

気候変動と海

地球温暖化予測の最前線

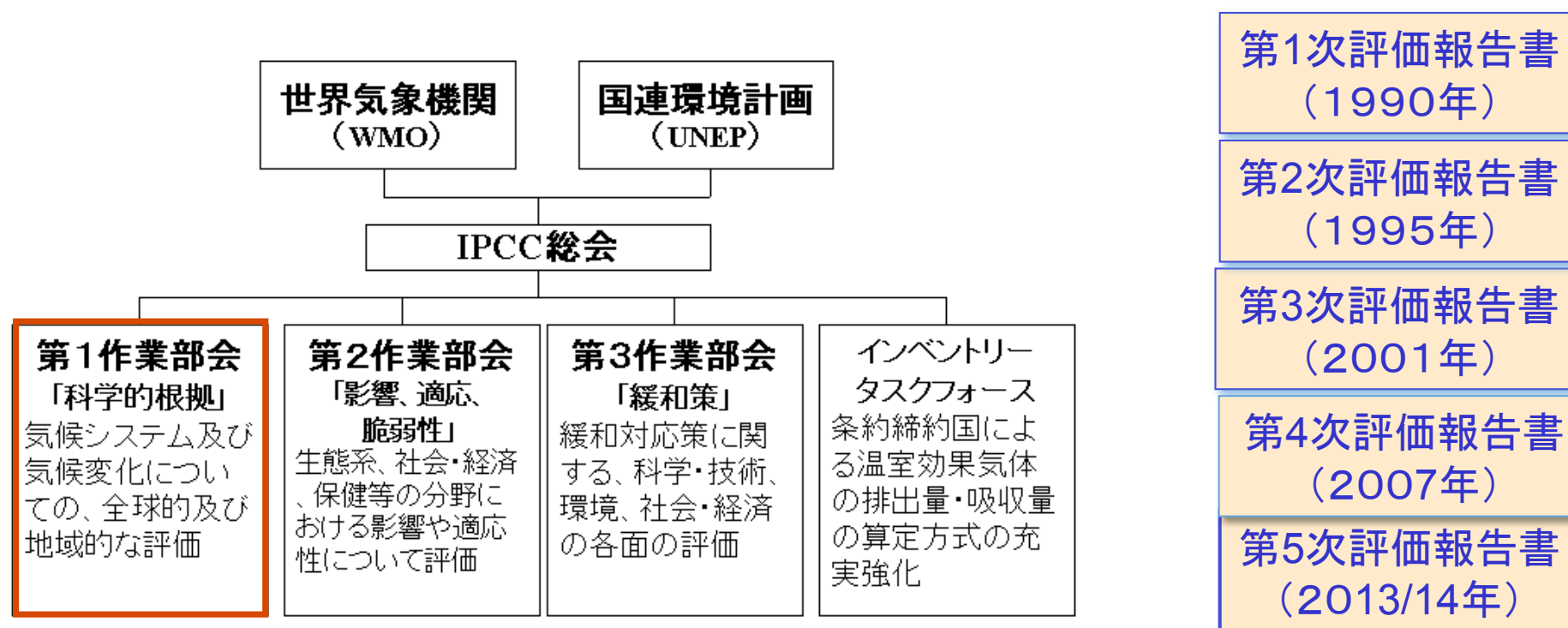
鬼頭昭雄

筑波大学生命環境系

IPCC第1作業部会 評価報告書の歴史

気候変動に関する政府間パネル

- 目的: 人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行う。
- 1988年に世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)により設立。



- IPCCの評価報告書: 世界の専門家や政府の査読も受けて作成。
- 「気候変動に関する国際連合枠組条約(UNFCCC)」をはじめ、地球温暖化に対する国際的なとりくみに科学的根拠を与える資料。

IPCC第1作業部会第1次～第5次評価報告書

科学の進歩

- 1990年：第1次評価報告書

”人為起源の温室効果ガス(GHG)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

”地球の気候システムに対する検出可能な人為的影響が**示唆される**”

- 2001年：第3次評価報告書

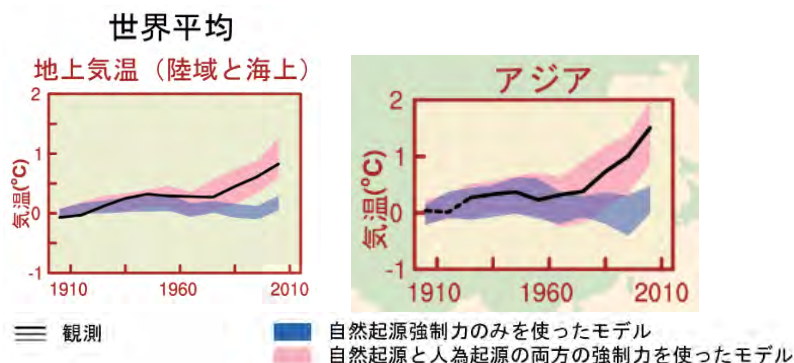
”温暖化はGHG濃度の増加によるものであった**可能性が高い**”

