

WWF スクールパリ協定 2017. 9. 11

**工業化以来の1.5度昇温に関して:**  
**IPCC特別レポートに向けた最新科学的知見と国際交渉上の意義**

(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°C問題: その意味と発端

# **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」

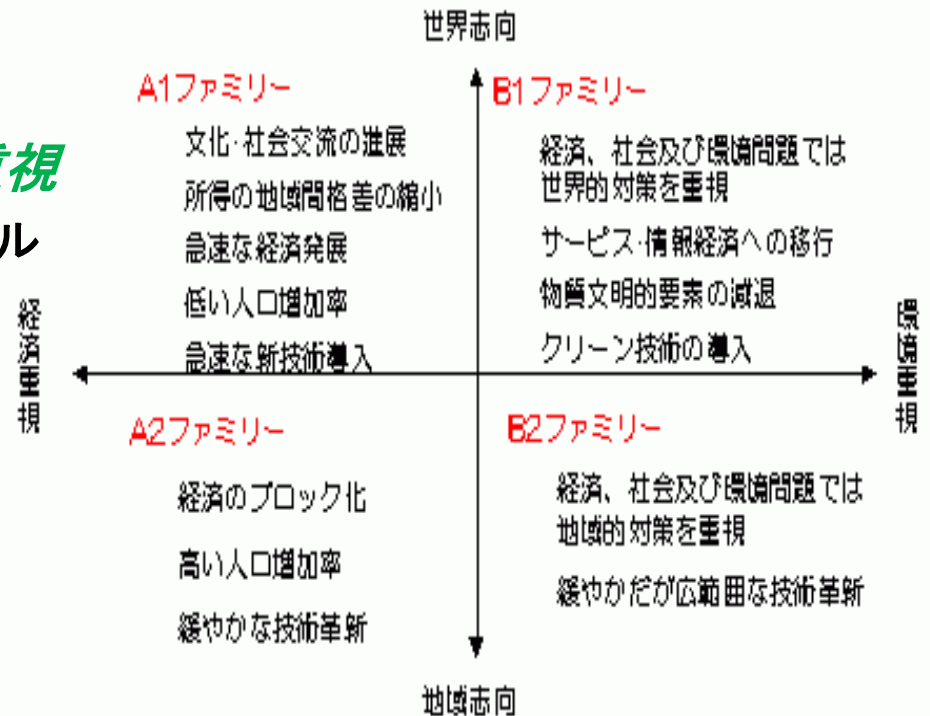
地域独自性、世界人口増加、経済成長・技術変化はばらつき、緩やかな技術革新など

## 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」

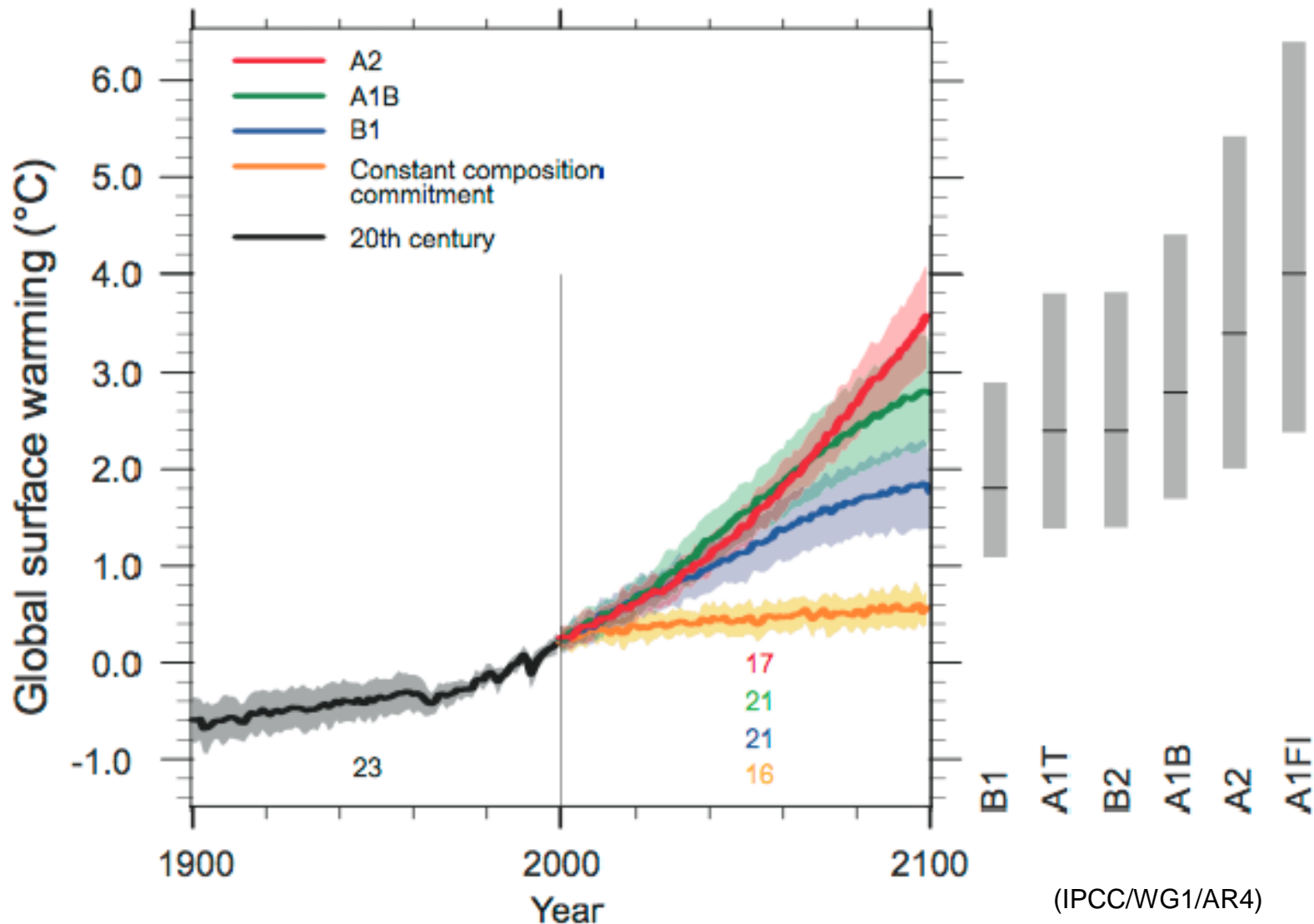
経済、社会及び環境問題では地域的対策重視、穏やかだが広範囲な技術革新



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。

# 世紀末に予測される 世界平均地上気温および海面水位の変化

Case	Temperature Change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999) <sup>a</sup>		Sea Level Rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999)
	Best estimate	Likely range	Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow
Constant Year 2000 concentrations <sup>b</sup>	0.6	0.3 – 0.9	NA
B1 scenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2 scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B scenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2 scenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI scenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

気温

海面水位

## Table notes:

(IPCC/WG1/AR4)

**a:** These estimates are assessed from a hierarchy of models that encompass a simple climate model, several Earth System Models of Intermediate Complexity and a large number of Atmosphere-Ocean General Circulation Models (AOGCMs).

**b:** Year 2000 constant composition is derived from AOGCMs only.

# 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。

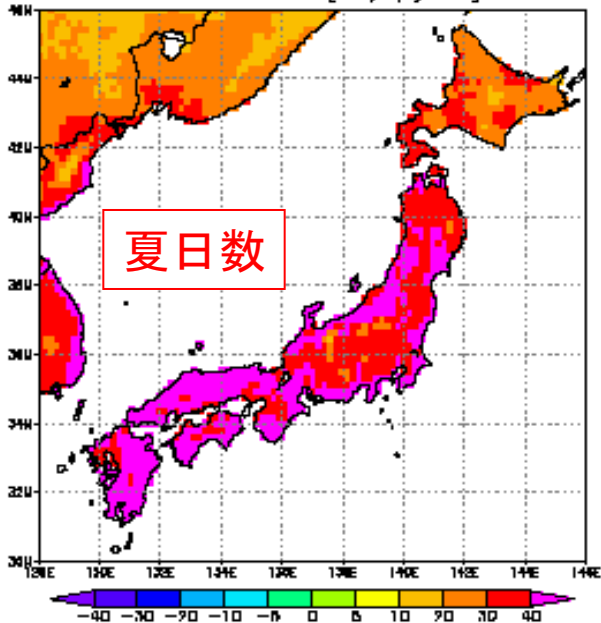
上記のAR4の知見には、日本から先端・中心的な貢献をした。

- 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への寄与を自指した。

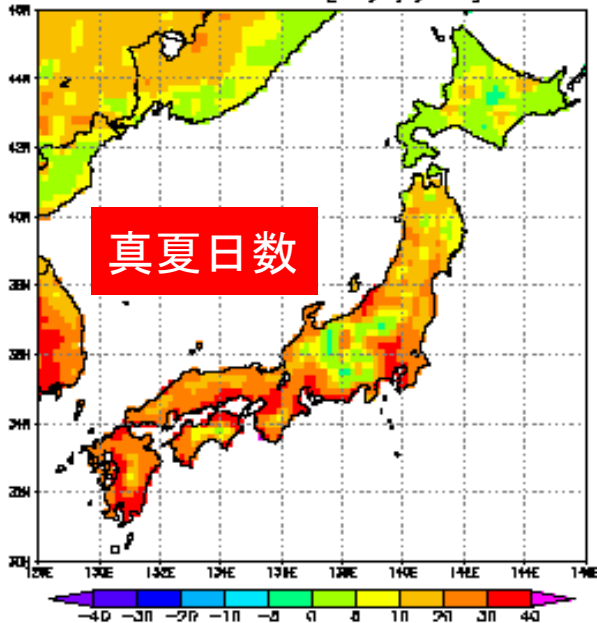


# A1B(中程度排出シナリオ)で温暖化の高温/低温日数の変化分布 (JMA/MRI/AESTO)

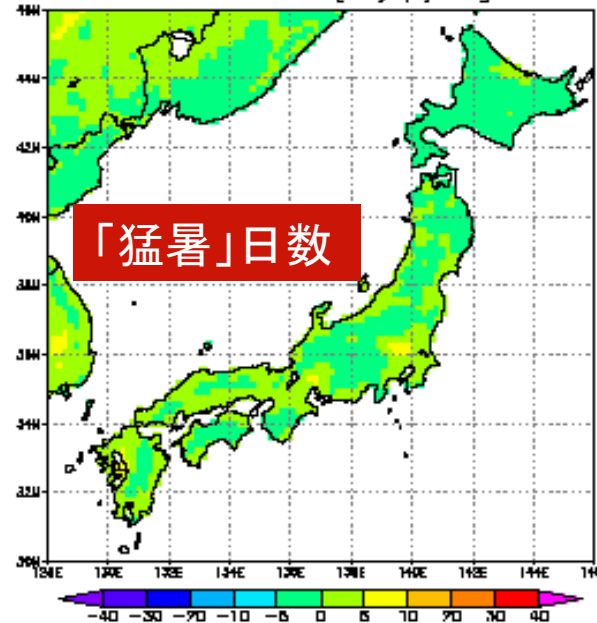
$T_{max} \geq 25.0$  [days/year]



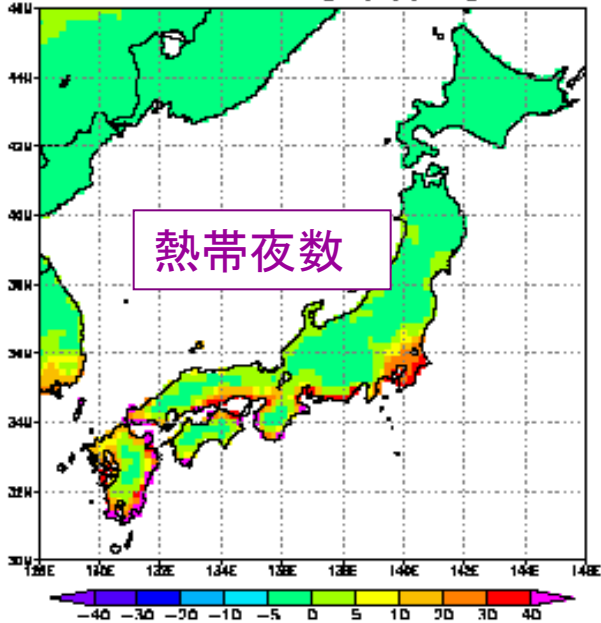
$T_{max} \geq 30.0$  [days/year]



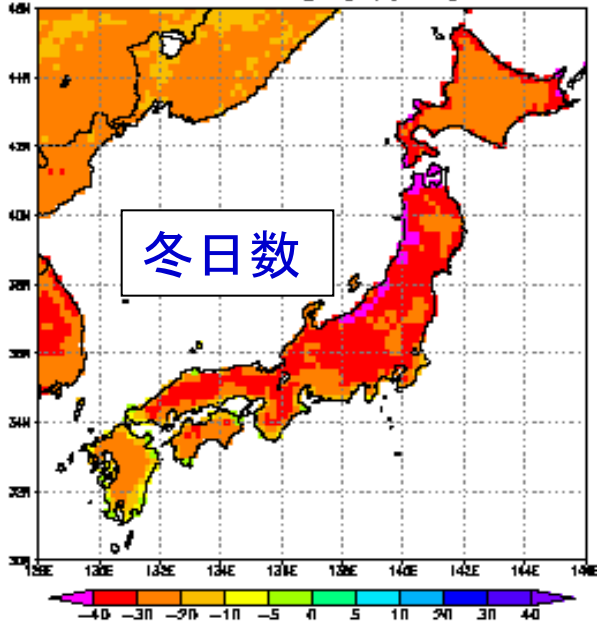
$T_{max} \geq 35.0$  [days/year]



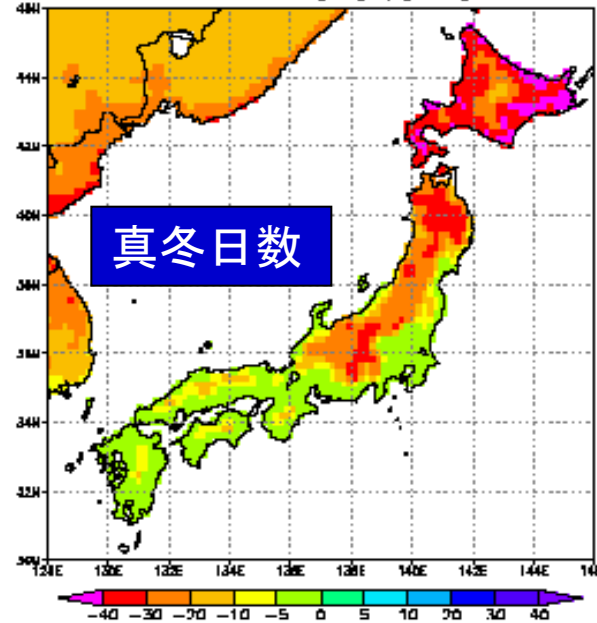
$T_{min} \geq 25.0$  [days/year]



$T_{min} < 0.0$  [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)

◆  $\Delta T^*$  : +1.5 ~ 2.5°C (工業化前より+2~3°C)  
→ 2~3割が絶滅リスク増大

◆  $\Delta T^*$  : +3.5°C (工業化以前より+4°C)  
→ 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\* → 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。

\*\*\*\*\*

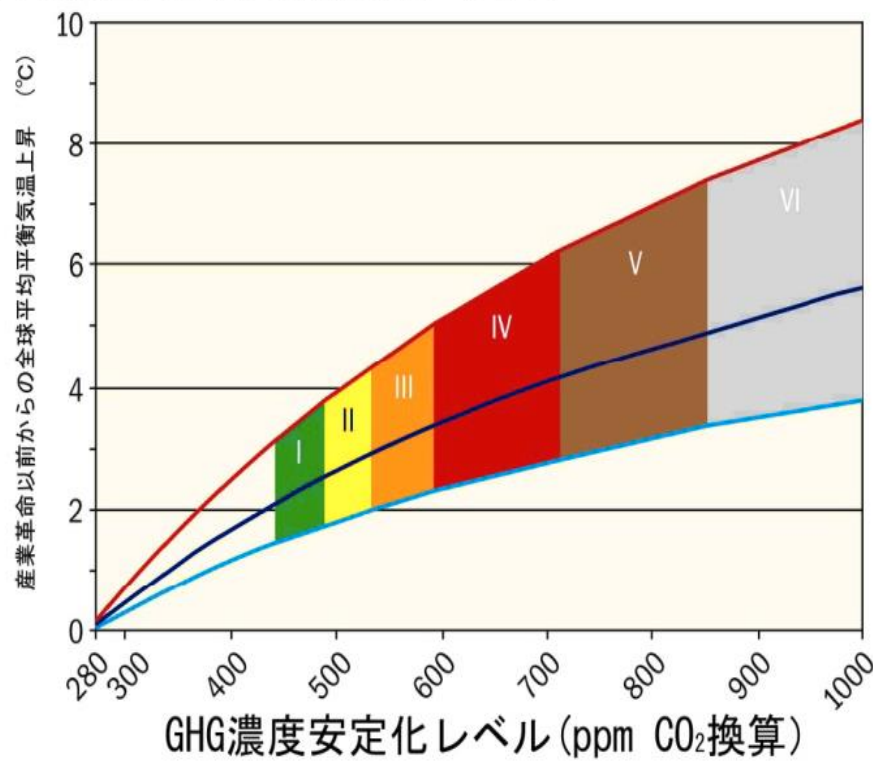
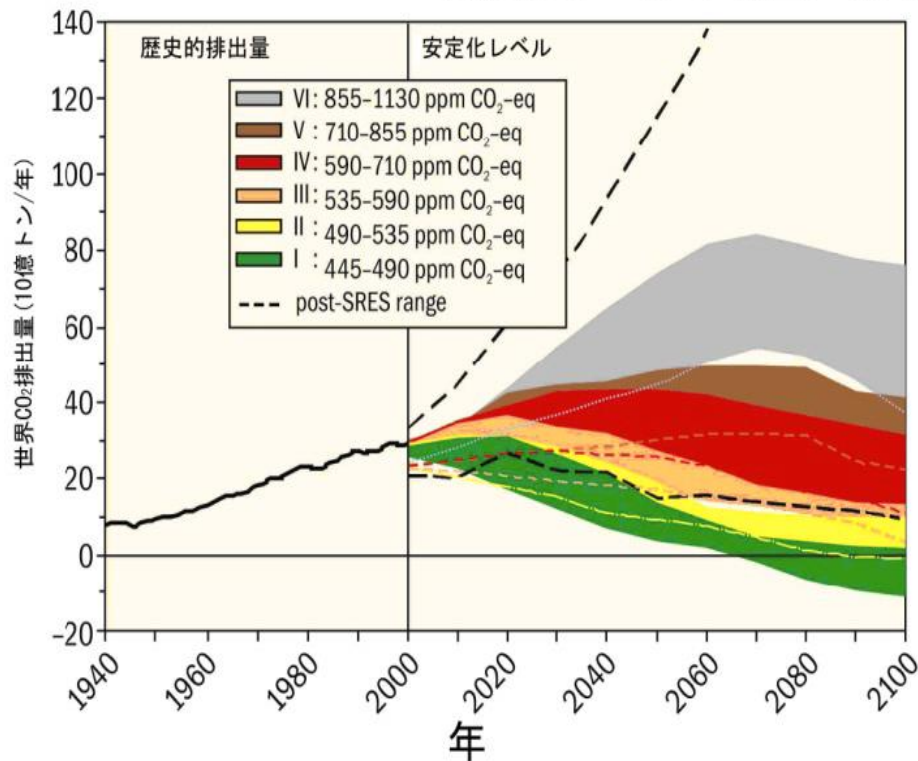
\*注) ここでは、1990年と比較した世界平均気温の変化

# 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>):

- 1~3°C(工業化以前より**1.5°C~3.5°C**)より小さい  
→ 便益が生じるところもコストの生じるところもある
- 2~3°C(工業化以前に比べ**2.5~3.5°C**)より大きい  
→ 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

## 安定化レベルの範囲におけるCO<sub>2</sub>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** : CO<sub>2</sub>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 CO<sub>2</sub>濃度換算で 445—490ppm) に安定化が目標。

そのためには、CO<sub>2</sub>排出量は2000年から2015年でピークに達し、2050年でのCO<sub>2</sub>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 <sub>2</sub> -eq <sup>b</sup>	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 <sub>2</sub> - 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 <sub>2</sub> - 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

# 排出量削減に関する国際的政策対応

## ◆ドイツ・ハイリゲンダムでのG8 サミット (2007年)

### 議長国(ドイツ)総括:

気候変動と闘うことは、人類にとっての主要な課題の一つである。気候変動は我々の自然環境や世界経済に深刻な損害を与える可能性がある。我々は、今回のIPCCの報告書とその科学的知見に懸念とともに注目している。

我々は、緊急で協調的な実行が必要であることを確信し、気候変動に取り組む上でリーダーシップを示す責任を負う。全ての主要な排出国を含みハイリゲンダムで合意した過程で、排出削減の世界的目標を設定するに際し、我々はヨーロッパ連合(EU)、カナダ及び日本により下された、2050年までに世界の排出を少なくとも半減するなどの決定を真剣に検討する(consider seriously)つもりである。(日本:安倍首相、米国:ブッシュ大統領)

