 第5章：持続可能な開発、貧困の撲滅及び不平等の削減
- <囲み記事>：統合的な事例研究／地域的及び分野横断的なテーマに関する囲み記事
- ◆ よくある質問と回答 (FAQ)

注) 上記は仮訳である。また、アウトライン章及び節立ての詳細は今後の議論により更新の可能性がある。

まとめ

- ◆ 1.5°C目標は、まず将来予測とその影響評価の知見から2°C目標の重要性が政策目標として提唱されたのち、海面水位上昇による懸念などから、小島嶼国をはじめとする途上国から強く指摘され始めた。
- ◆ IPCC/AR5において、CO₂累積排出量とそれによる気温上昇量とが、ほぼ比例関係にあるという新知見から、2°C目標や、1.5 °C目標に対するカーボンバジェット概念が生じ、今後許容される排出量と対応するシナリオが注目されている。
- ◆ 排出シナリオは、社会経済的考察からのSRESが2000年に発表されたのち、安定化の観点からRCPシナリオが提唱され、それに基づく予測知見がAR5でしめされた。
- ◆ RCPでの安定化を基本とした、新たな適応・緩和の観点からの社会経済シナリオとして、SSPが提唱され、それに基づく研究が進行中である。
- ◆ 安定化のためには、排出削減では限度があるため、自然過程に加えて人工的な技術による削減技術が提案され、開発が進行中のものもあるが、構想段階のものもある。気候あるいは自然環境変化につながる懸念などの課題もある。
- ◆ 既存のINDCでは、1.5°Cどころか、2°Cも達成困難であり、パリ協定では、5年ごとの見直しにおいて、科学的知見に基づく議論が望まれる。