- 2007年：第4次評価報告書

”温暖化の原因が人為起源のGHGの増加による**可能性が非常に高い**
(90%以上の信頼性)”

- 2013～14年：第5次評価報告書

”温暖化の原因が人為起源のGHGの増加による**可能性が非常に高い**
(95%以上の信頼性)”



気候モデルの発展

数値予報モデル（天気予報）
 台風予測モデル
 エルニーニョ予測モデル
 季節予測モデル
 気候モデル
 地球システムモデル

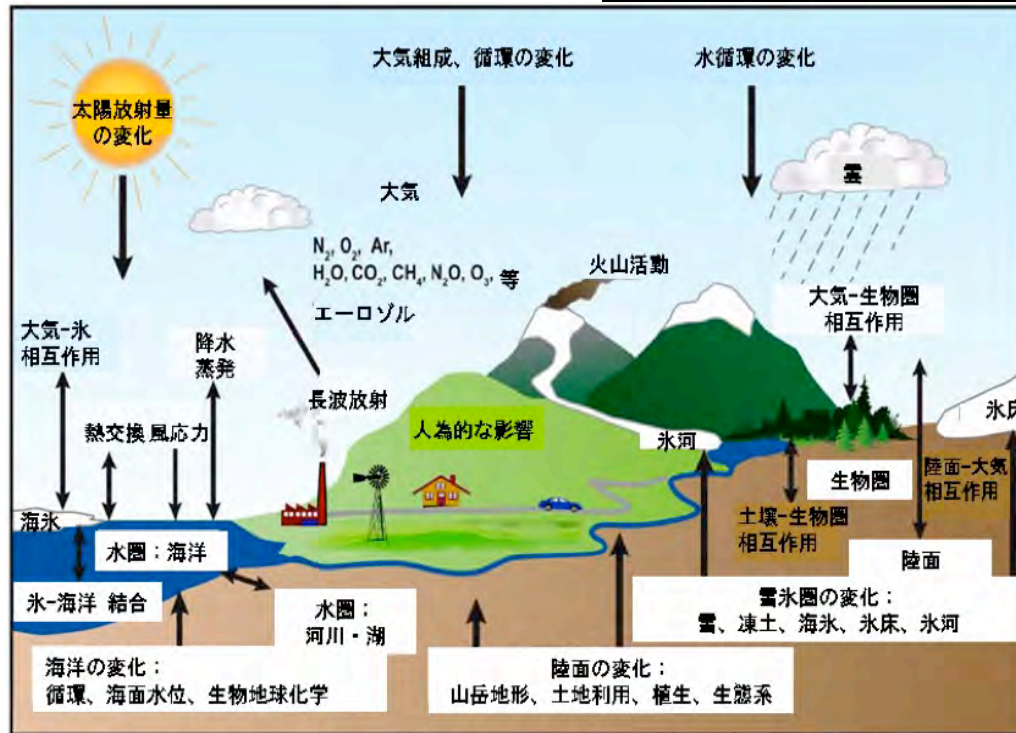
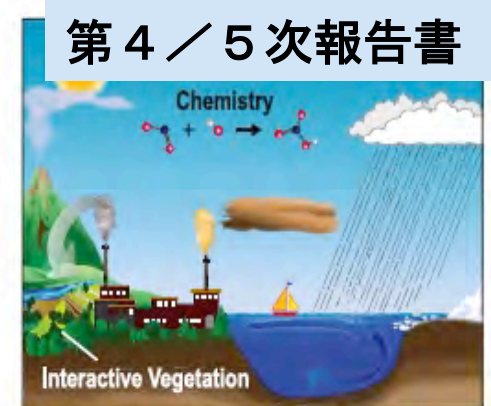
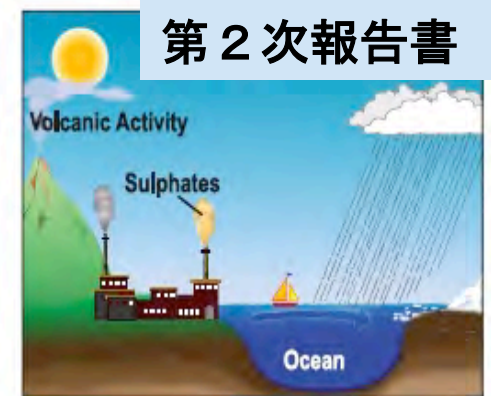
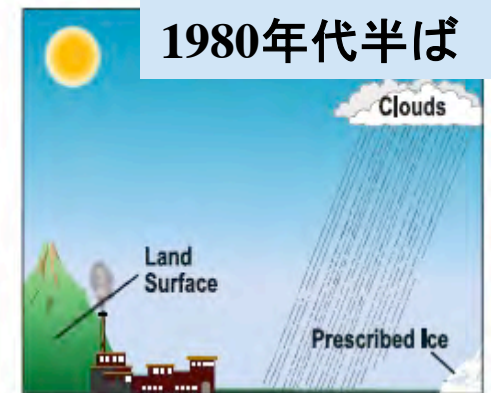
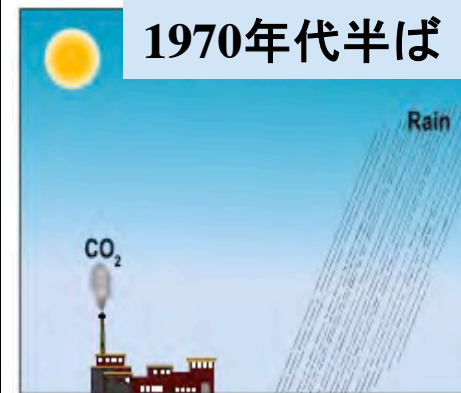
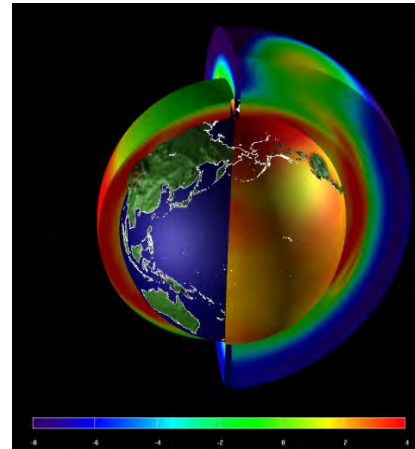