## バリロードマップ (バリ行動計画など、2007年)

- 2007年、激しい議論の末達した結論 (IPCC/第四次評価報告書が多くの場面で引用された).
- バリ行動計画は、気候変動に取り組むための新たな交渉の道筋を、2009年までに完結させる目的で示している。
- 「IPCC第4次評価報告書が『最も低い濃度水準を達成するためには附属書I国全体として2020年までに1990年比25～40%削減が必要』と指摘していることを認識する」。
- 全ての、先進国、経済移行国及び途上国を含むUNFCCCの締約国は、ポスト京都の枠組み(2013年～)を2009年末にデンマーク・コペンハーゲンで結論付けるために、気候変動に関する、強化された国際的な政策に関する正式の交渉に乗り出すことに合意した。

# 洞爺湖G8サミット(2008年)およびそれに向けての議論

- 合同科学アカデミーのステートメント:  
“気候変動への適応と**低炭素社会**への移行”
- **G8+5 国\***の科学アカデミー(世界のリーダーに対し、気候変動の脅威に歯止めをかけるよう、2005年以来呼びかけてきた)により、G8サミット(2008)の議長国日本の福田首相を通してサミットに提出された。
- 洞爺湖でのG8サミット(2008年7月)
- “**2050年までに少なくとも全世界の排出を50%削減する**という目標の達成に関して、**G8 国の首脳は、UNFCCCの全ての締約国と共に採択することを求めることに合意した。**”  
→ **バリロードマップに対する、真剣に考慮すべきメッセージ**  
(日本:福田首相が議長)

\*\*\*\*\*  
\*: 5つの新興国(ブラジル、中国、インド、メキシコ及び、南アフリカ)を指す。



# ポズナニ(ポーランド)国連気候変動会議(2008年12月)

- 日本は、G8議長国としてG8の合意である**2050年までに世界全体の排出量を少なくとも50%削減するという長期目標の共有**や革新的技術開発の国際連携の必要性を主張
- 附属書I国全体の削減レベル、国ごとの削減レベルに加え、約束期間、基準年を含む数量削減目標のあり方、削減ポテンシャル等につき**各国の意見提出などを踏まえ検討していく**ことで合意。
- 「IPCC第4次評価報告書が『**最も低い濃度水準を達成するためには附属書I国全体として2020年までに1990年比25~40%削減が必要**』と指摘していることを認識する」という昨年12月のバリ会合での結論を**再確認**

# ラクイラG8サミット(2009年7月)の主要な結論

- “工業化以前の水準からの世界全体の平均気温上昇が2度を越えないようにすべきとする広範な科学的見地を認識””
- 洞爺湖において合意した、**世界全体**の温室効果ガス排出量を**2050年までに少なくとも50%削減する**との目標を再確認し、
- **先進国全体**で、**1990年**又はより最近の複数の年と比して**2050年までに80%、又はそれ以上、削減する**との目標を支持する。
- 主要新興経済国が特定年において対策を取らないシナリオから**相当程度下回る排出量**となるための数量化可能な行動を取る必要性を強調。
- 低炭素技術の開発・普及を促進し、もって**低炭素社会への移行**を更に推進することの重要性を強調。
- **途上国の緩和・適応支援、技術の開発・普及**のため、官民を問わずすべての資金を活用することの重要性を確認

# 鳩山イニシャティブ

国連気候変動サミット演説(2009年9月22日)

- 主要な排出国(米国、中国)のポスト京都への参加を前提として、
- **日本 : 2020年までに、1990年比25%の排出削減**
- **先進国** → [公的資金・民間投資] → **途上国**
- **先進国** ← [資金援助による削減量を報告] ← **途上国**
- **国連など国際機関** : 先進国・途上国間の調整

(途上国に利用できる資金を紹介、途上国の削減量を検証)

# 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°C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℃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°C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°Cに関しては、1.5°C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。

## ダーバン会議(2011年、COP17) (2)

### • 京都議定書の延長

- **第二約束期間(2013年～) の設定に向けた継続に合意**(第一約束期間は2008～12年)
- 第二約束期間を、2013年初頭から、**2017年末まで(5年間)**、あるいは**2020年末まで(8年間)**までの、いずれにするかは今後決める
- **附属書1国全体で、1990年基準から、2020年までに25～40%温室効果ガスの削減**を確実にすることを目指す
- **2015年までの見直し(Review)**を行うのが妥当

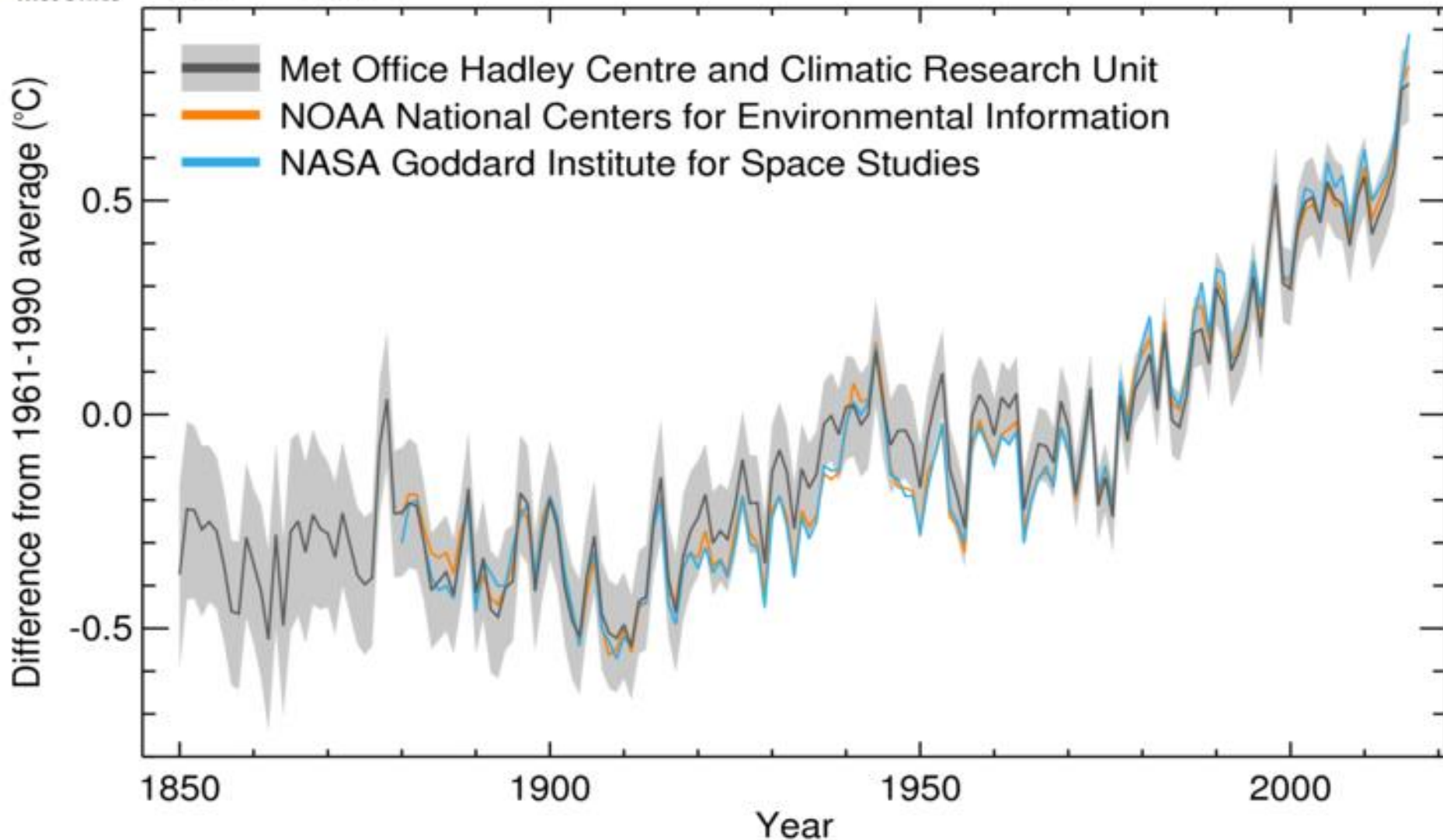


## 2. 現状に至る気候変動に関する AR5及び最新の科学的知見

## 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。

# Global average temperature anomaly 1850 - 2016



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

## WMO Statement (18 January 2017)

It has been confirmed that

**2016 was the hottest year on record**

*(with global temperatures even higher than the record-breaking temperatures in 2014 and 2015).*

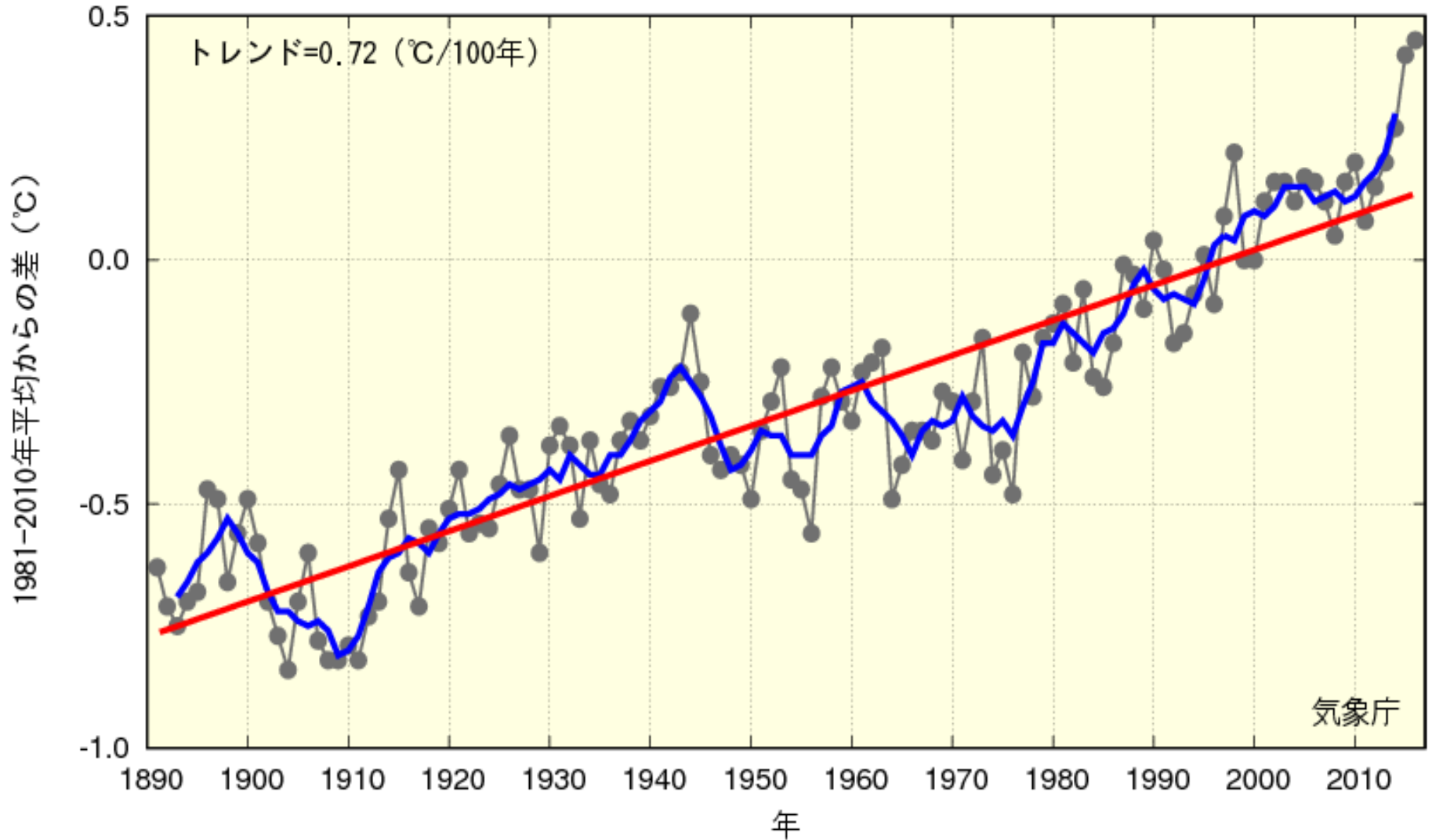
Data shows that 2016's global temperatures are approximately **1.1° Celsius above pre-industrial levels**, according to an assessment by the World Meteorological Organization (WMO).

\*\*\*\*\*

For details see:

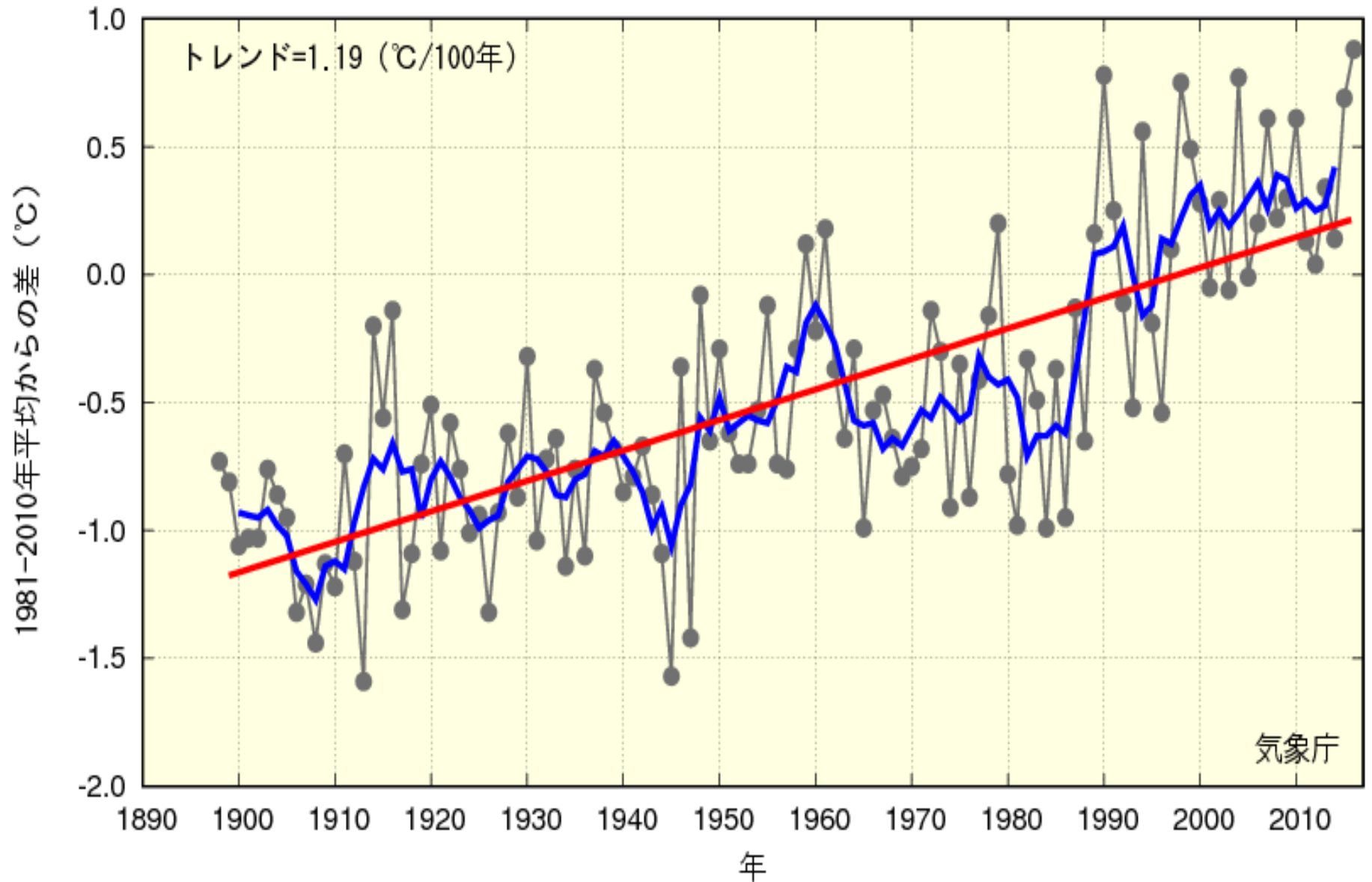
<http://public.wmo.int/en/media/press-release/provisional-wmo-statement-status-of-global-climate-2016>

# 世界の年平均気温偏差



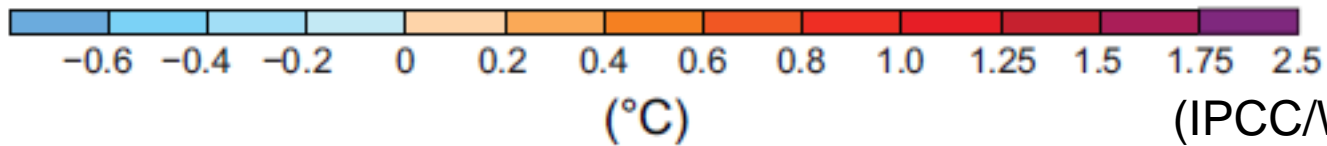
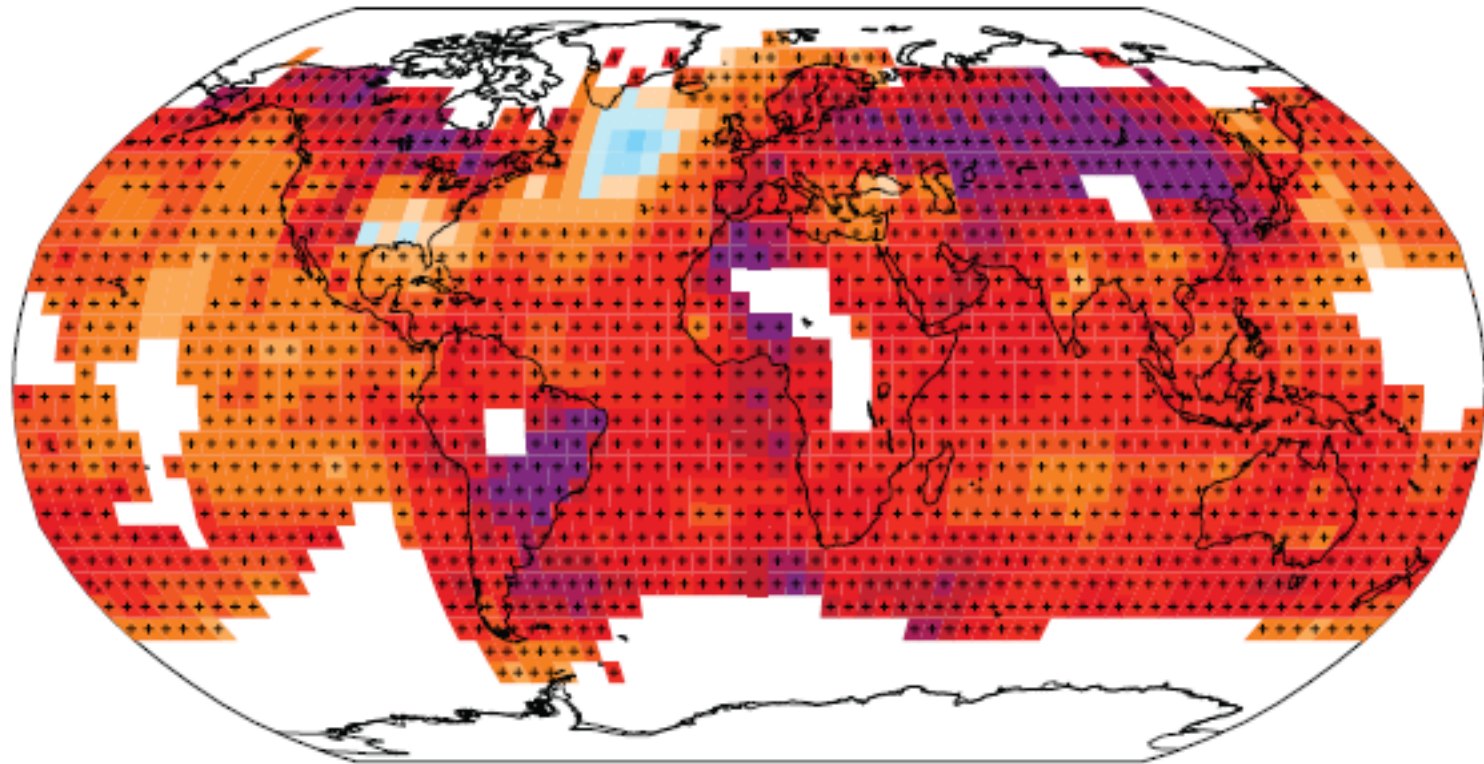
**2016年の世界の(全球)年平均気温は、偏差(1981-2010年の平均からの差)では+0.45°Cで統計開始年の1891年以降で最も高い値となった(気象庁, 2017)**