Figure 1.2. The complexity of climate models has increased over the last few decades. The additional physics incorporated in the models are shown pictorially by the different features of the modelled world.

観測

何が変わったか？

災害をもたらす顕著気象現象は 毎年のように起こっている

平成26年8月豪雨

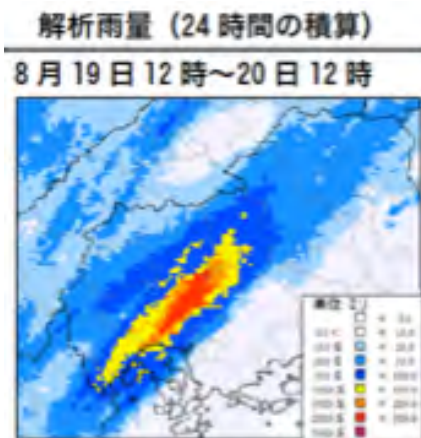
平成24年7月九州北部豪雨

平成23年7月新潟・福島豪雨

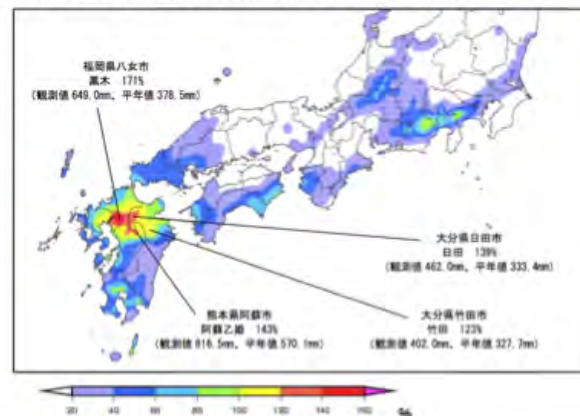
平成21年7月中国・九州北部豪雨

平成20年8月末豪雨

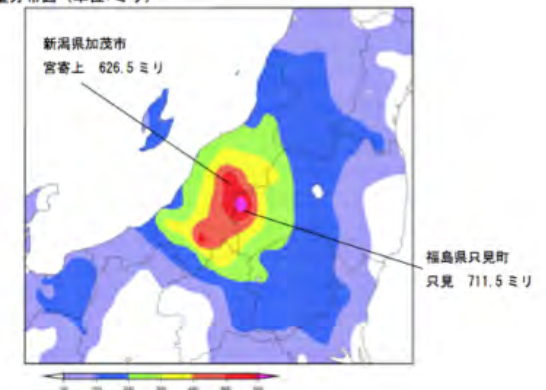
平成18年7月豪雨



期間降水量と7月の月降水量平年値との比較分布図 (7月11日～7月14日)