# 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

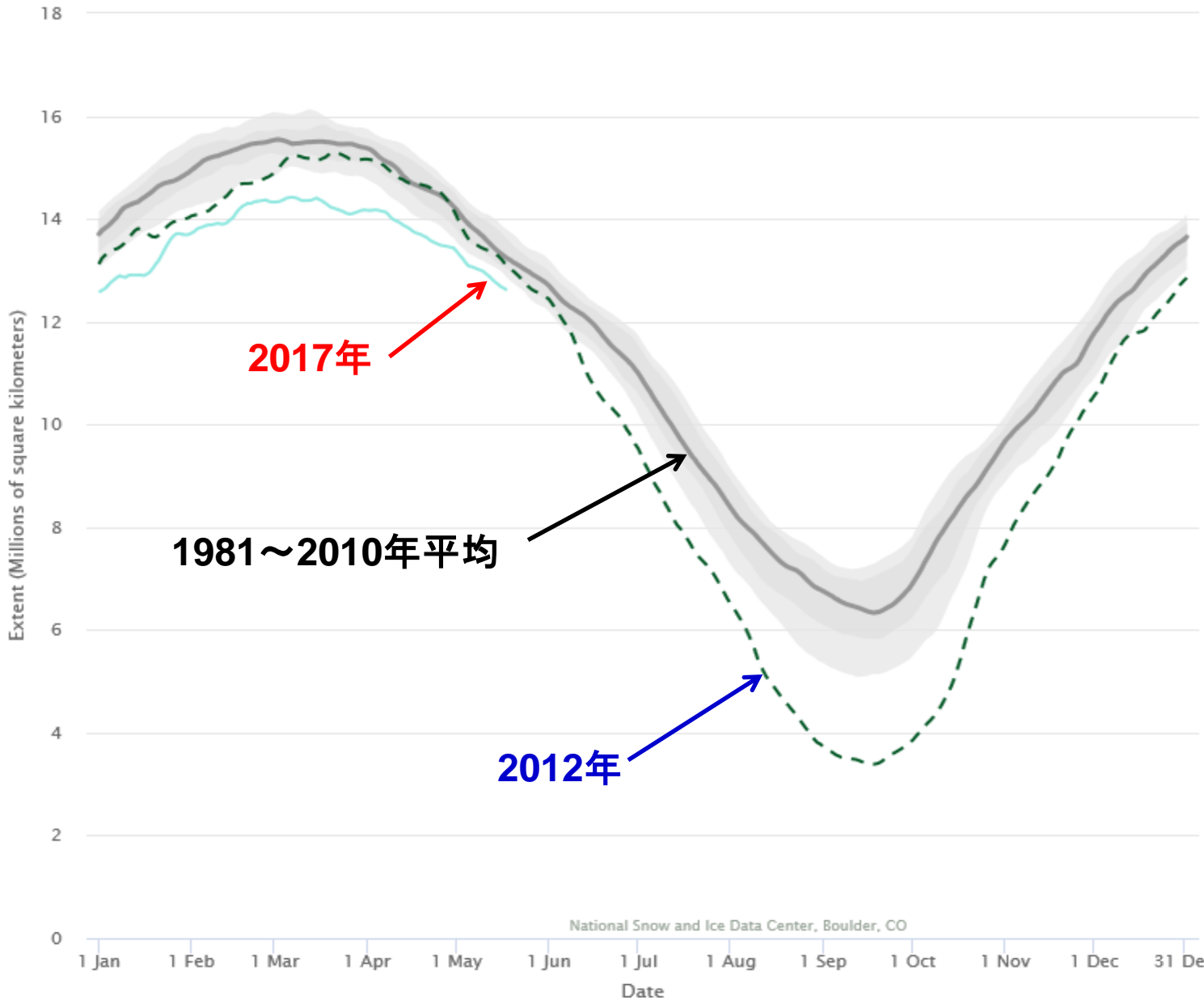
- 1950年頃以来、多くの極端気象・気候現象の変化が観測されてきた。寒い日・寒い夜の数が減少し、暑い日・暑い夜の数が増加したことは全球的に非常に可能性が高い。
- 熱波の頻度は、ヨーロッパ、アジア及びオーストラリアのいずれも大部分で増加した可能性が高い。
- 陸域では、大雨現象が増加した地域のほうが減少した地域よりも多い可能性が高い。
- 北米やヨーロッパでは、大雨の頻度あるいは強度が増大した可能性が高い。その他の大陸では、大雨現象の変化に関する確信度はせいぜいで、中程度である。



# Latest Finding

## Arctic Sea Ice Extent

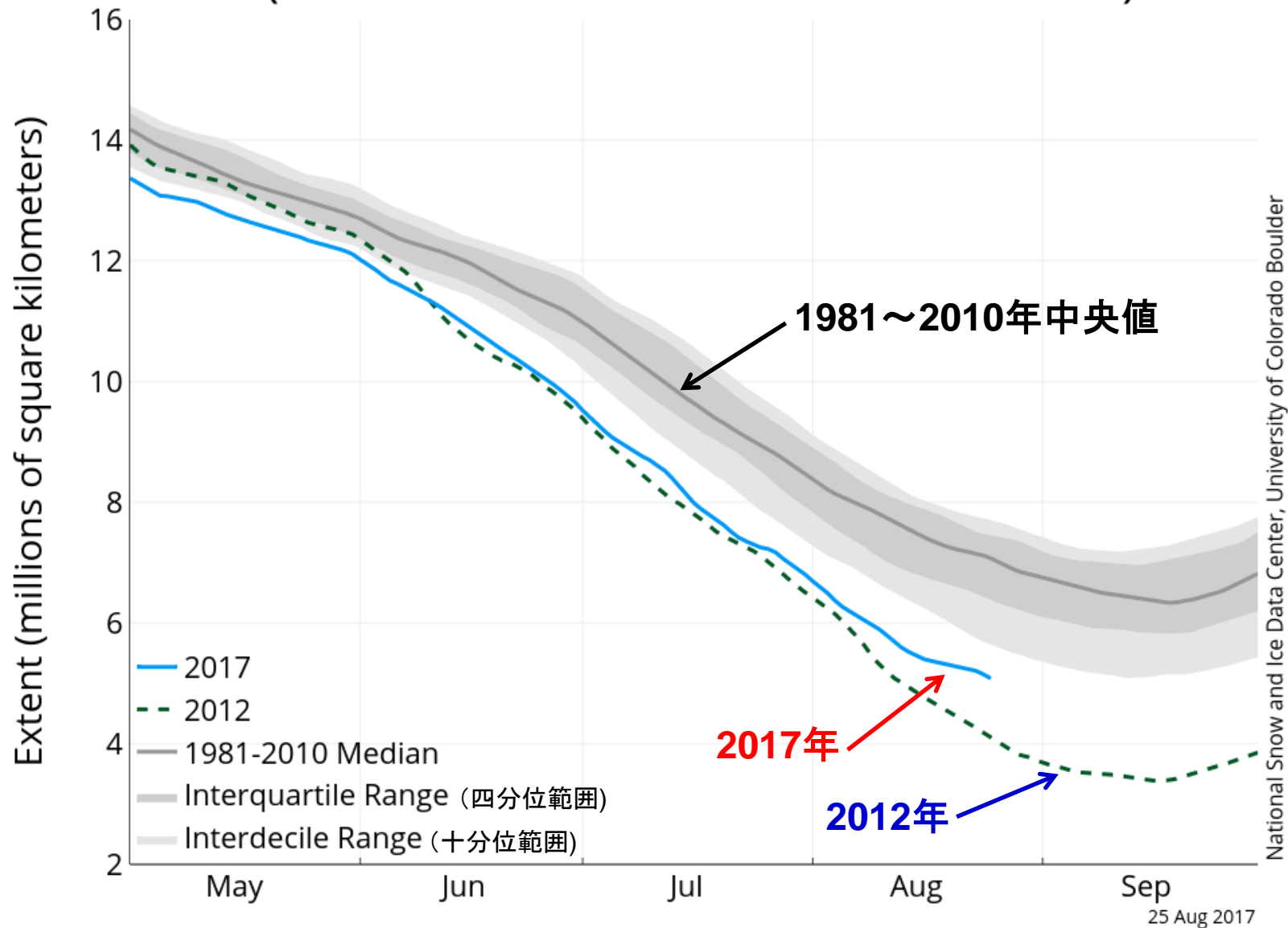
(Area of Ocean with at least 15% sea ice)



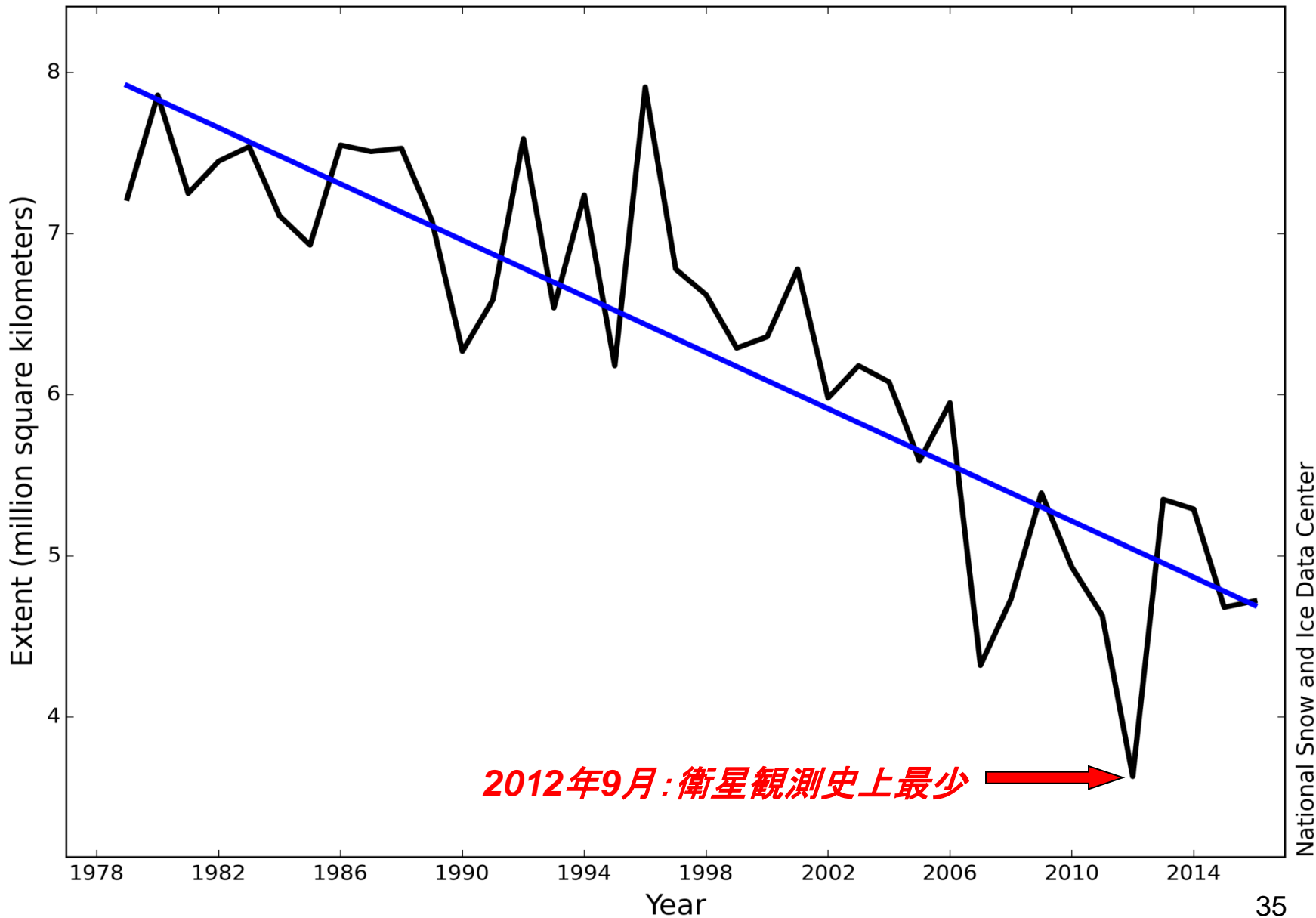
- 1981–2010 Median
- Interquartile Range
- Interdecile Range
- 1981–2010 Average
- ±2 Standard Deviations
- 1979
- 1980
- 1981
- 1982
- 1983
- 1984
- 1985
- 1986
- 1987
- 1988
- 1989
- 1990
- 1991
- 1992
- 1993
- 1994
- 1995
- 1996
- 1997
- 1998
- 1999
- 2000
- 2001
- 2002
- 2003
- 2004
- 2005
- 2006
- 2007
- 2008
- 2009
- 2010
- 2011
- 2012
- 2013

▲ 1/2 ▼

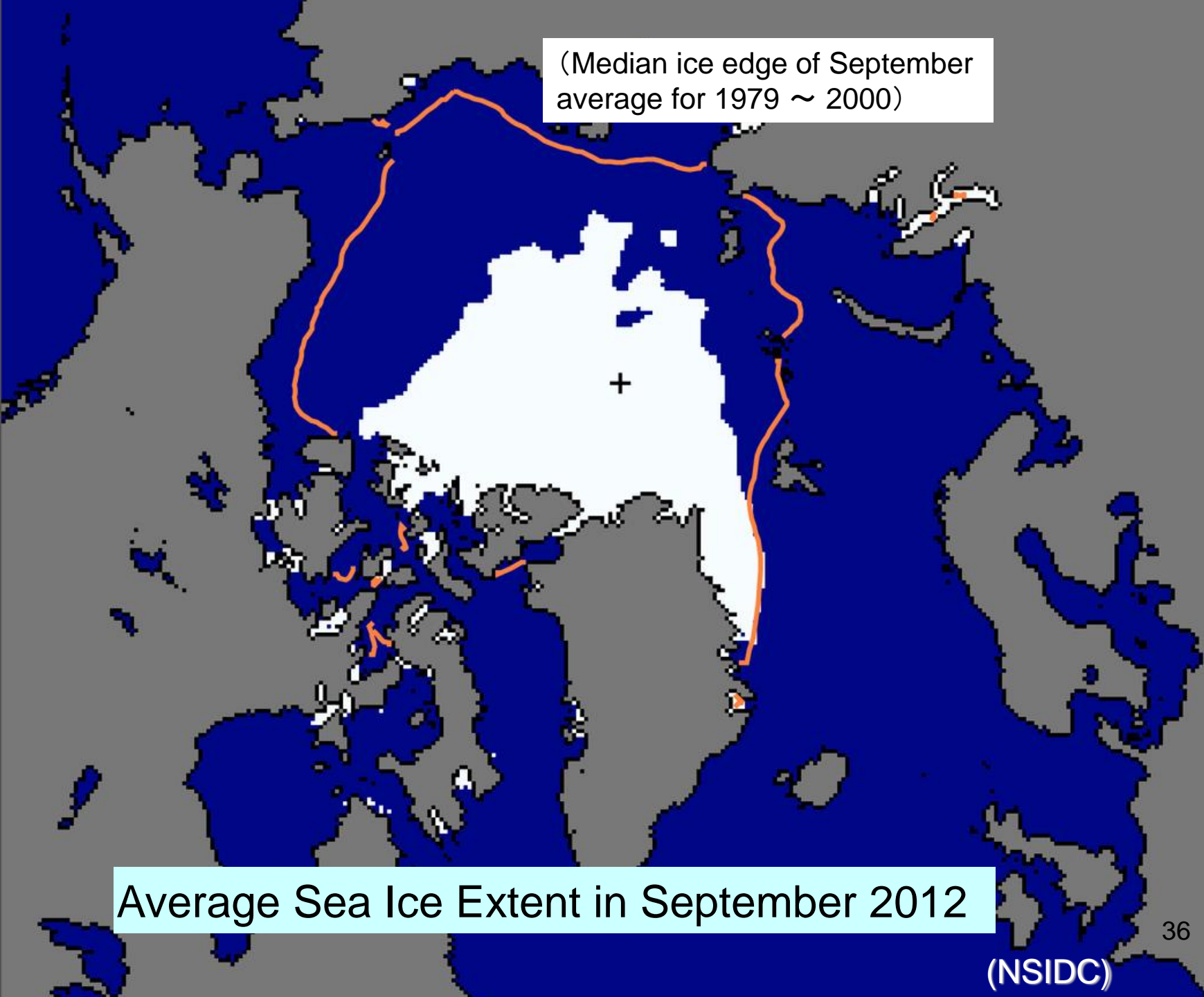
# Arctic Sea Ice Extent (Area of ocean with at least 15% sea ice)



# Average Monthly Arctic Sea Ice Extent September 1979 - 2016



National Snow and Ice Data Center



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

Average Sea Ice Extent in September 2012

(NSIDC)

# IPCC/WG1/AR5

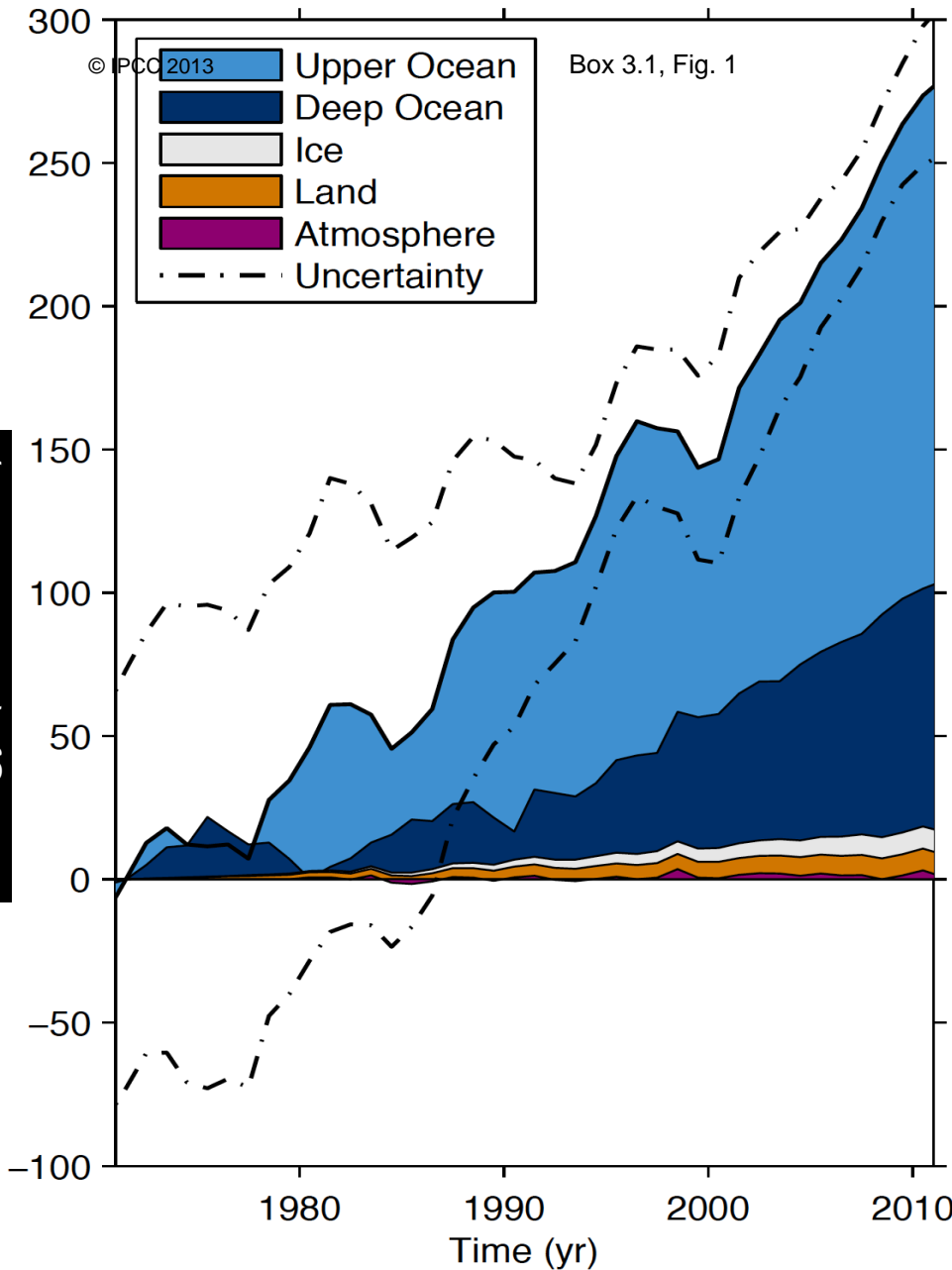
海洋の温暖化は、気候システムに貯留されたエネルギー増加において卓越しており、1971年から2010年に蓄積されたエネルギーの約93%を占めている(高い信頼度)

(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)



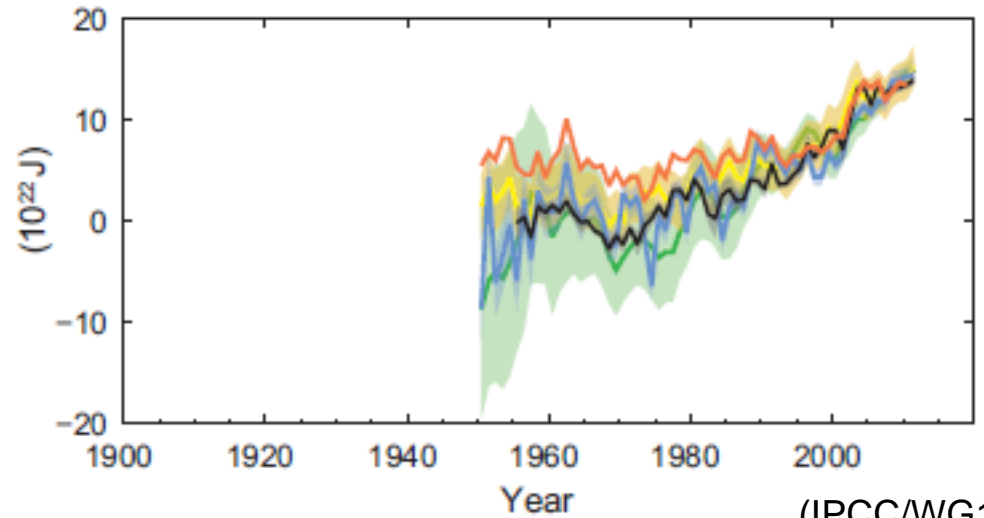
Energy ( $10^{21}$  Joules)

# Ocean heat content and global average sea level

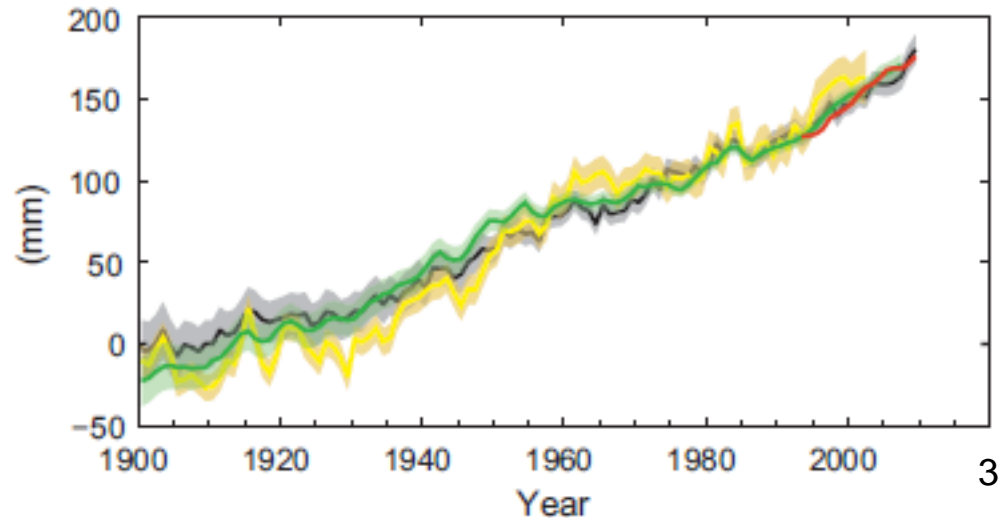
海洋表層(0-700 m)  
が1971から2010にか  
けて温まったことは**ほ  
ぼ**確実

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] mmyr<sup>-1</sup>)  
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



(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<sup>-1</sup>で上昇
- ◆ 1993~2010年: 全球平均海面水位は 年率3.2 [2.8~3.6]mmyr<sup>-1</sup>で上昇
- ◆ 直上記への観測された要因合計: 2.8[2.3~3.4] mmyr<sup>-1</sup> (下記では[]は省略) :

海洋熱膨張: 1.1mmyr<sup>-1</sup>

氷河の変化: 0.76mmyr<sup>-1</sup>

グリーンランド氷床の変化: 0.33mmyr<sup>-1</sup>

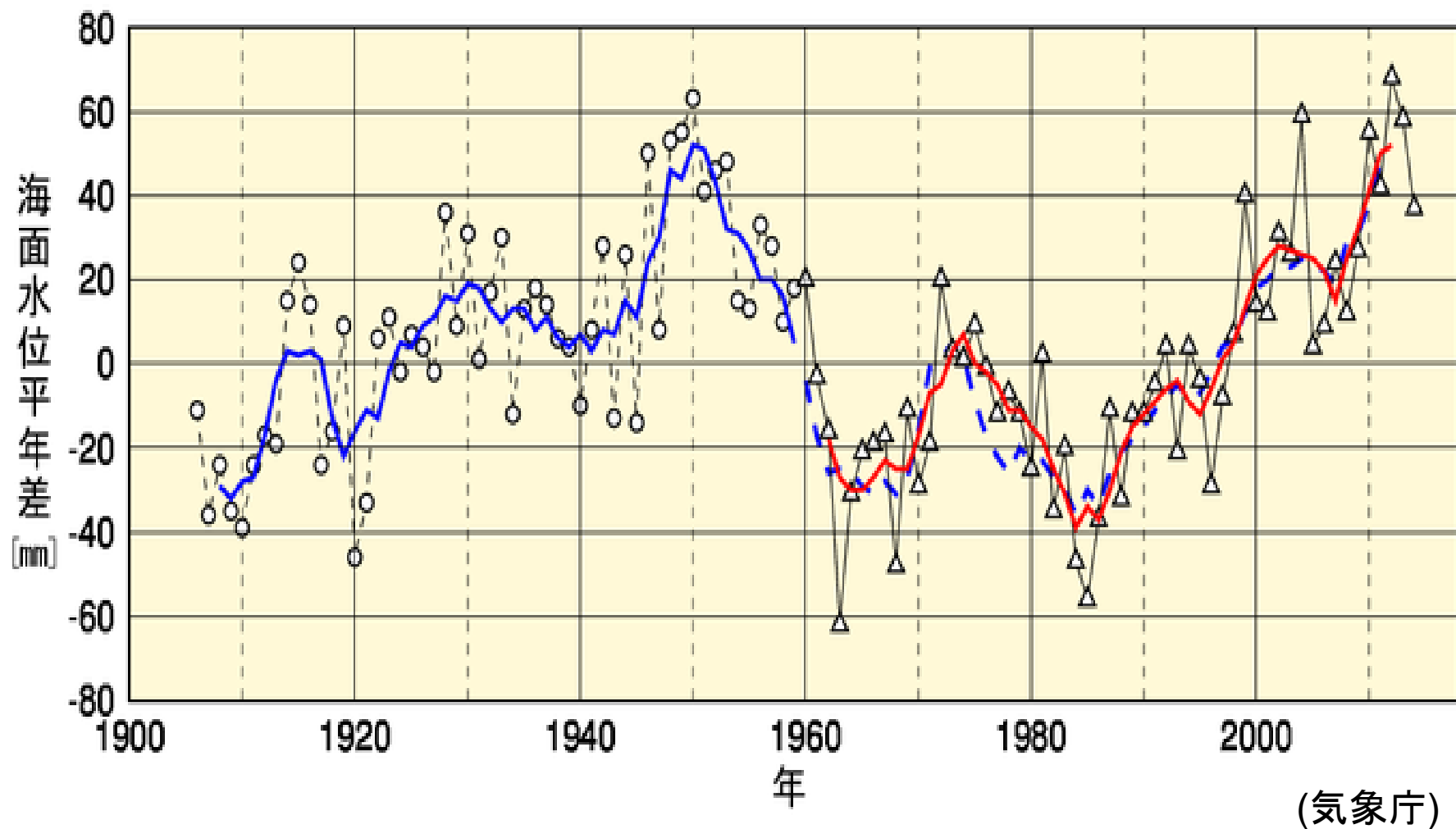
南極氷床変化: 0.27mmyr<sup>-1</sup>

陸域貯水量の変化: 0.38mmyr<sup>-1</sup>

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。

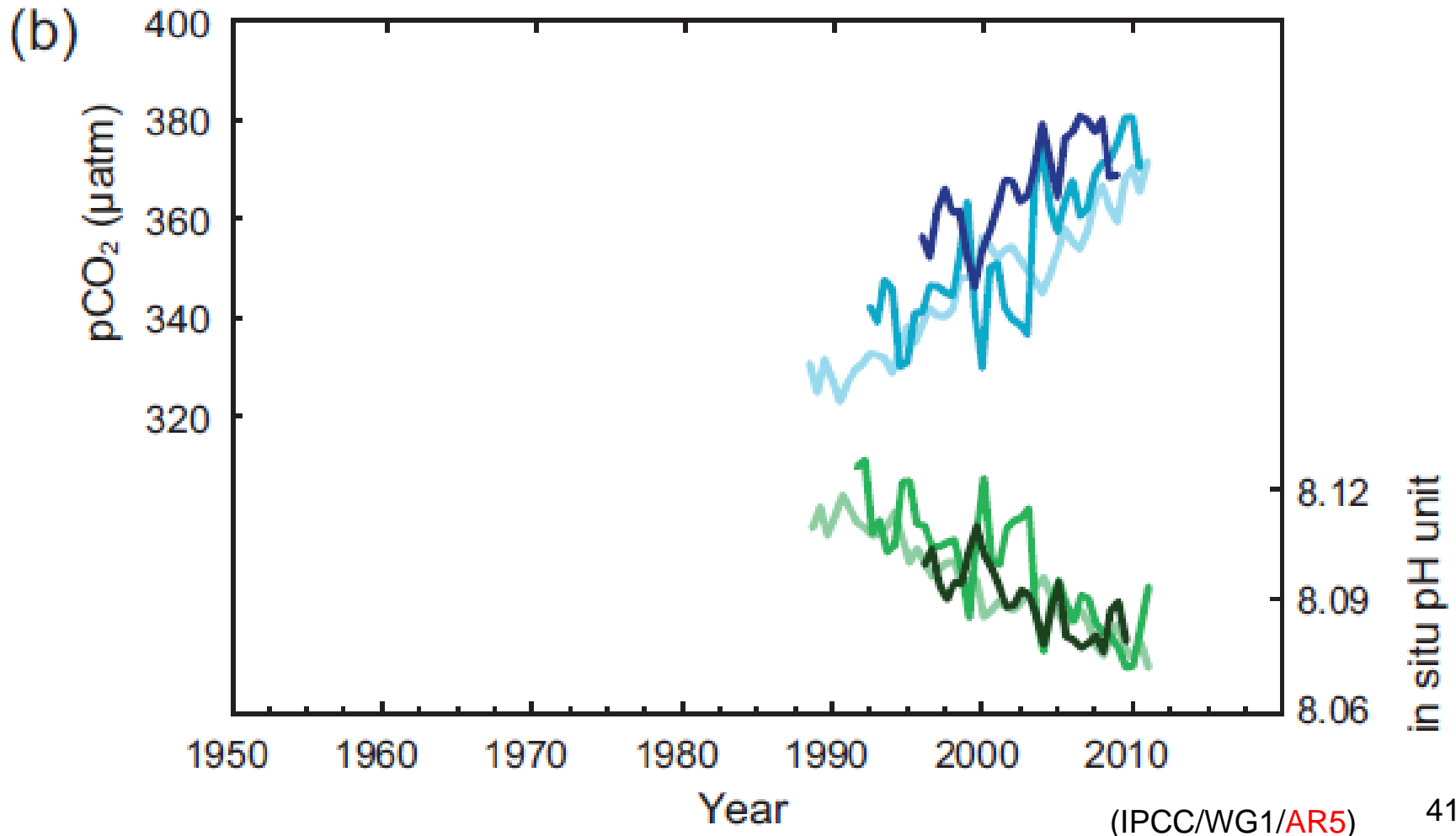
例) 日本沿岸の海面水位の変化





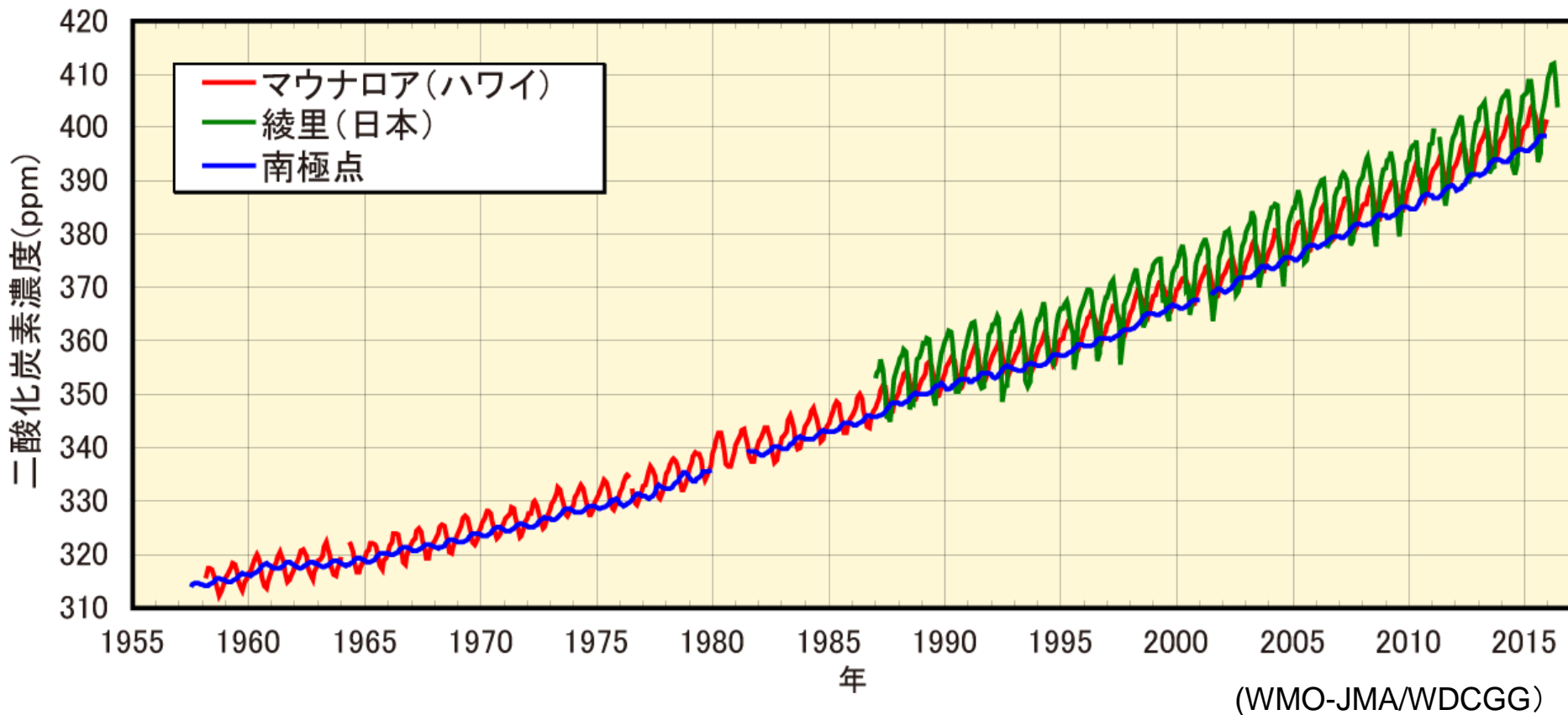
海洋は排出された人為起源のCO<sub>2</sub>の約30%を吸収し、**海洋酸性化(pHの減少)**を引き起こしている

Surface ocean CO<sub>2</sub> and pH



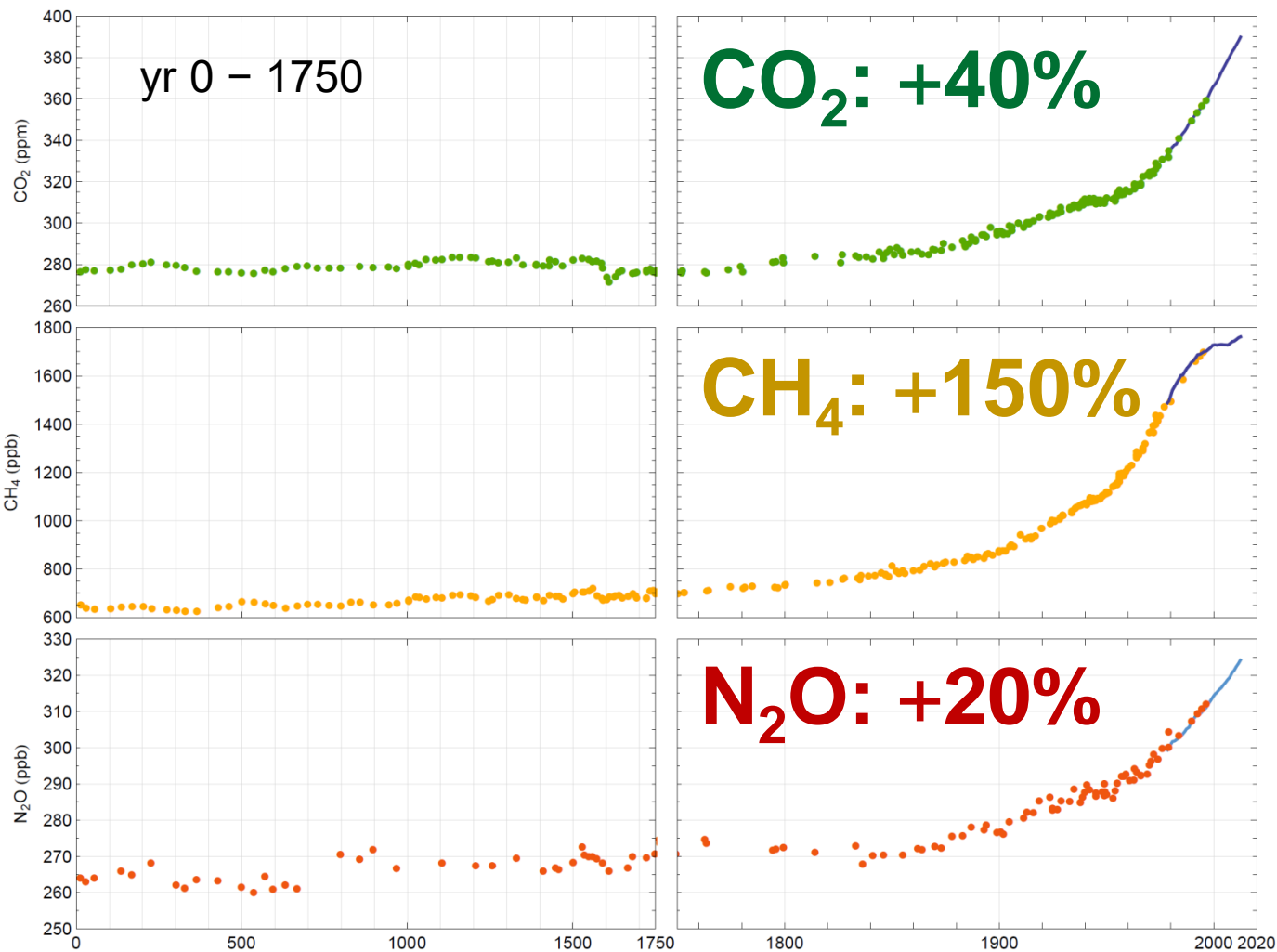
# 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の大気中濃度の経年変化

1750年: 推定 278 ppm (IPCC/AR5)  $\longrightarrow$  2015年: 400.0 ppm (+44%)



すでに、Mauna Loa観測値: 400.03 ppm (2013年5月9日)

- ◆ 「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。」(2014年5月26日、WMO)
- ◆ 「2015年の世界のCO<sub>2</sub>濃度(400 ppm) はそれまでの観測史上最も大きかった。」(2016年10月24日、WMO)



(IPCC/WG1/AR5)

CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oの大気中濃度は全て1750年以來、人間活動により増加してきた。

Fig. 6.11

# 大気中のCO<sub>2</sub>収支( **ギガ炭素トン/年**、2002~2011、AR5)

算出例 (符号の+は**大気**に、-は大気からのフラックスを示す)

(単位: 1ギガ・トン=1ペタ・グラム=10億トン)

- **人為起源のCO<sub>2</sub>排・放出** (→ **大気**へ):

化石燃料等から排出: **+8.3 (±0.7)**

土地利用変化から放出: **+0.9 (±0.8)** (算定に時間を要する)

- **自然起源のCO<sub>2</sub>吸収** (← **大気**から):

海洋の収支は吸収: **-2.4 ± 0.7**

→ **海洋の酸性化(pHの減少)**

陸域生態系収支は吸収: **-2.5 ± 1.3** (推定が最も困難、残差で出す)