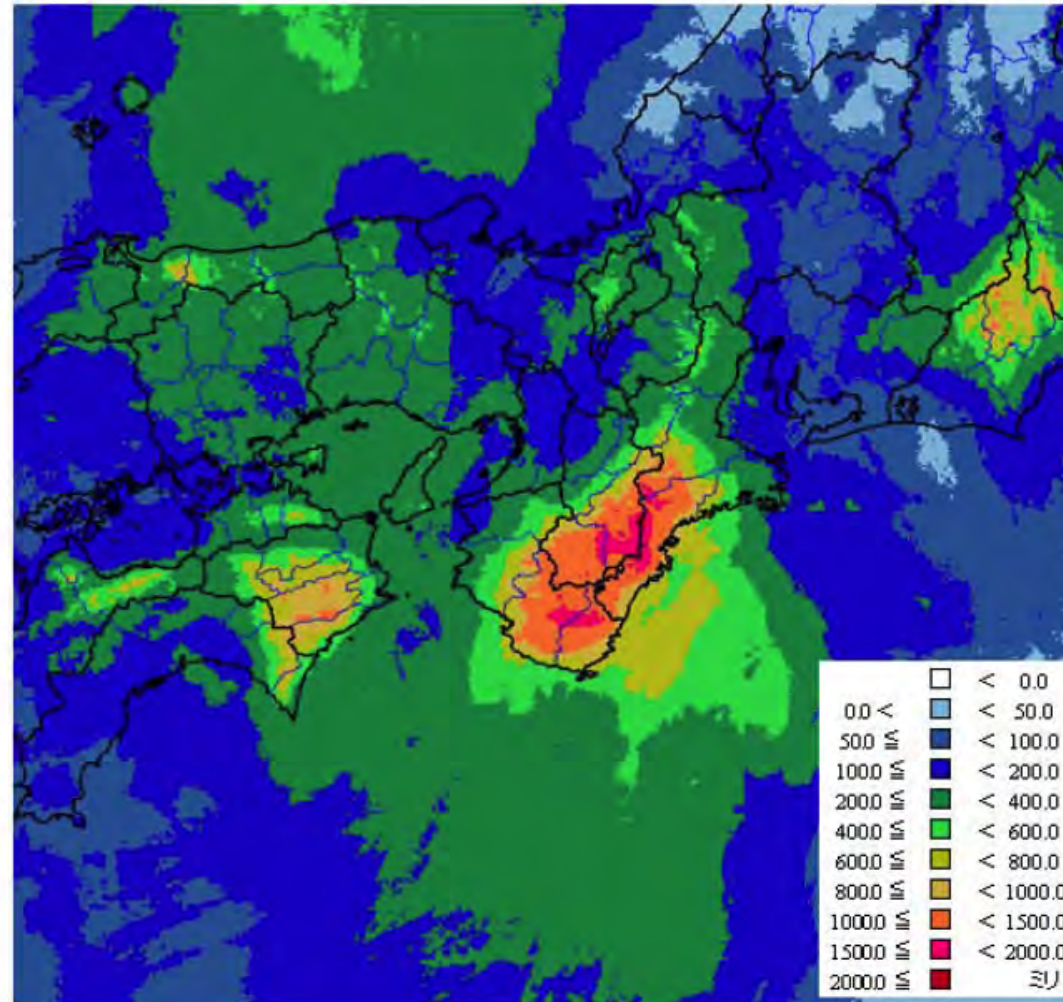


○ 7 月 27 日から 30 日の期間の雨量データ
期間降水量分布図 (単位: ミリ)