**その結果: 大気には、+ 4.3 ± 0.2が残留・蓄積となった。**

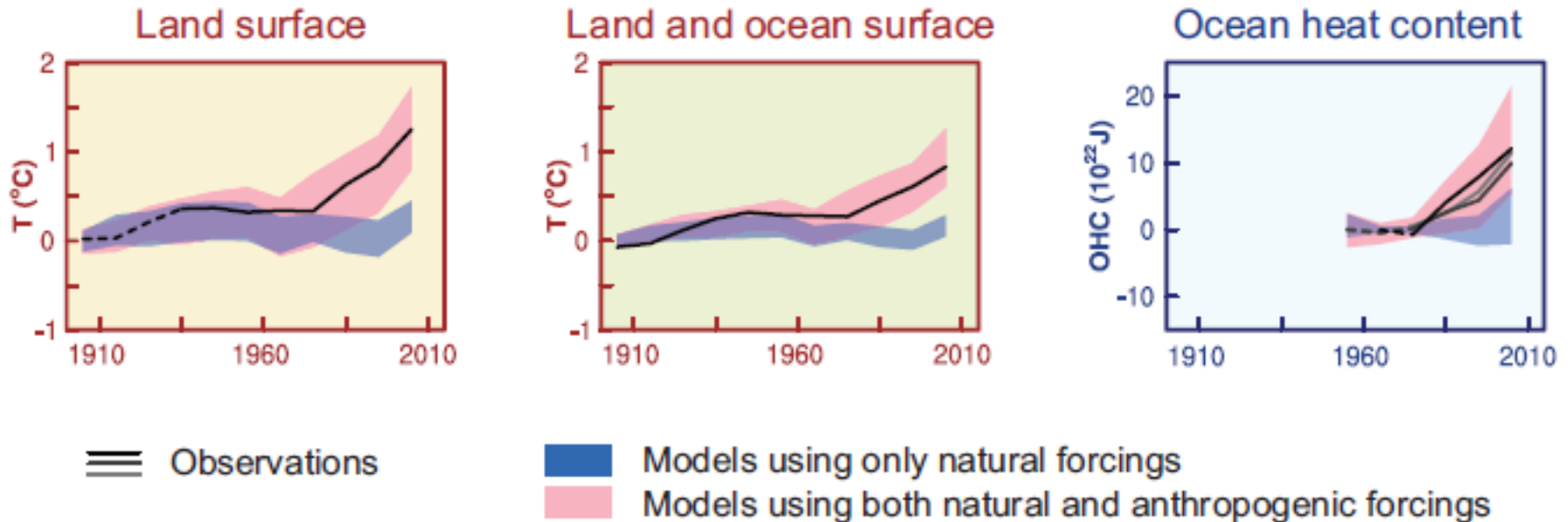
\*\*\*\*\*

注: いずれも1桁の誤差があり、推定値どうしの加減算は1桁目に1程度のちがいが生じうる。



# 観測・再現された平均気候変化 (AR5)

(IPCC/WG1/AR5)



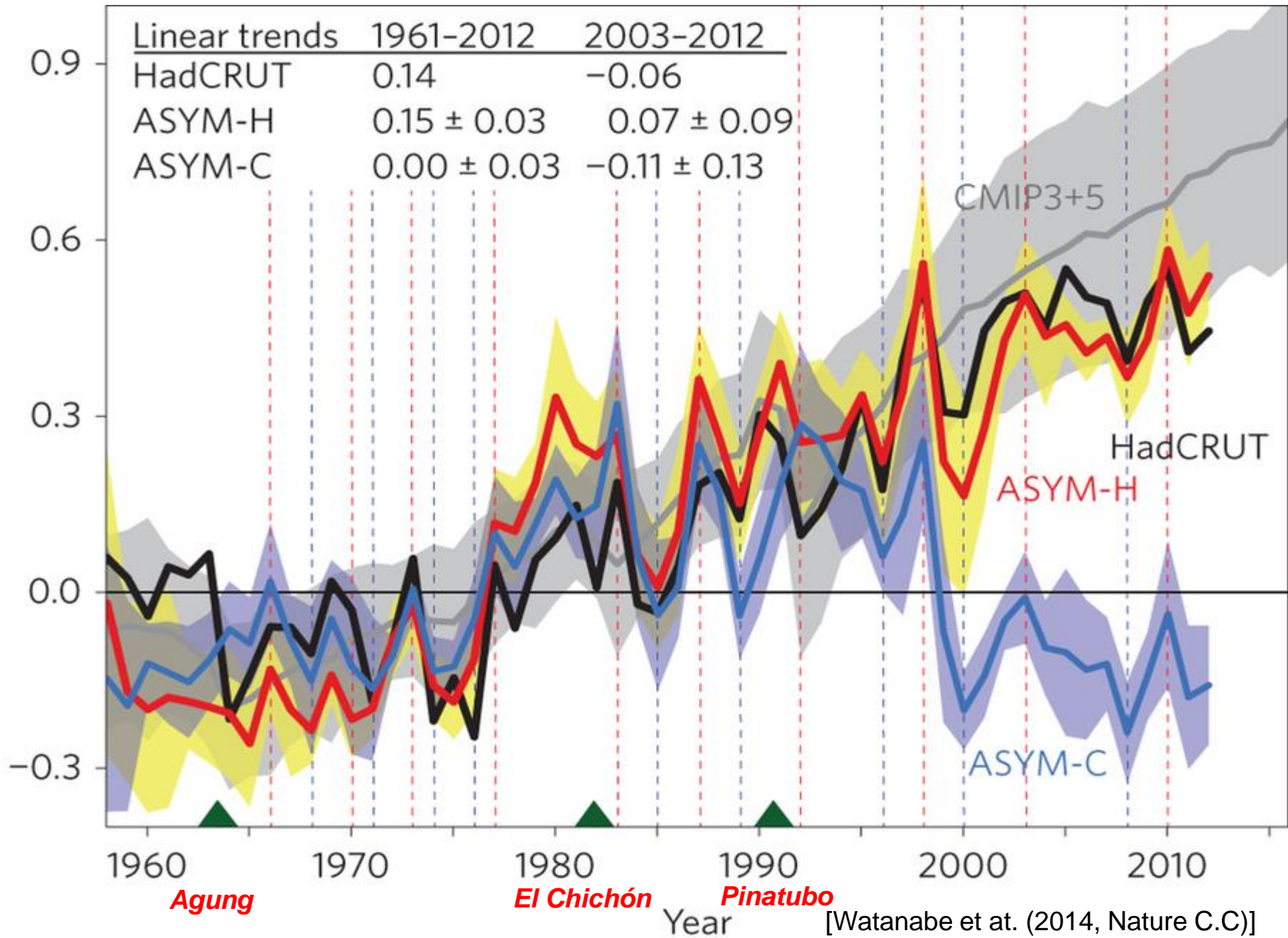
- 1951～2010年の全球平均地上気温の観測された上昇の半分以上が、温室効果ガス濃度の人為起源の増加とその他の人為起源の外力とがあいまって引き起こされたことは極めて可能性が高い。

- 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)。
- ◆ 「**ハイエイタス(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

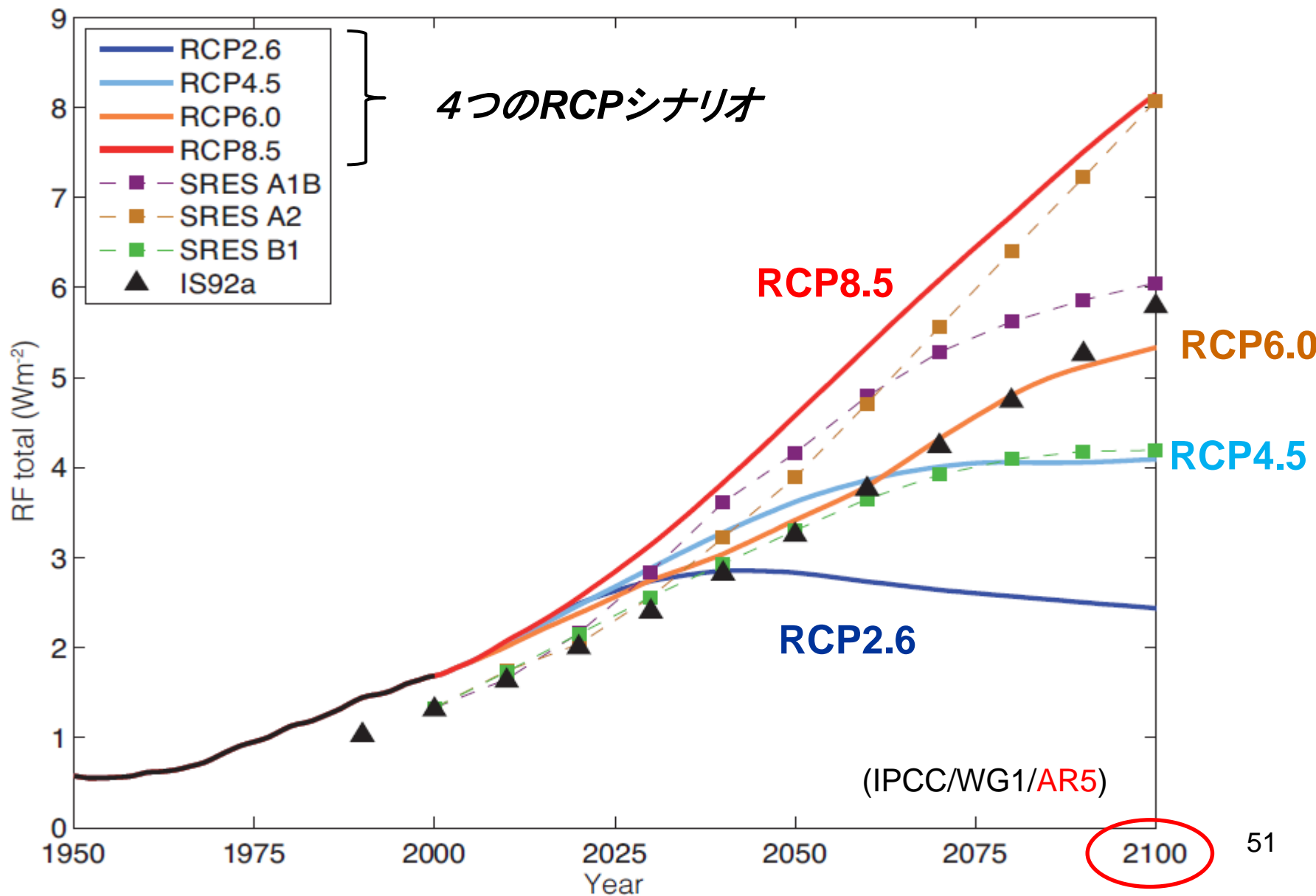
- ◆ AR5では2000年代に入ってからからのHiatusに関しては、十年規模の自然変動に起因していることに中程度の確信度と評価。
- ◆ *Watanabe et al. (2014, Nature Climate Change)*では、改良された気候モデルのシミュレーションにより、以下の知見を得ている：
  - \* **ハイエイタスを再現**
  - \* 気候の**内部自然変動 (太平洋10年規模変動: PDO\*)**がハイエイタスの主原因
- ◆ PDO指数は2000年代半ばから正に転じていることから、全球SAT\*\*に**短期変動的な急上昇の寄与**が想定される。  
→ 実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

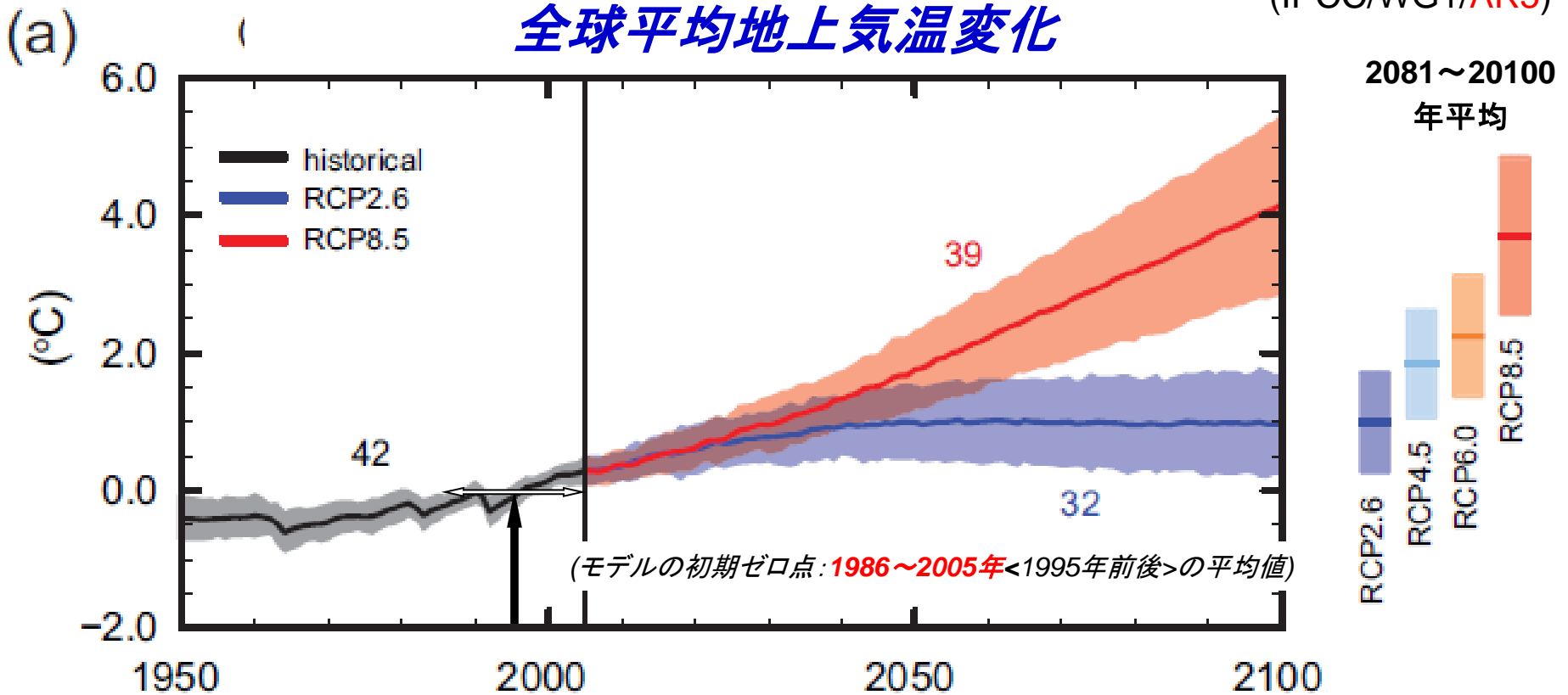
-----  
\*PDO: Pacific Decadal Oscillation

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

### 3. 気候変動の将来予測を巡る AR5及び最新までの知見

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





- 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 <sup>(c)</sup>	平均	可能性が高い予測幅 <sup>(c)</sup>
世界平均 地上気温の変化(°C) <sup>(a)</sup>	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 <sup>(d)</sup>	平均	可能性が高い予測幅 <sup>(d)</sup>
世界平均 海面水位の上昇(m) <sup>(b)</sup>	RCP2.6	0.24	0.17～0.32	0.40	0.26～0.55
	<b>RCP4.5</b>	0.26	0.19～0.33	<b>0.47</b>	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)

工業化以来の昇温予測:  $3.7 + 0.61 \Rightarrow 4.3^{\circ}\text{C}$  (3.2～5.6°C) 昇温 [RCP8.5]

- ◆ 工業化以来の昇温は、RCP6.0とRCP8.5では**2°Cを超える可能性が高い**(高い確信度)。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)。RCP2.6では**2°Cを超える可能性が低い**(中程度の確信度)。RCP2.6以外のすべてのRCPシナリオで、**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)

- ◆ RCPの4シナリオのうち、工業化以前からの昇温は、RCP2.6 以外では、 $1.5^{\circ}\text{C}$ を超える可能性が高い。  
 $2^{\circ}\text{C}$ を超えるのは可能性が高いか、あるいは、どちらかといえば可能性が高い。
- ◆ RCP2.6だけが、 $2^{\circ}\text{C}$ を超える可能性が低い。
- ◆ RCP8.5では、 $4.3^{\circ}\text{C}$  前後( $3.2\sim 5.6^{\circ}\text{C}$ ) 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

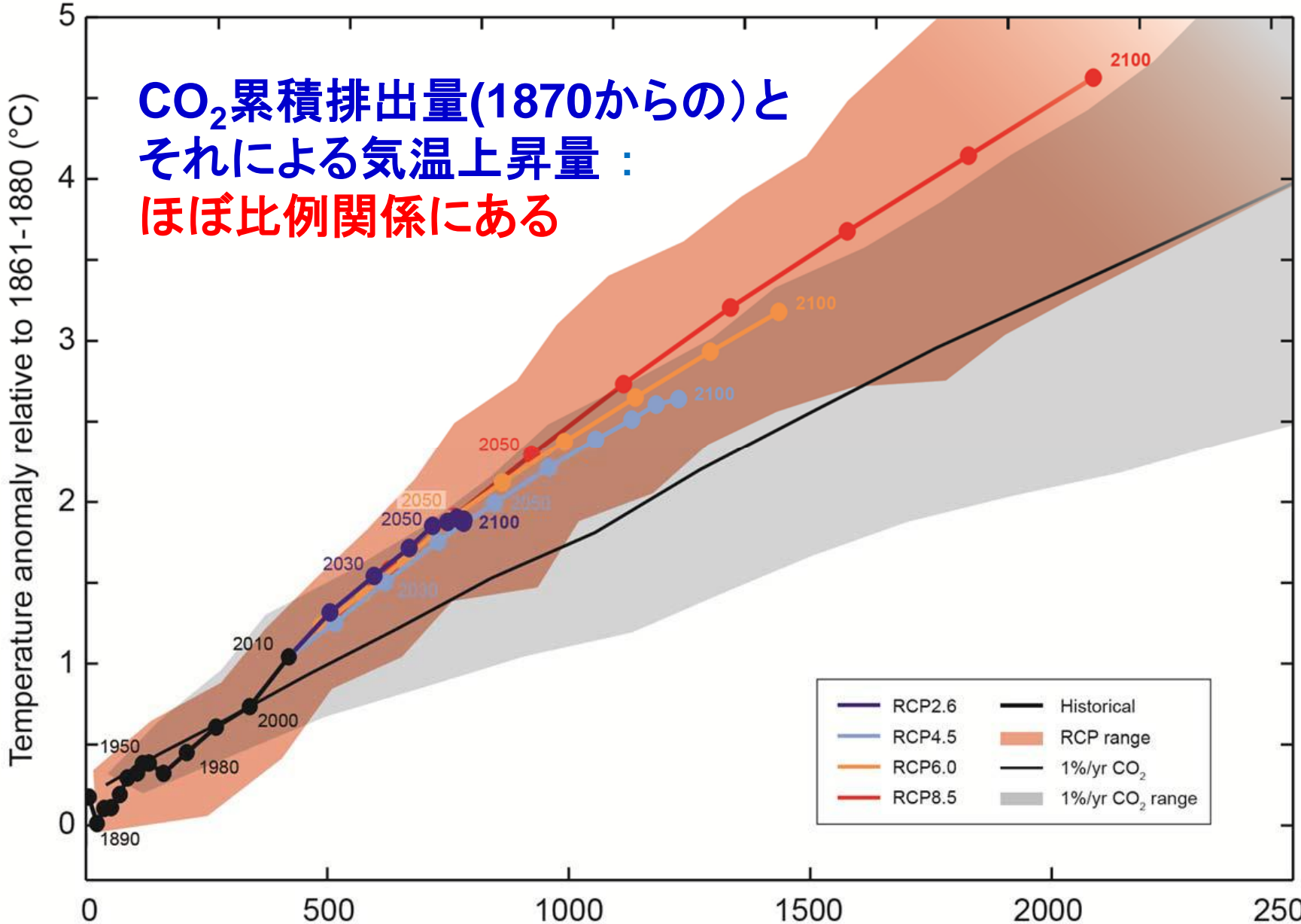
## 水循環とその極端現象

- ◆ 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。**

Cumulative total anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions from 1870 (GtCO<sub>2</sub>)

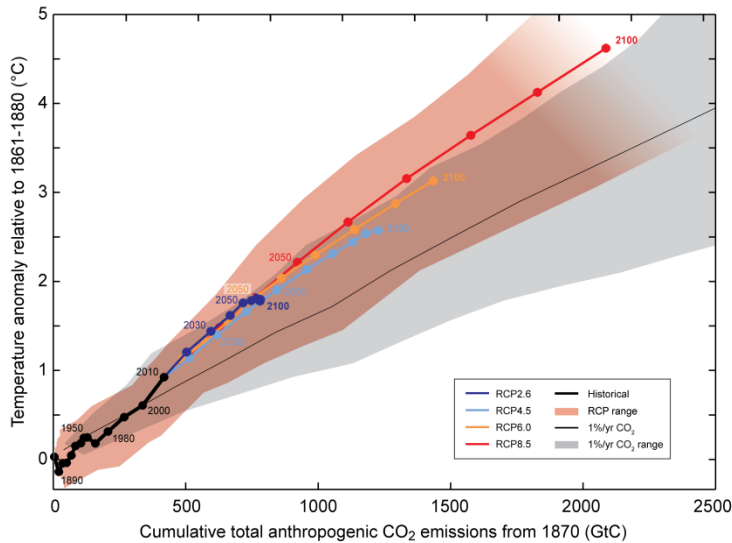
1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000

CO<sub>2</sub>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



Cumulative total anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions from 1870 (GtC) (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