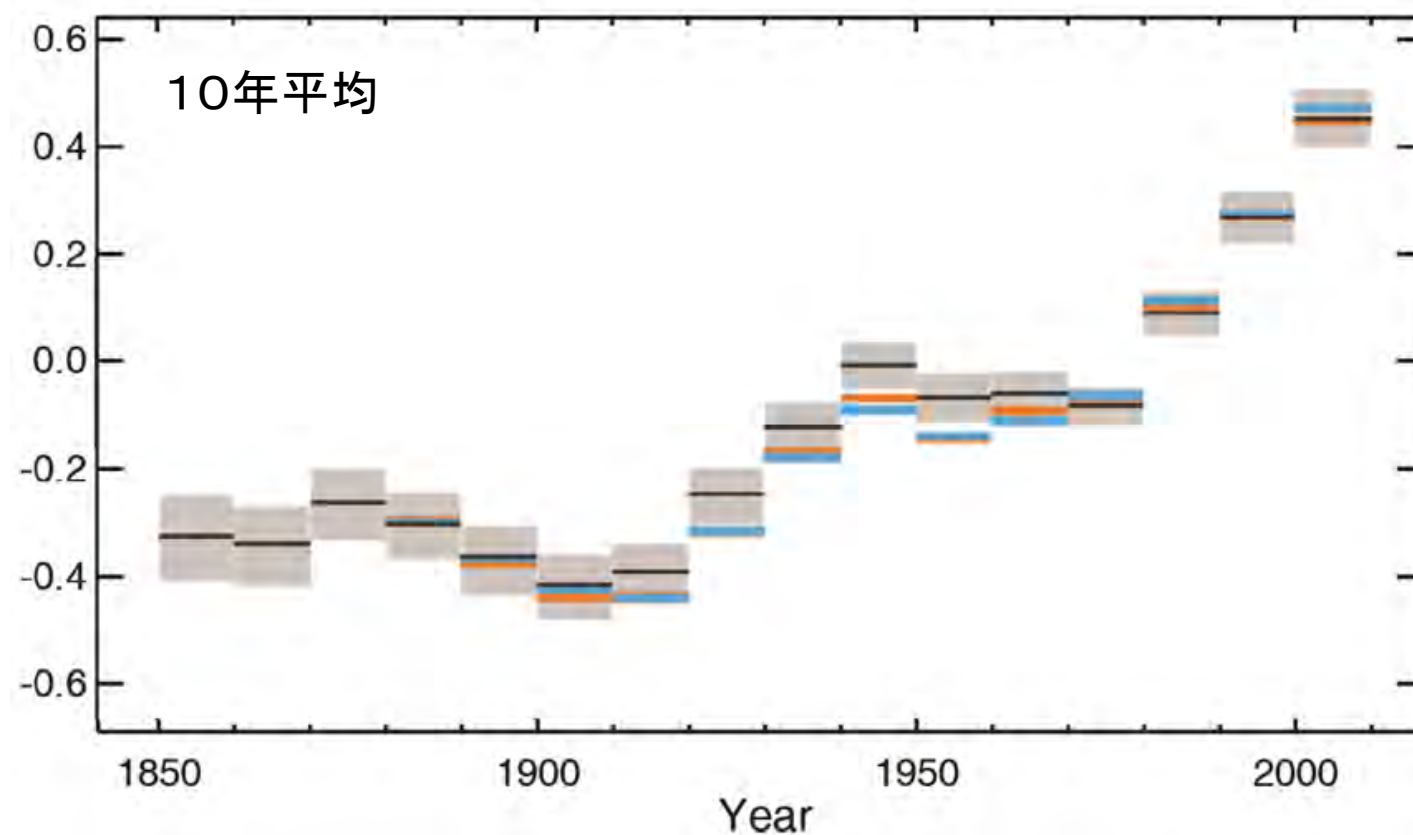
平成23年台風第12号:総降水量 2011/8/30-9/4

解析雨量による総降水量分布図（推定） 8月30日17時～9月4日24時



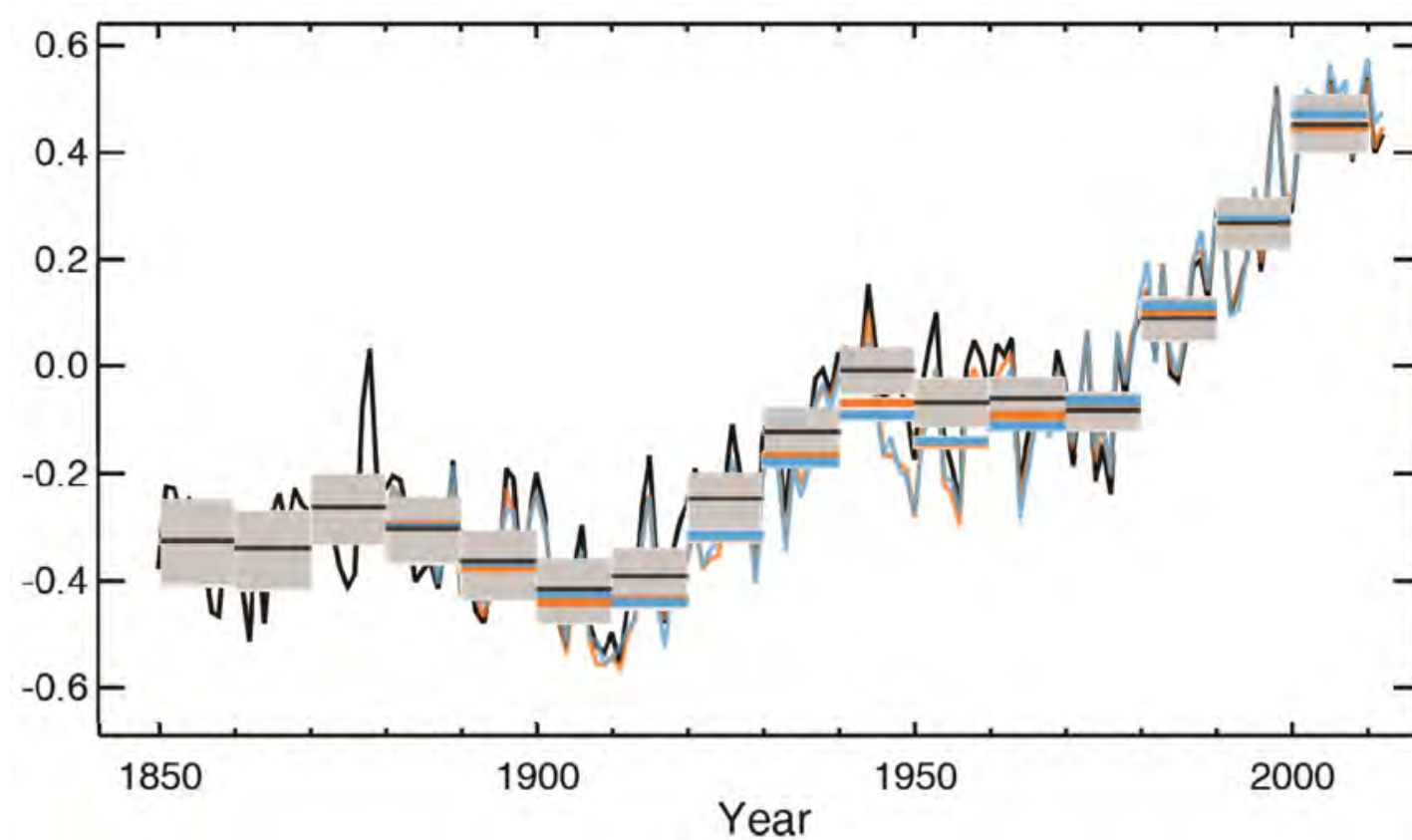
平成23年8月30日17時からの総降水量は、紀伊半島を中心に広い範囲で1000mmを超え、奈良県上北山村上北山で総降水量は1808.5mmとなるなど、総降水量が年間降水量平年値の6割に達したところもあり、紀伊半島の一部の地域では解析雨量で2000mmを超えるなど、記録的な大雨となった。

観測された地上気温の変化(1850~2012年)



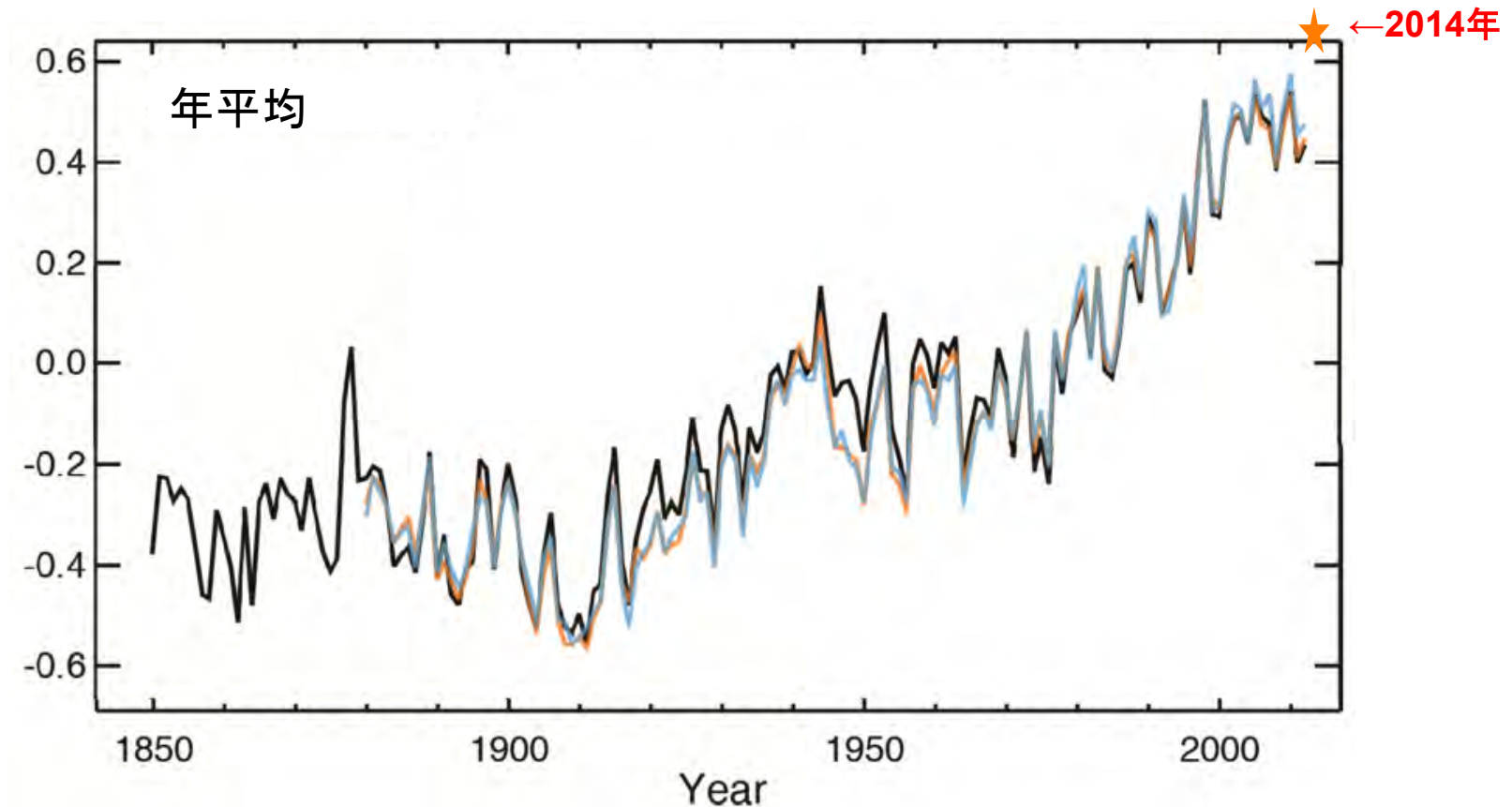
地球の表面では、最近30年の各10年間はいずれも、1850年以降の各々に先立つどの10年間よりも高温でありつづけた。

観測された地上気温の変化(1850~2012年)