Budget for the 2° C target: 790 GtC

CO<sub>2</sub> emitted until 2011: -515 GtC

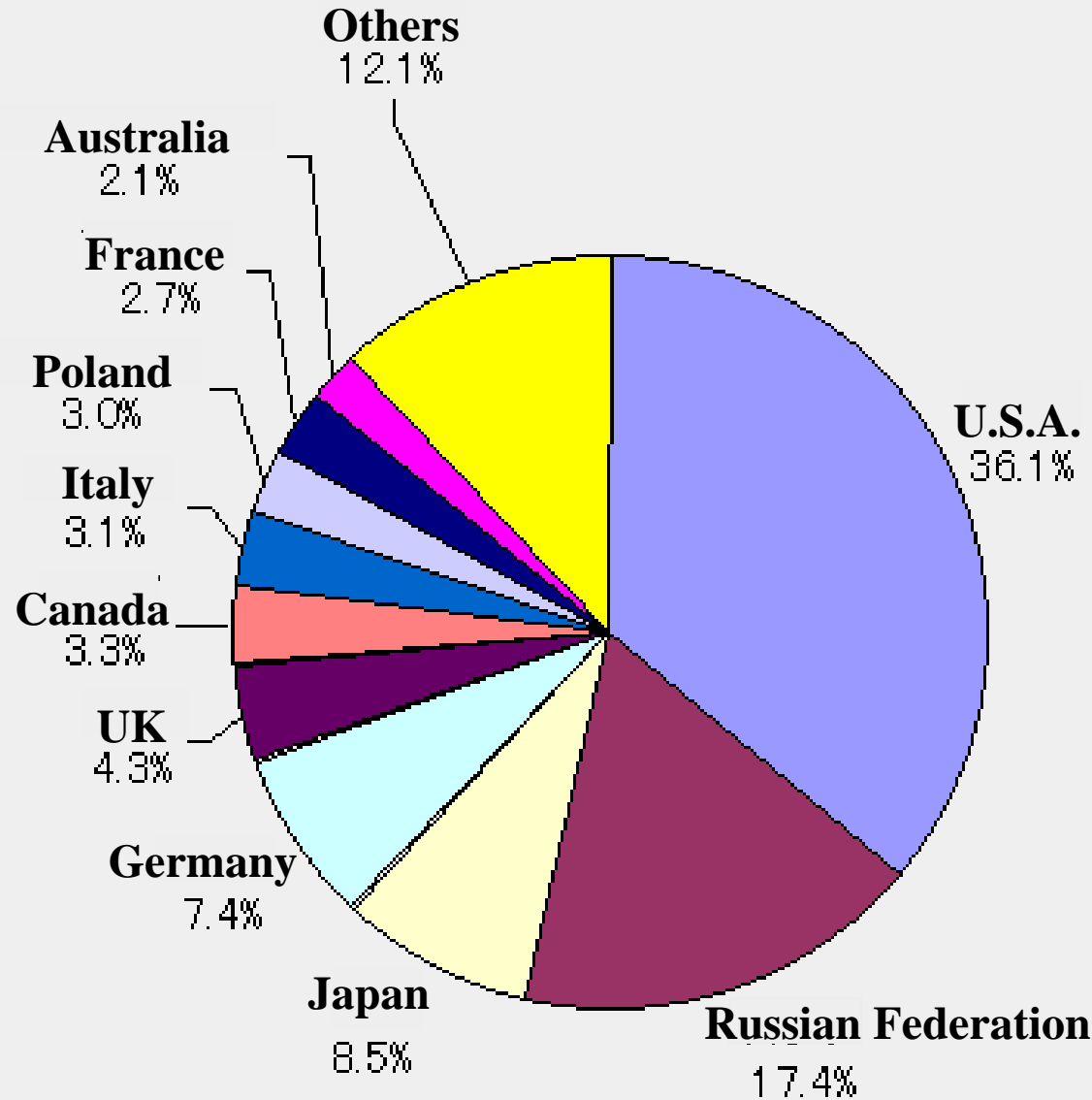
**Remaining emissions: 275 GtC**

**CO<sub>2</sub> emissions 2012: 9.7 GtC/yr**

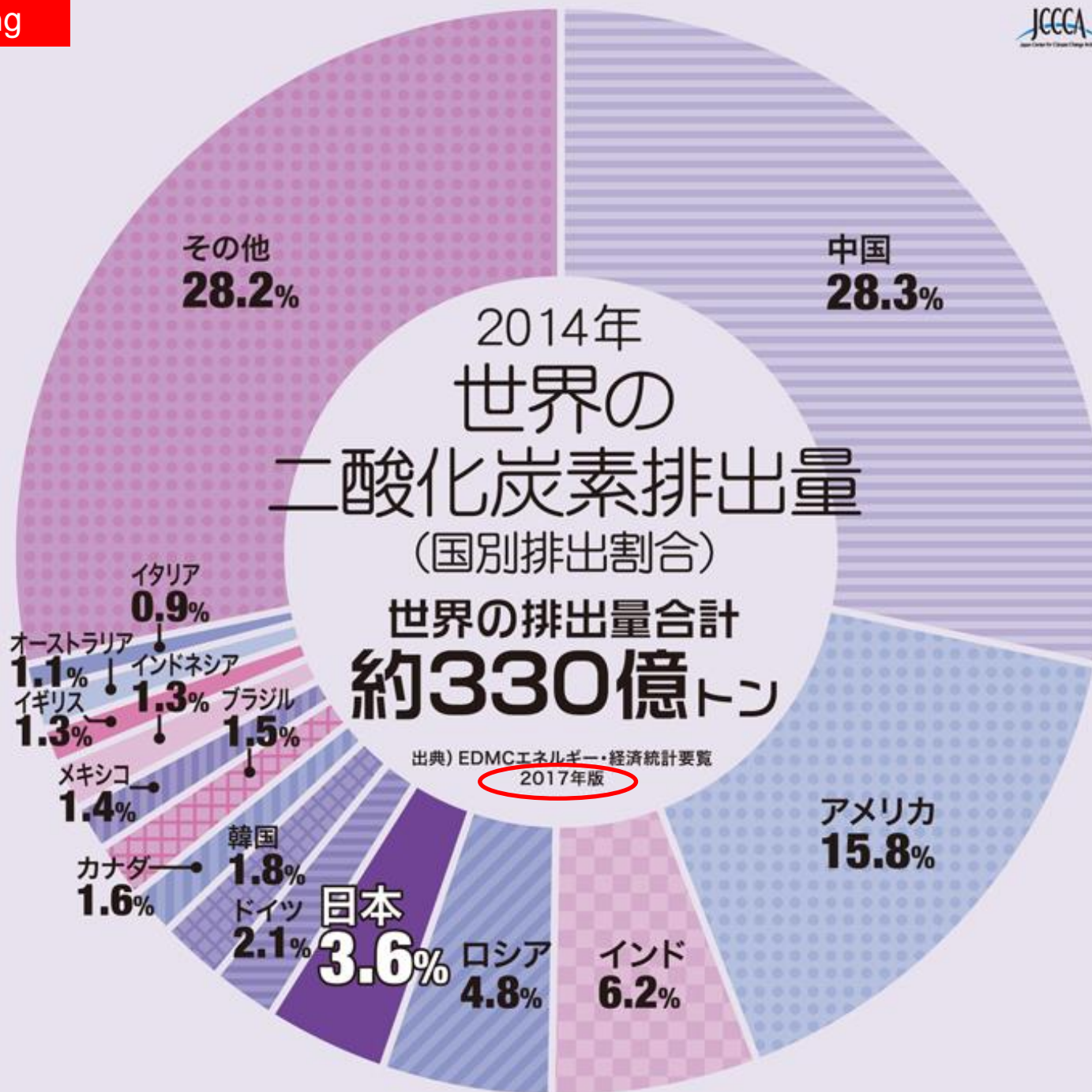
## 気候の安定化、気候変動の不可避性と、気候変動の不可逆性

- ◆ **CO<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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の、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)**

# CO<sub>2</sub> emission rates among the Annex-I countries in 1990

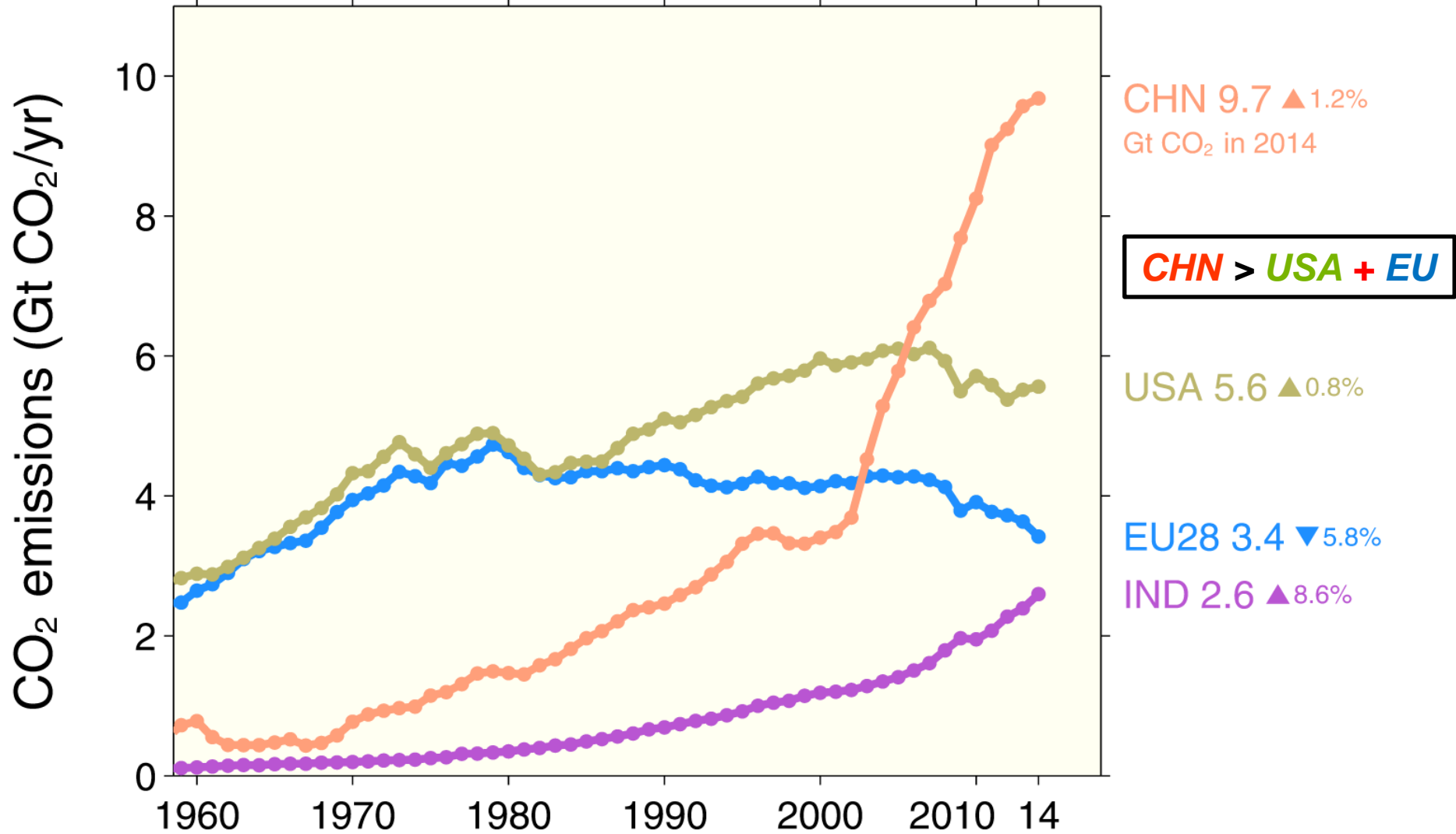


(Based on a Document by MOE)



# CO<sub>2</sub> emissions by top fossil fuel emitters

Data: CDIAC/GCP



# Top fossil fuel emitters (per capita)

Data: CDIAC/GCP

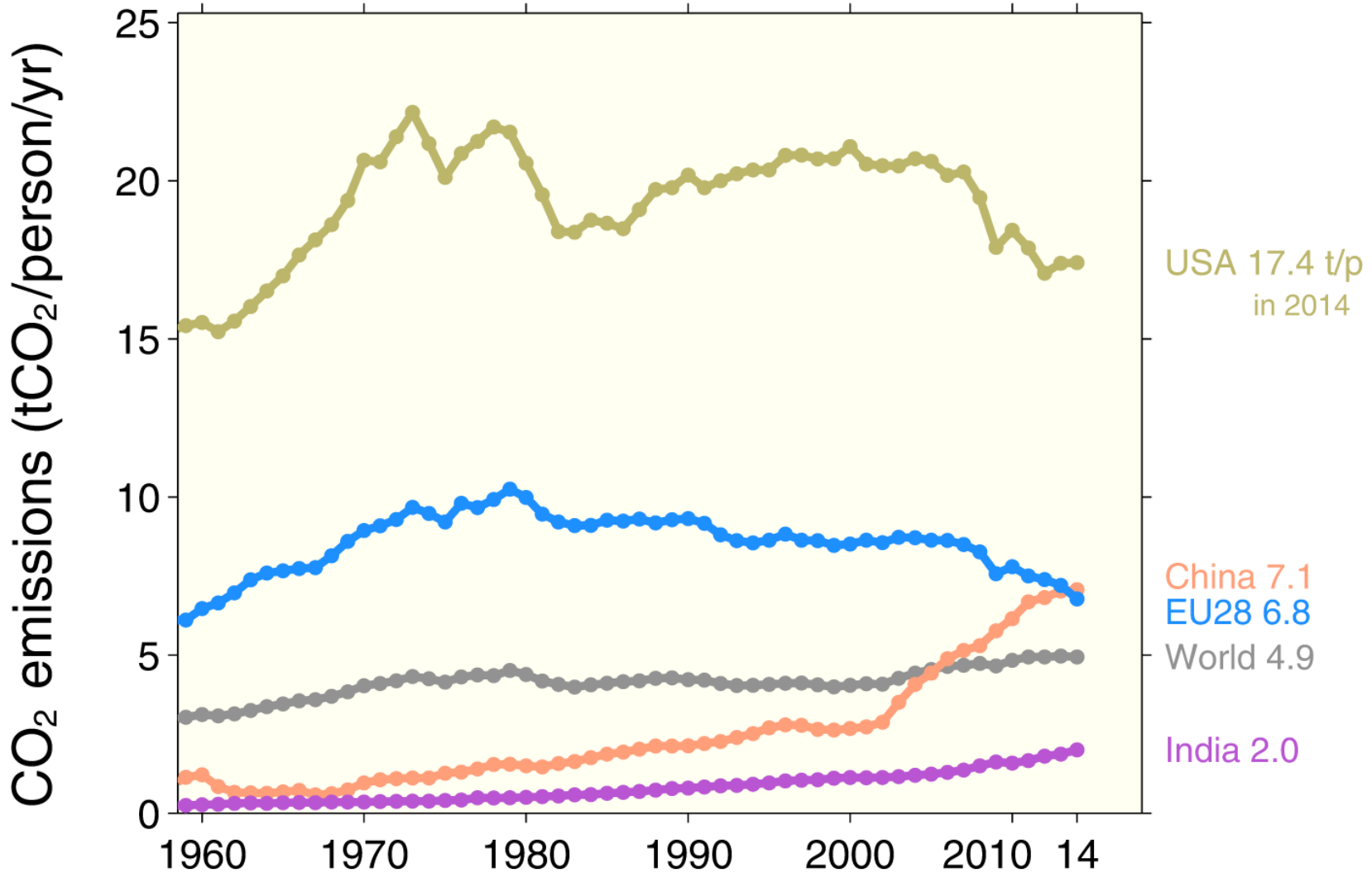
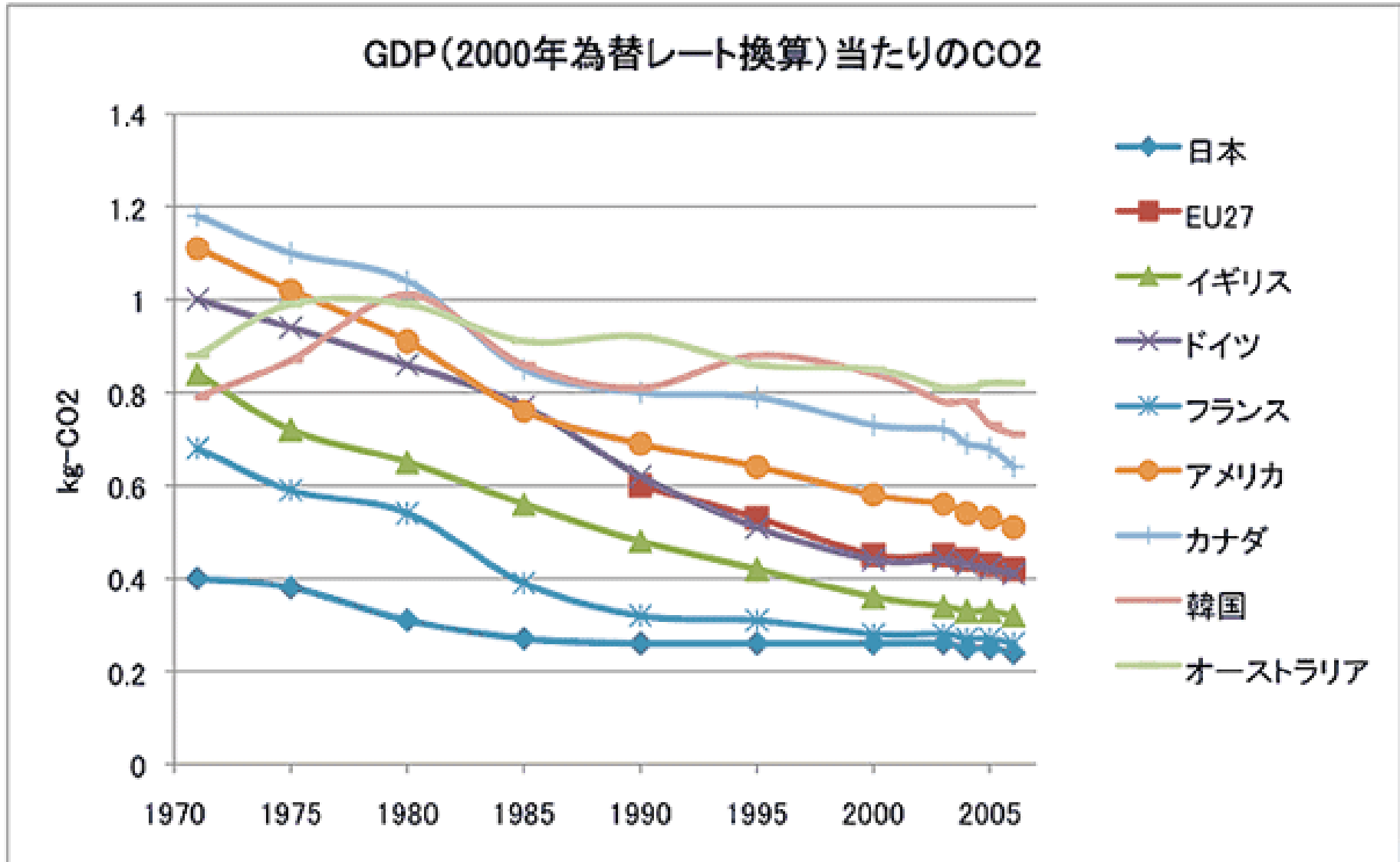
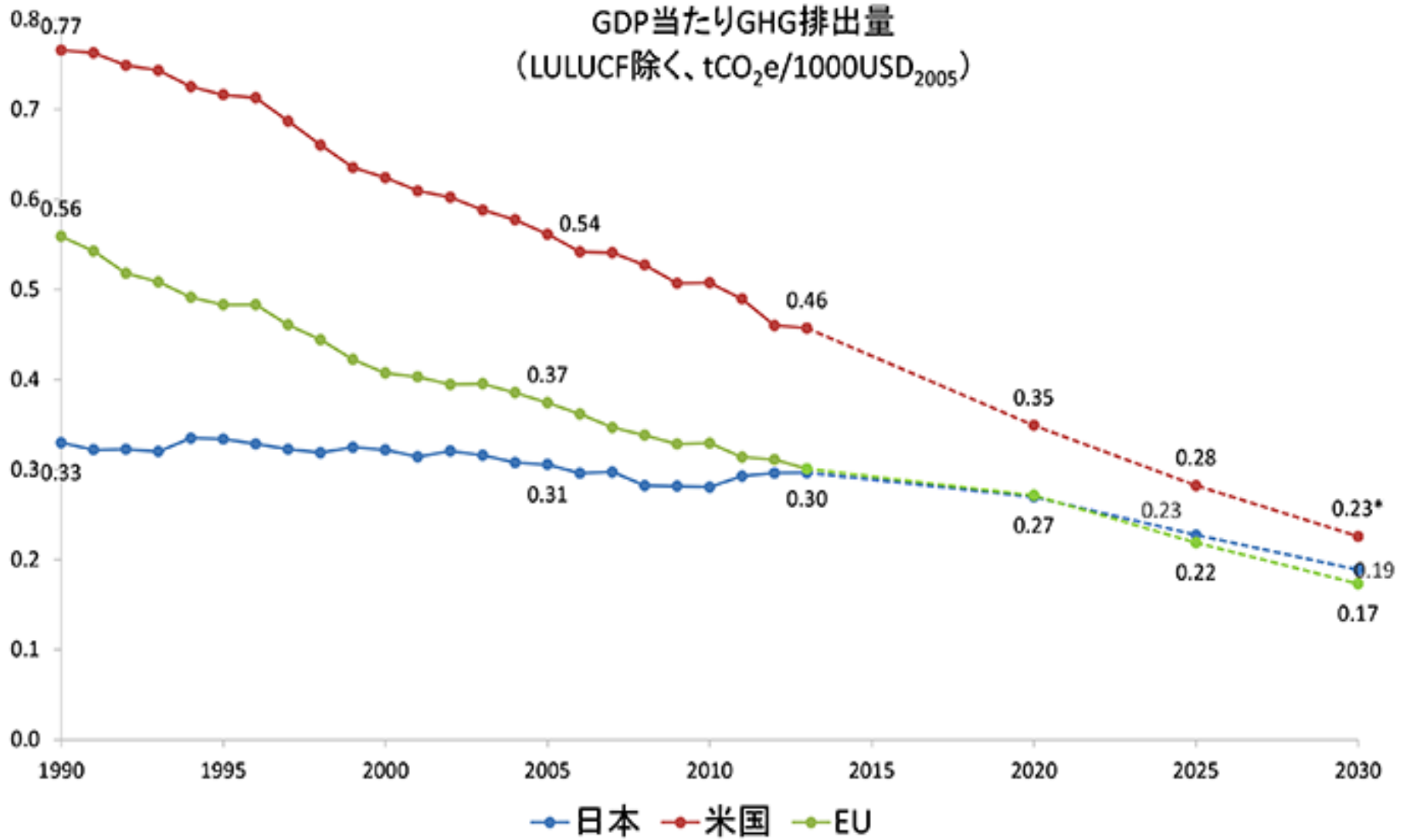