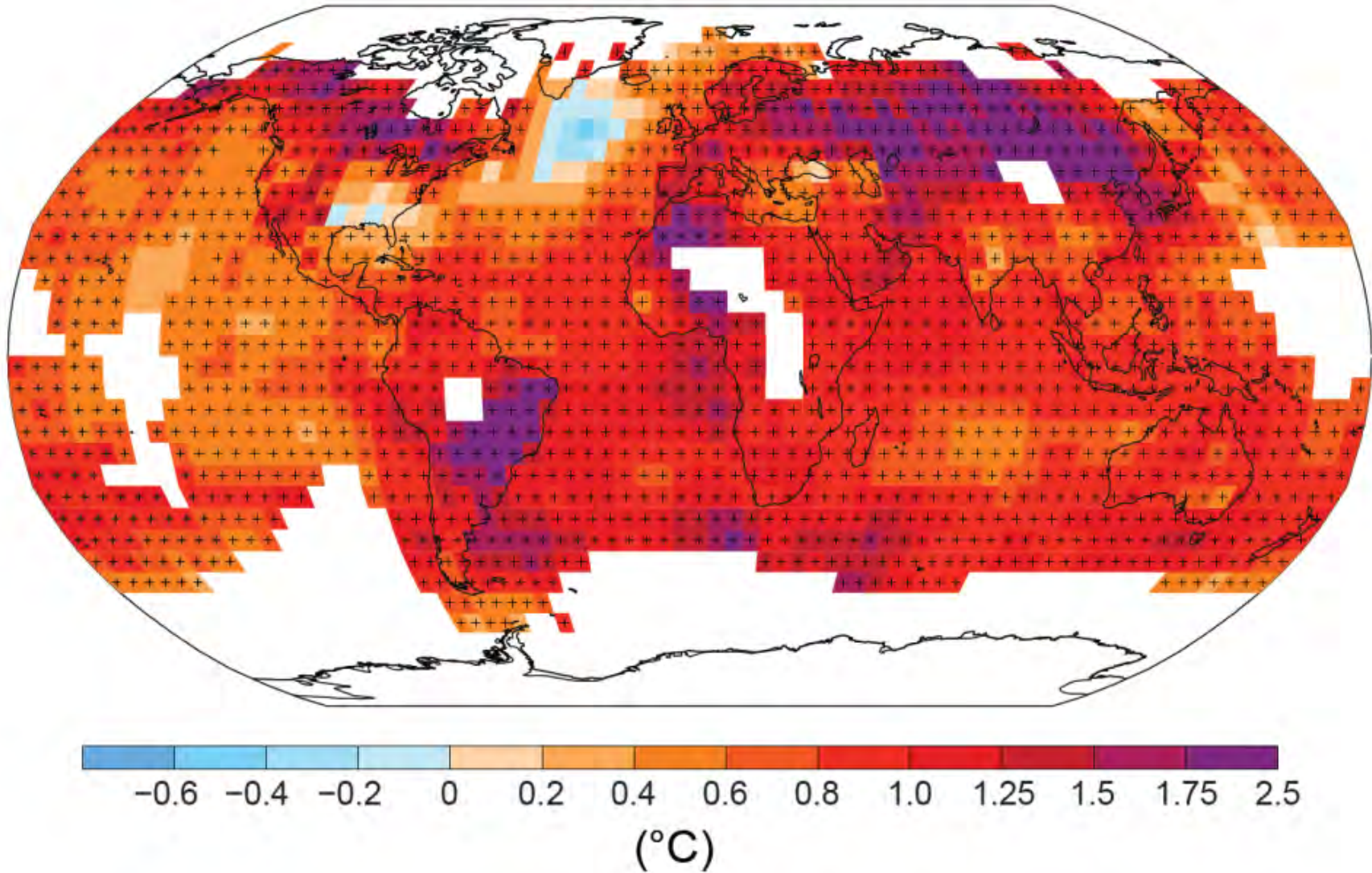
地球の表面では、最近30年の各10年間はいずれも、1850年以降の各々に先立つどの10年間よりも高温でありつづけた。

観測された地上気温の変化(1850~2012年)