図 1



(出典) IEA(2008) *CO2 Emissions from Fuel Combustion*, 2008 Edition. Paris: IEA

GDP当たりGHG排出量  
(LULUCF除く、tCO<sub>2</sub>e/1000USD<sub>2005</sub>)

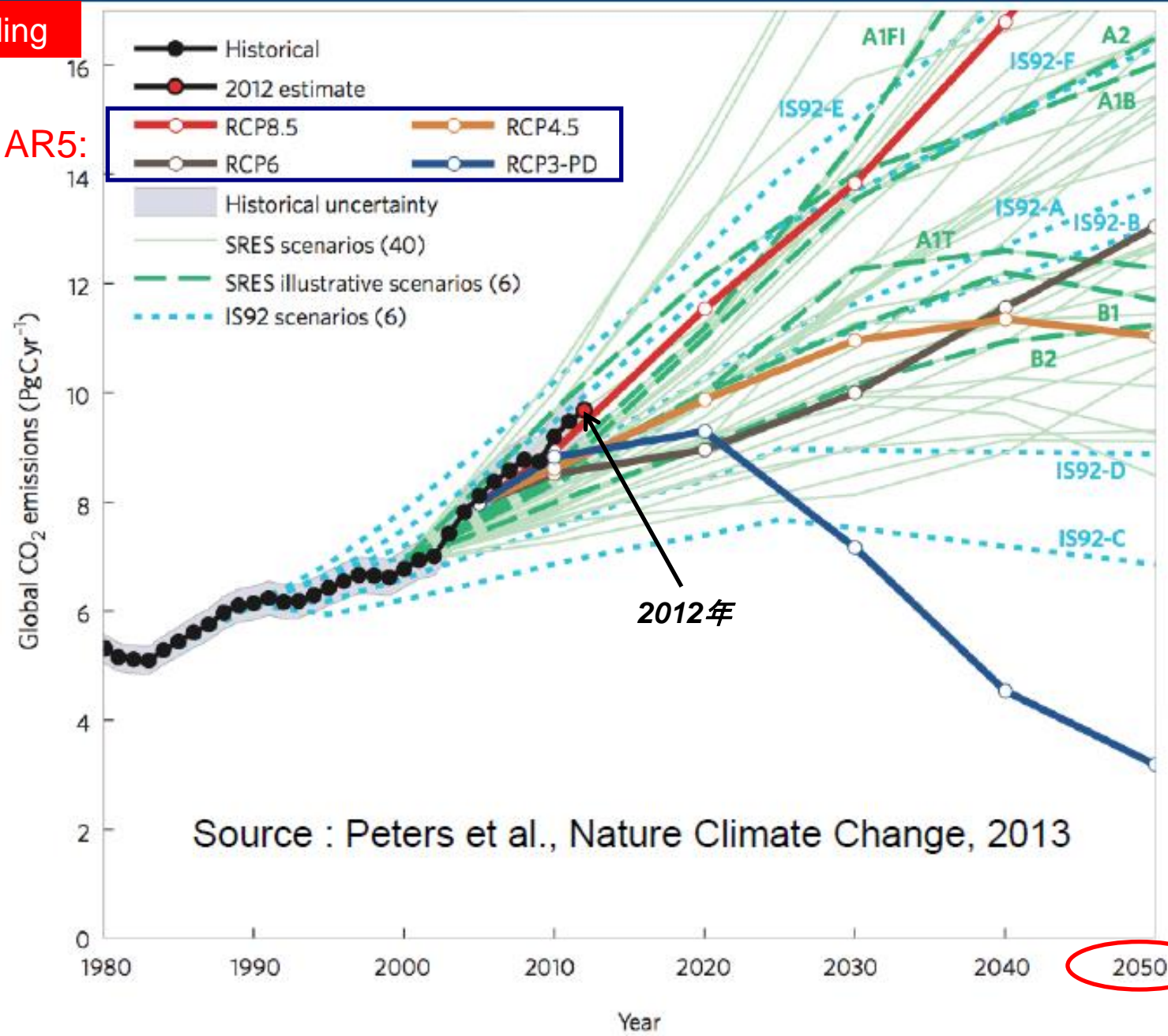




# Emissions are on the high side of past IPCC scenarios

Recent Finding

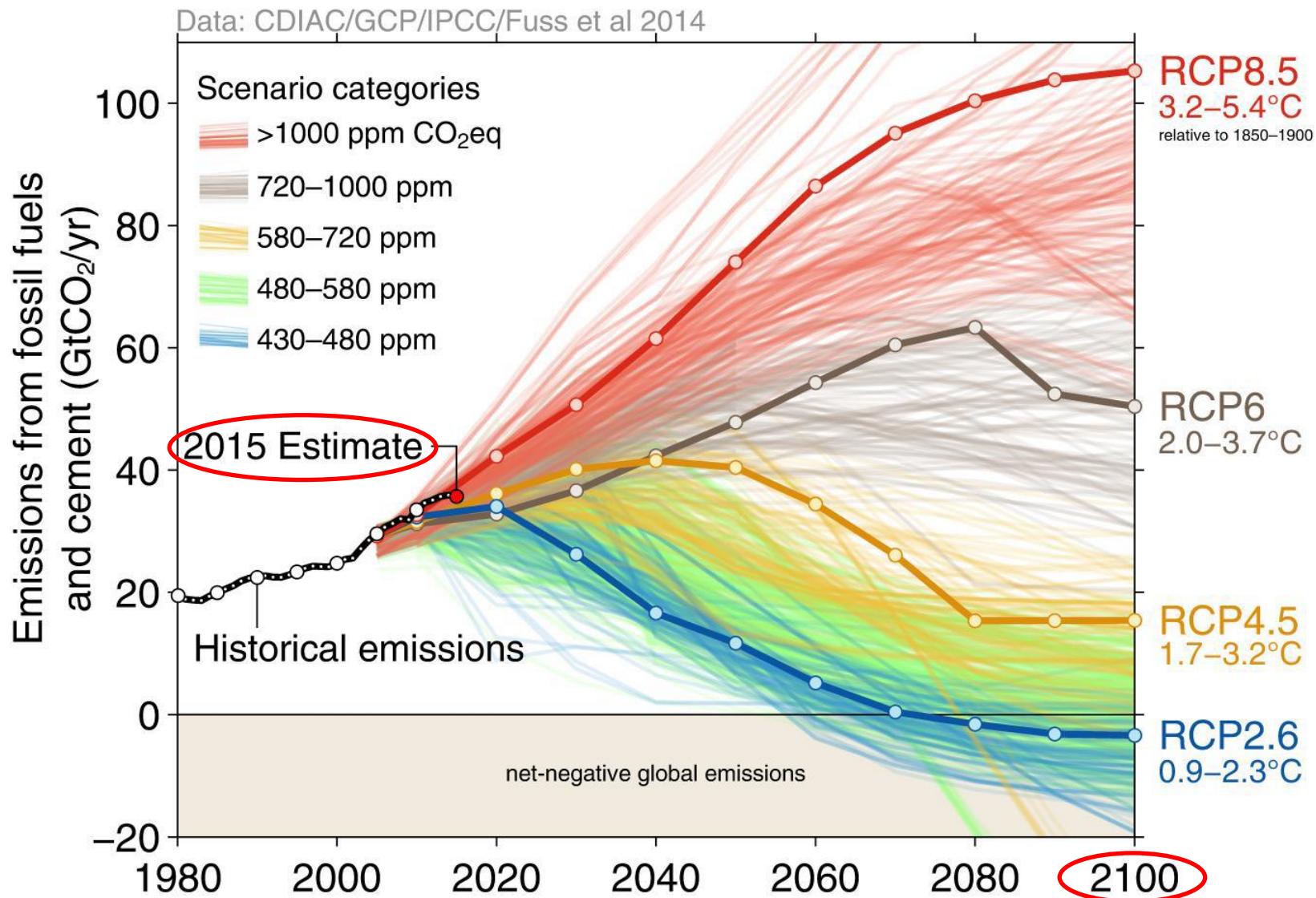
AR5:



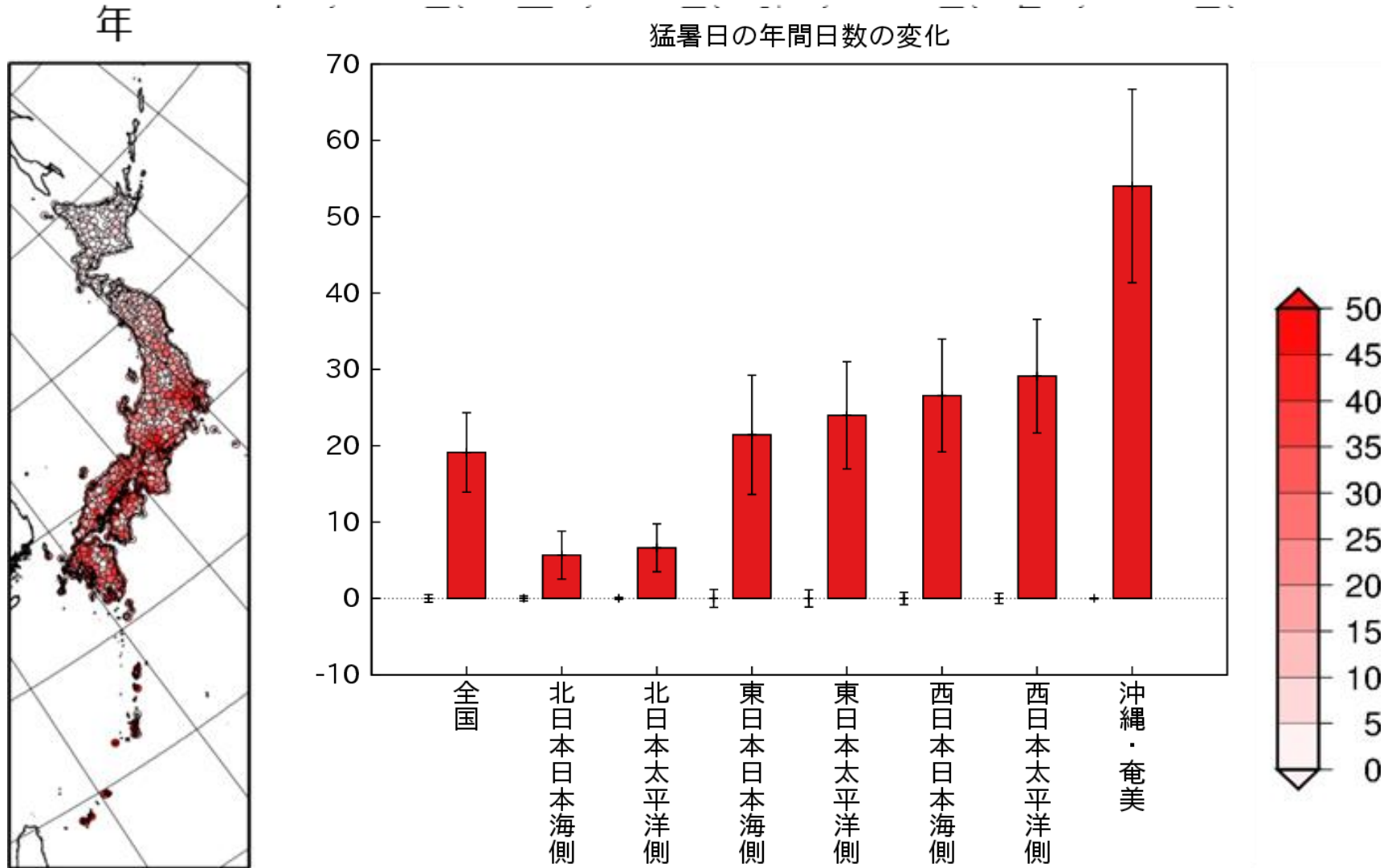
Source : Peters et al., Nature Climate Change, 2013

2050

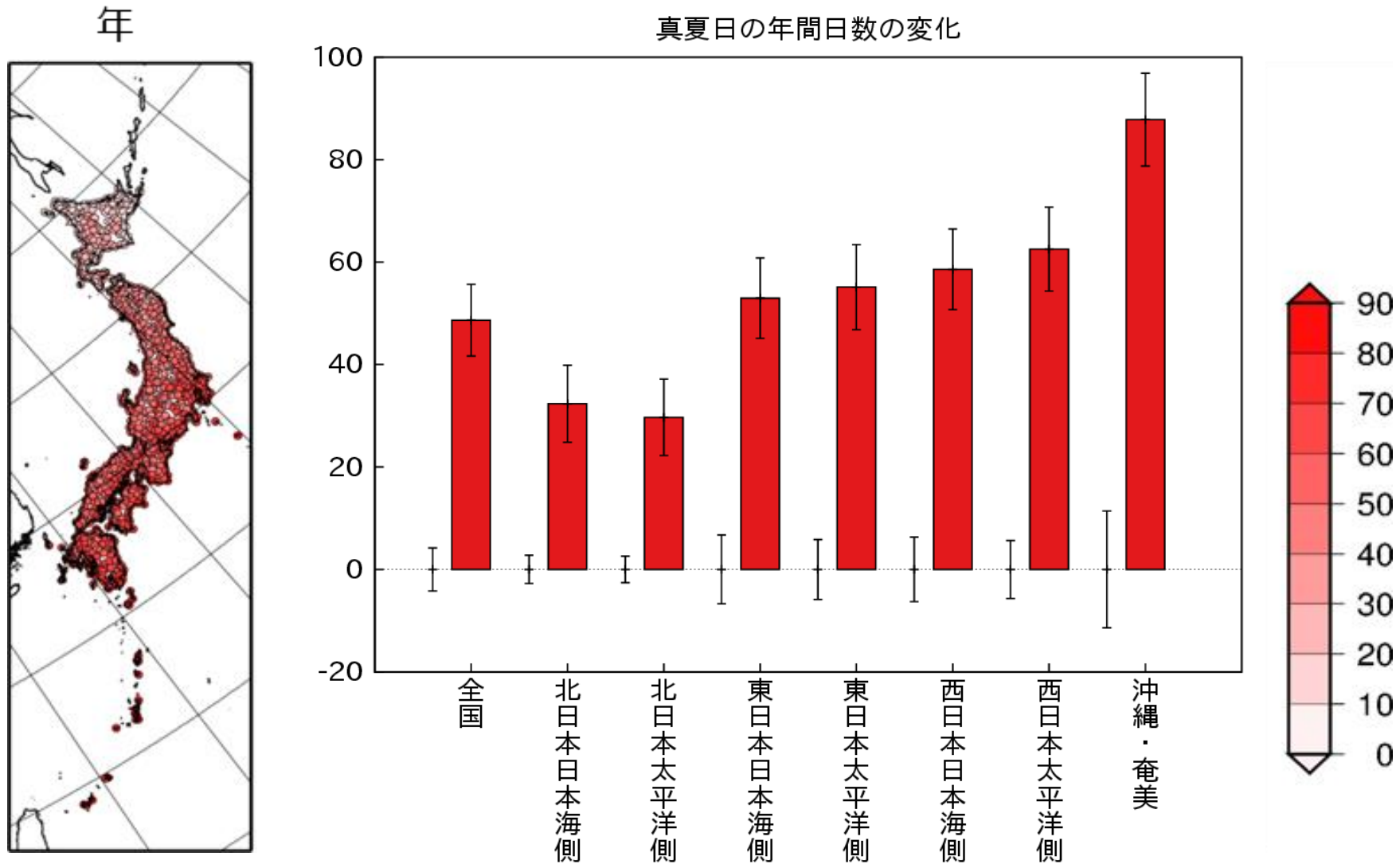
# Latest Finding



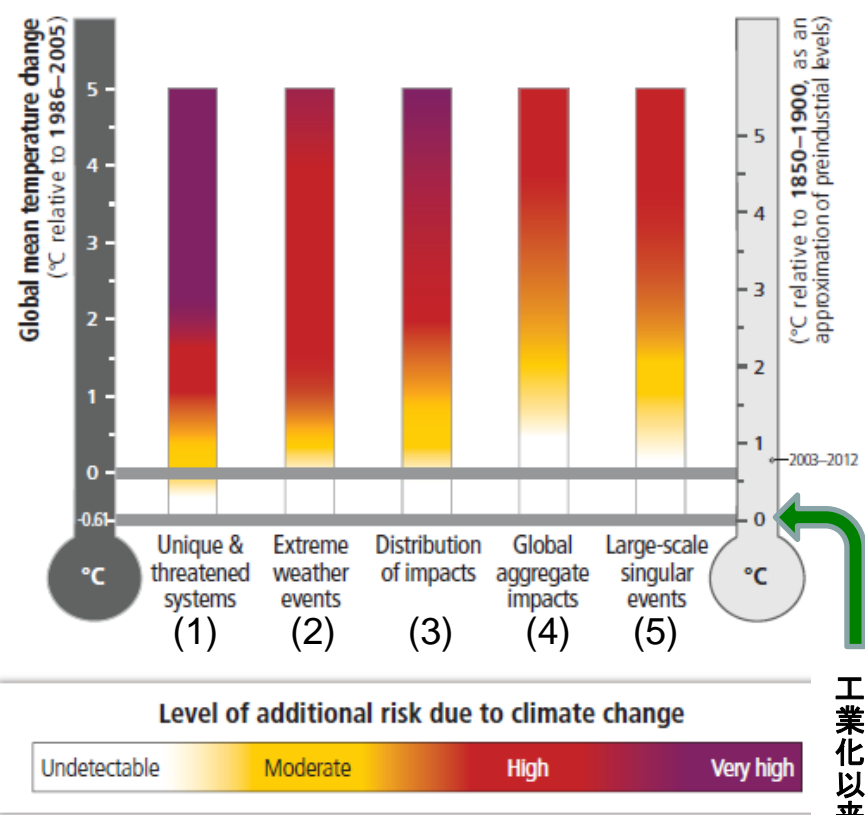
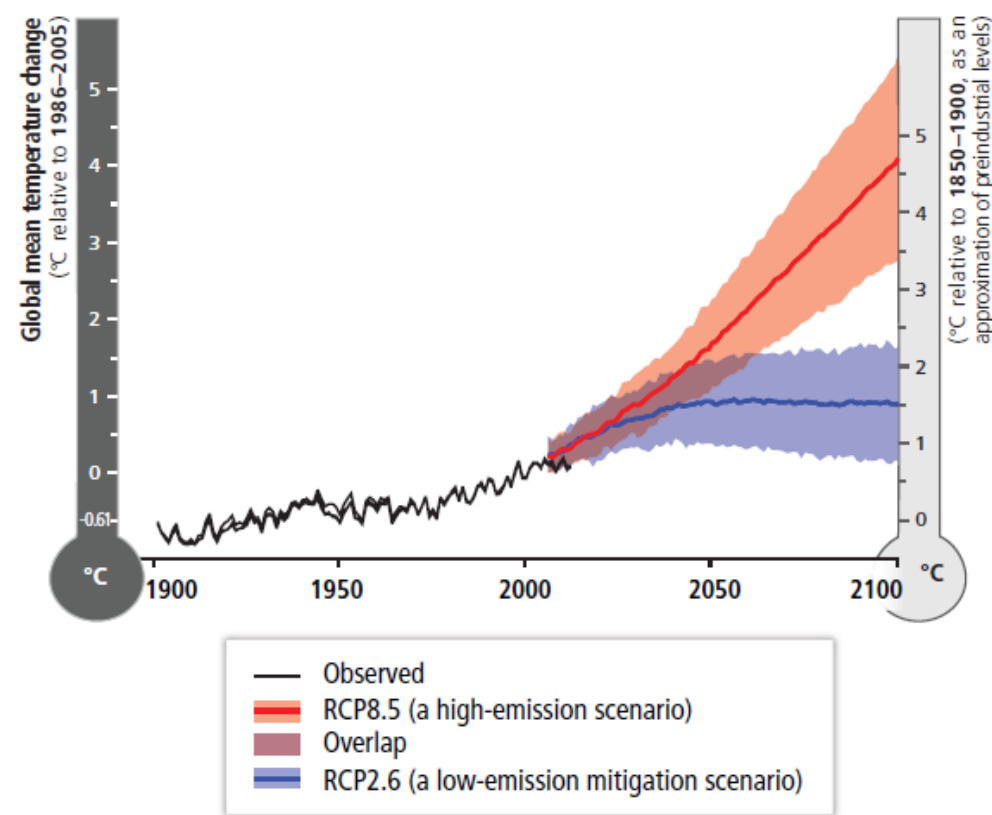
# RCP8.5に基づく100年後(20世紀末→21世紀末)の猛暑日数(年間)の変化予測



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



# 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)

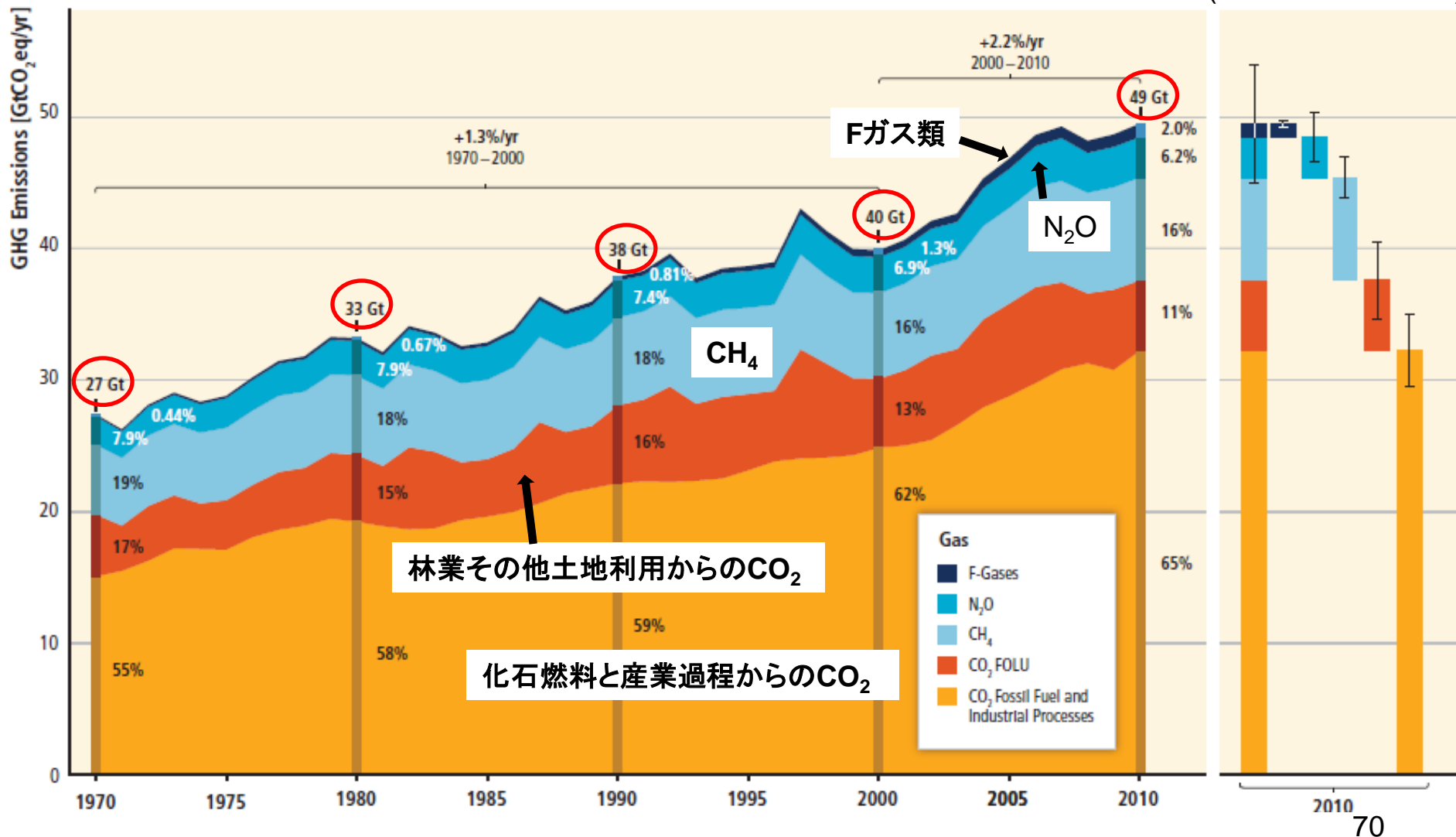
懸念の理由・根拠(ROC):

- (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

# 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)



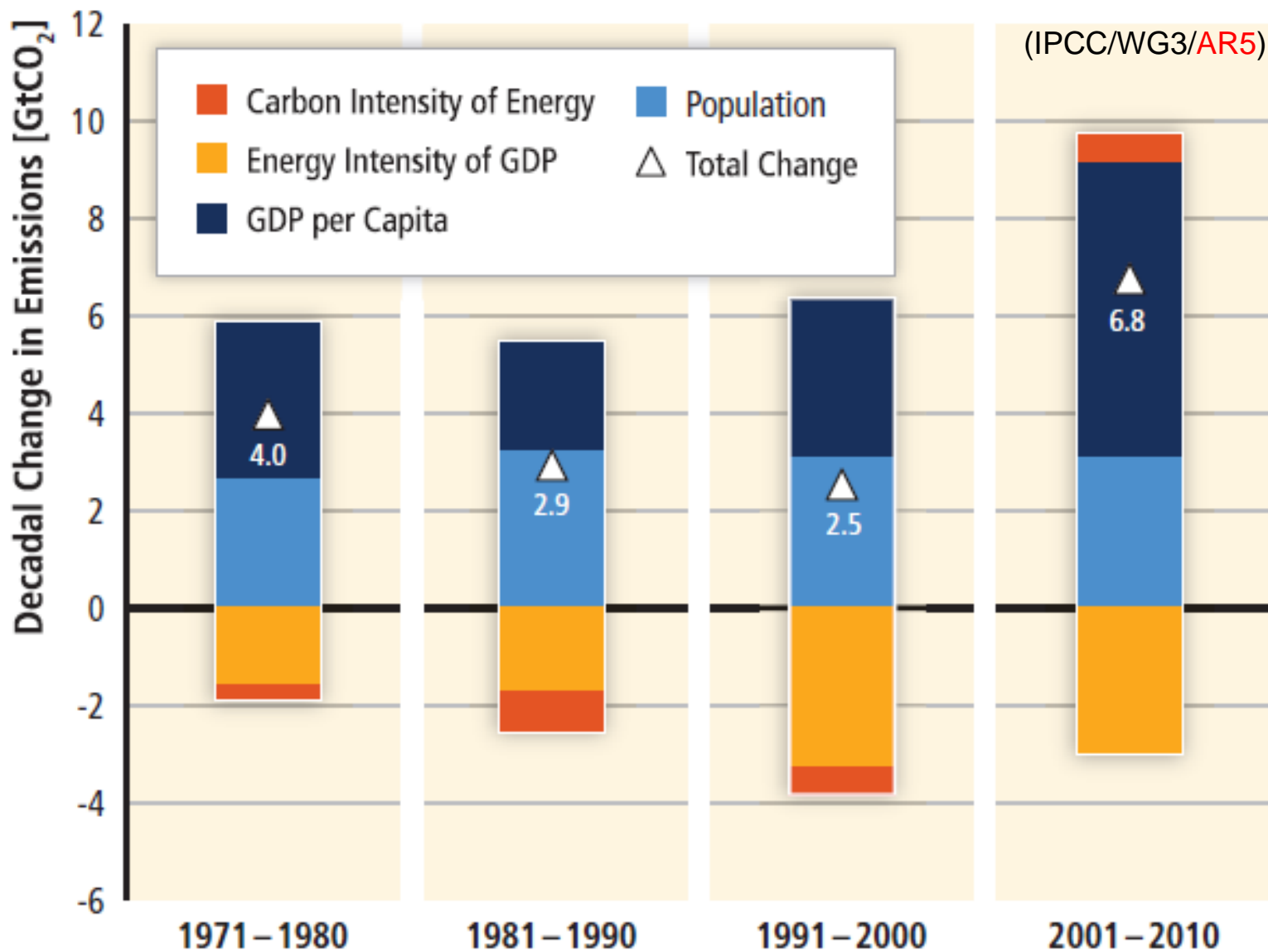
\*注: F-ガス類は、HFC(ハイドロフルオロカーボン), PFC(パーフルオロカーボン), SF6(六フッ化硫黄)を指す。

# 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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>換算**づつ(約**1ギガトンCO<sub>2</sub>eq/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>CO<sub>2</sub>eq/yr**

# 化石燃料燃焼からの世界CO<sub>2</sub>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

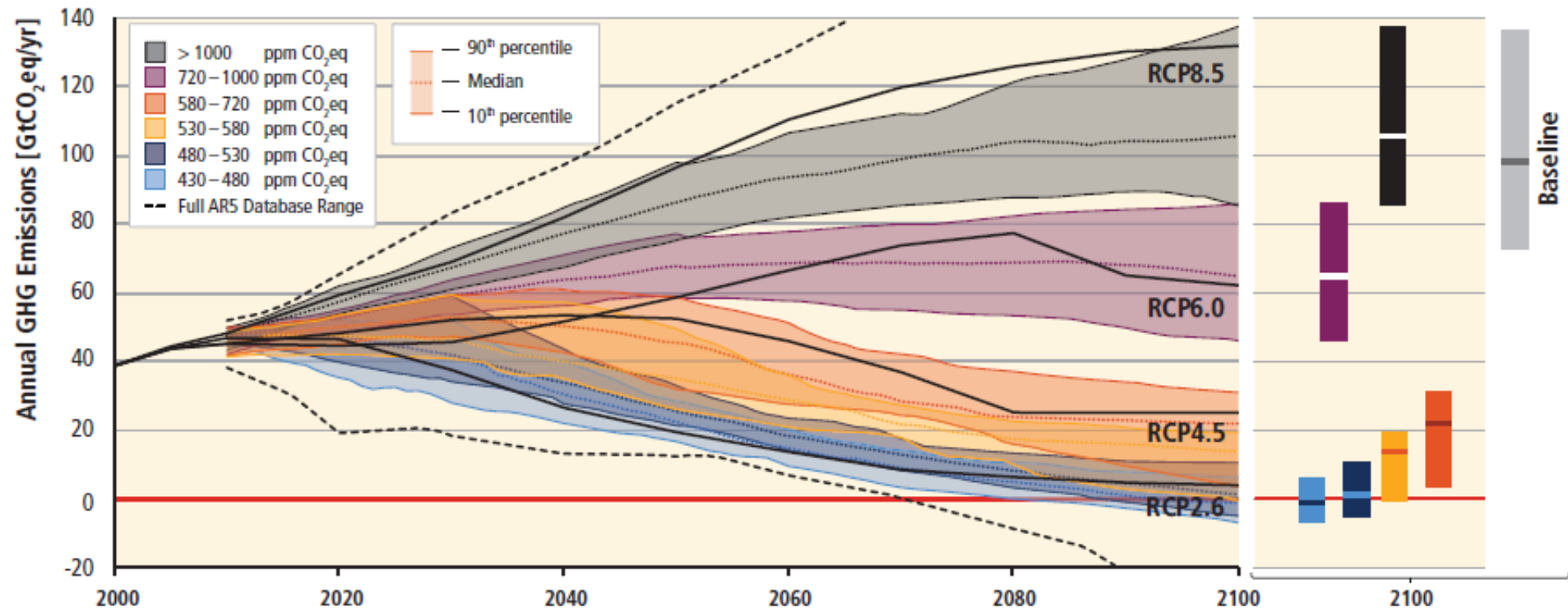
- \* **単位GDPを生み出すのに必要なエネルギー量:**  
**Energy Intensity of GDP (GDPのエネルギー原単位)**  
の**減少**が、**-**の要因であった。

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)。

# GHG排出量の経路(2000~2100年): AR5の全てのシナリオ

GHG Emission Pathways 2000–2100: All AR5 Scenarios



2100年値

- > 1000 ppm CO<sub>2</sub>eq
- 720–1000 ppm CO<sub>2</sub>eq
- 580–720 ppm CO<sub>2</sub>eq
- 530–580 ppm CO<sub>2</sub>eq ⇔ 約550 ppm CO<sub>2</sub>eq
- 480–530 ppm CO<sub>2</sub>eq ⇔ 約500 ppm CO<sub>2</sub>eq
- 430–480 ppm CO<sub>2</sub>eq ⇔ 約450 ppm CO<sub>2</sub>eq
- Full AR5 Database Range

(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.<sup>1,2</sup> [Table 6.3]

CO <sub>2</sub> eq Concentrations in 2100 (CO <sub>2</sub> eq) Category label (concentration range) <sup>3</sup>	Subcategories	Relative position of the RCPs <sup>5</sup>	Cumulative CO <sub>2</sub> emissions <sup>3</sup> (GtCO <sub>2</sub> )		Change in CO <sub>2</sub> eq emissions compared to 2010 ln (%) <sup>4</sup>		Temperature change (relative to 1850–1900) <sup>5,6</sup>								
			2011–2050	2011–2100	2050	2100	2100 Temperature change (°C) <sup>7</sup>	Likelihood of staying below temperature level over the 21st century <sup>8</sup>							
								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 <sub>2</sub> eq														
450 (430–480)	Total range <sup>1,10</sup>	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 <sub>2</sub> eq		860–1180	960–1430	–57 to –42	–107 to –73	1.7–1.9 (1.2–2.9)	Unlikely	More likely than not	More likely than not					
	Overshoot of 530 ppm CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> eq		1070–1460	1240–2240	–47 to –19	–81 to –59	2.0–2.2 (1.4–3.6)		Unlikely	More unlikely than likely <sup>12</sup>		More unlikely than likely			
	Overshoot of 580 ppm CO <sub>2</sub> 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 <sup>11</sup>	Unlikely		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 <sup>26</sup>	Unlikely	More unlikely than likely				

(IPCC/WG3/AR5)

## 安定化へのオプション

- ◆ 昇温を $2^{\circ}\text{C}$ 未満で抑えられる可能性が高い緩和シナリオは、2100年に大気中の濃度が $450\text{ppmCO}_2$ 換算となるものである(高い確信度) $\Rightarrow$  ほぼRCP2.6に対応  
 $\Rightarrow$  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 $500\text{ppmCO}_2$ 換算濃度に達する緩和シナリオでは、途中で約 $530\text{ppmCO}_2$ 換算の水準を一時的にオーバーシュートしない限り、 $2^{\circ}\text{C}$ 未満で抑えられる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、可能性はどちらも同程度である。
- ◆ 昇温を $1.5^{\circ}\text{C}$ 未満で抑えられる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。

# 安定化に向けた諸技術の提案

- ◆ **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**  
**海洋中に貯留するオプション**
- ◆ **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=Solar Radiation Management)**:  
(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= Carbon Dioxide Removal)**:  
(例) 海洋に鉄を散布して光合成を促進

# 1.5°C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

<表題>:

「**1.5°C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°C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。

# 「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。

## 4. 国際交渉の現状



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

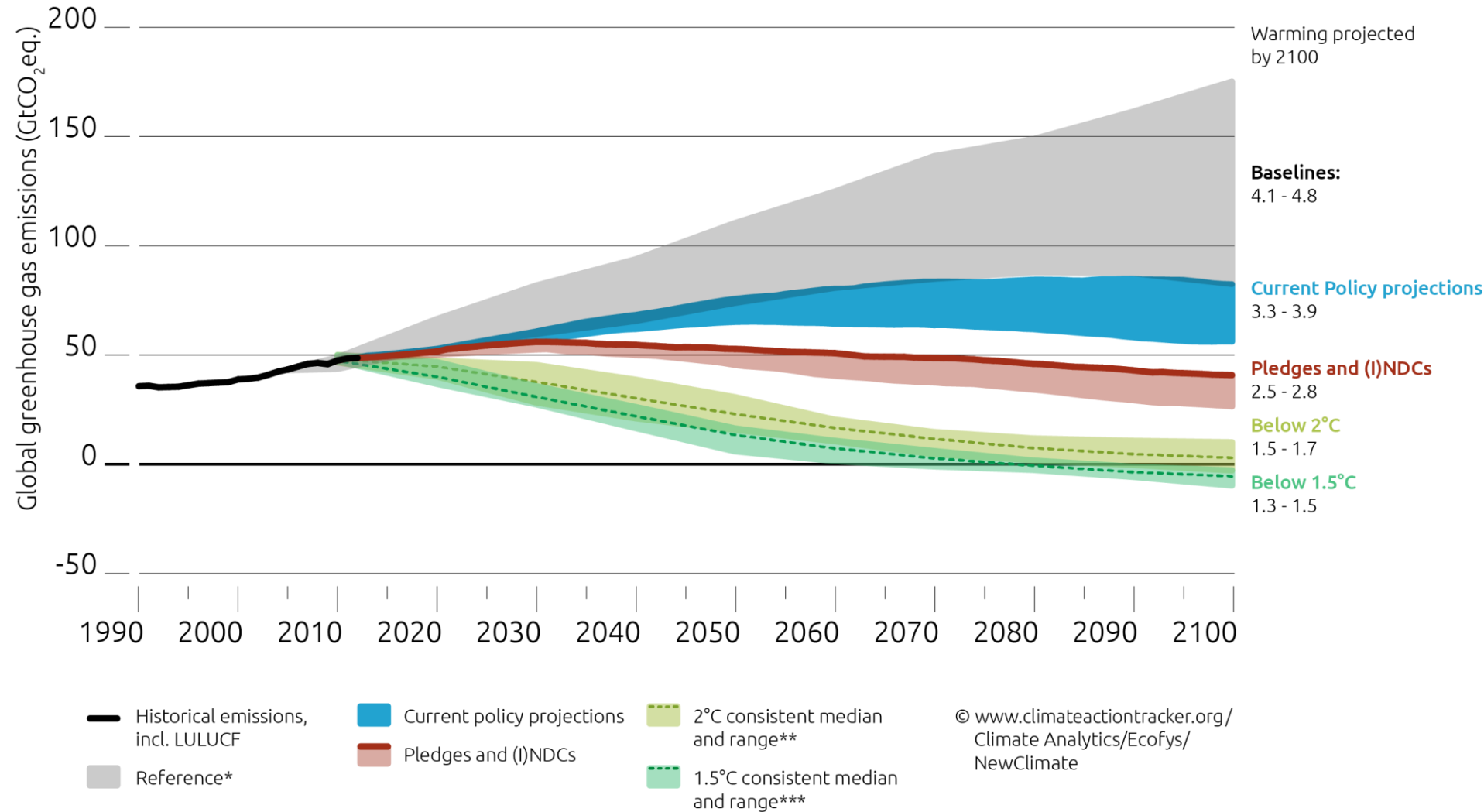
- ◆ **EU** : 2030年までに**1990年**に比べ、少なくとも**40%減**
- ◆ **米国**: 2025年までに**2005年**に比べ、**26–28%減**。28%を目指して最大限の努力する。→ **トランプ政権が撤退の意向**
- ◆ **日本\***: 2030年までに**2013年**に比べ、**26%削減**。
- ◆ **中国**: 2030年より最も早い時点で削減を開始し、**2005年**に比べ、**単位GDPあたりで、CO2排出を 60-65 %削減**
- ◆ **ブラジル**: 2025年までに、**2005年**に比べ、**37%削減**

---

\* 注)2050年までには、**80%削減**

# A recently assessed future emissions and projected warming

(for detail, see <http://climateactiontracker.org/>)



\* 5%-95% percentile of AR5 WGIII scenarios in concentration category 7, containing 64% of the baseline scenarios assessed by the IPCC  
 \*\* Greater than 66% chance of staying within 2°C in 2100. Median and 10th to 90th percentile range. Pathway range excludes delayed action scenarios and any that deviate more than 5% from historic emissions in 2010.  
 \*\*\* Greater than or equal to 50% chance of staying below 1.5°C in 2100. Median and 10th to 90th percentile range. Pathway range excludes delayed action scenarios and any that deviate more than 5% from historic emissions in 2010.

# 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 $2^{\circ}\text{C}$ より十分低く保つとともに、 $1.5^{\circ}\text{C}$ 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
- ◆  $1.5^{\circ}\text{C}$ 目標に関しては、AR5ではまだ不確実性が大きいいため、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。
- ◆ 9月2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**160カ国**が**パリ協定を批准/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....”