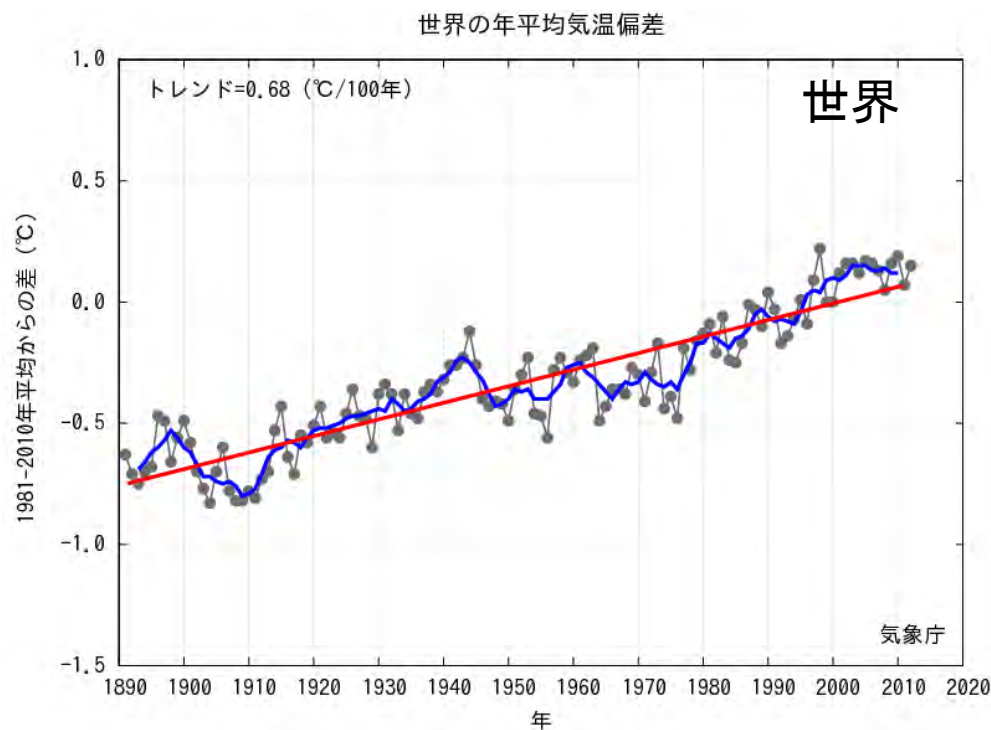


過去15年の気温の上昇率(10年当たり0.05 [-0.05~+0.15] °C)は1951年以降について求めた気温の上昇率(10年当たり0.12 [0.08~0.14] °C)より小さい。

観測された地上気温の変化(1901~2012年)

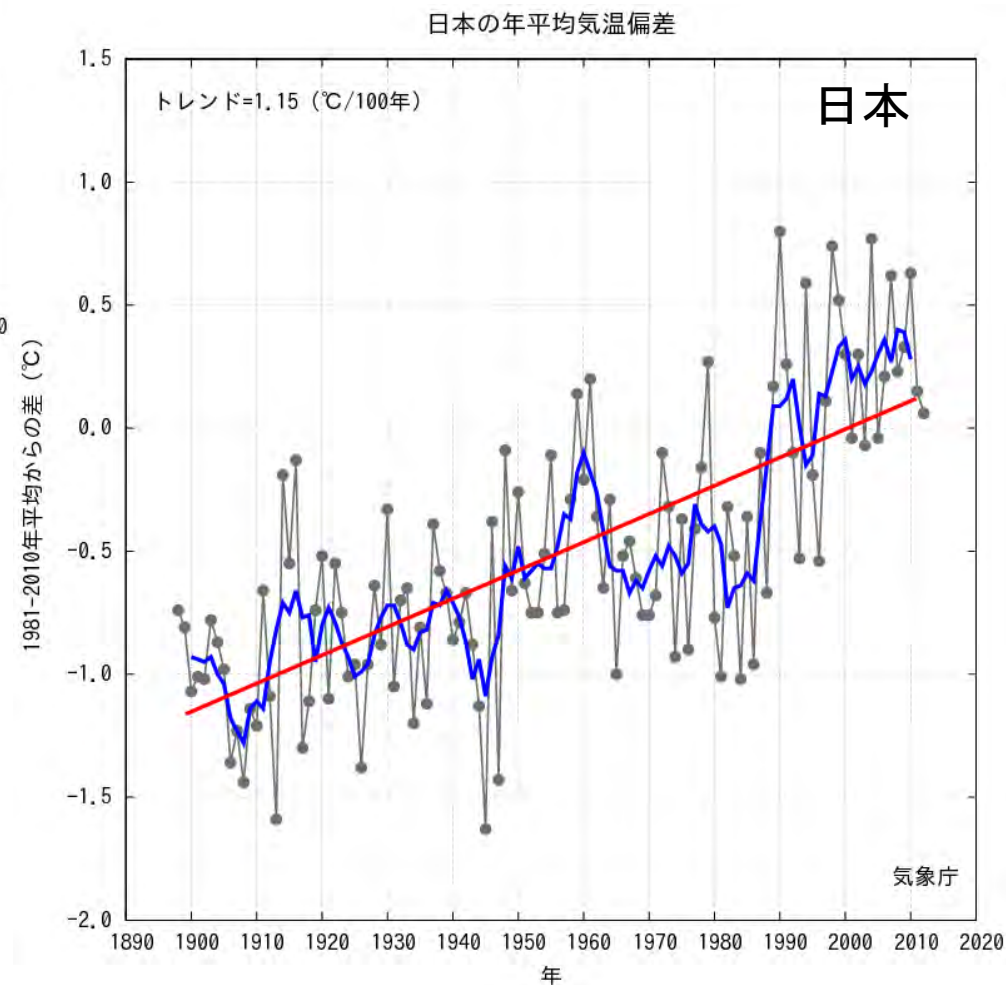


世界と日本の気温

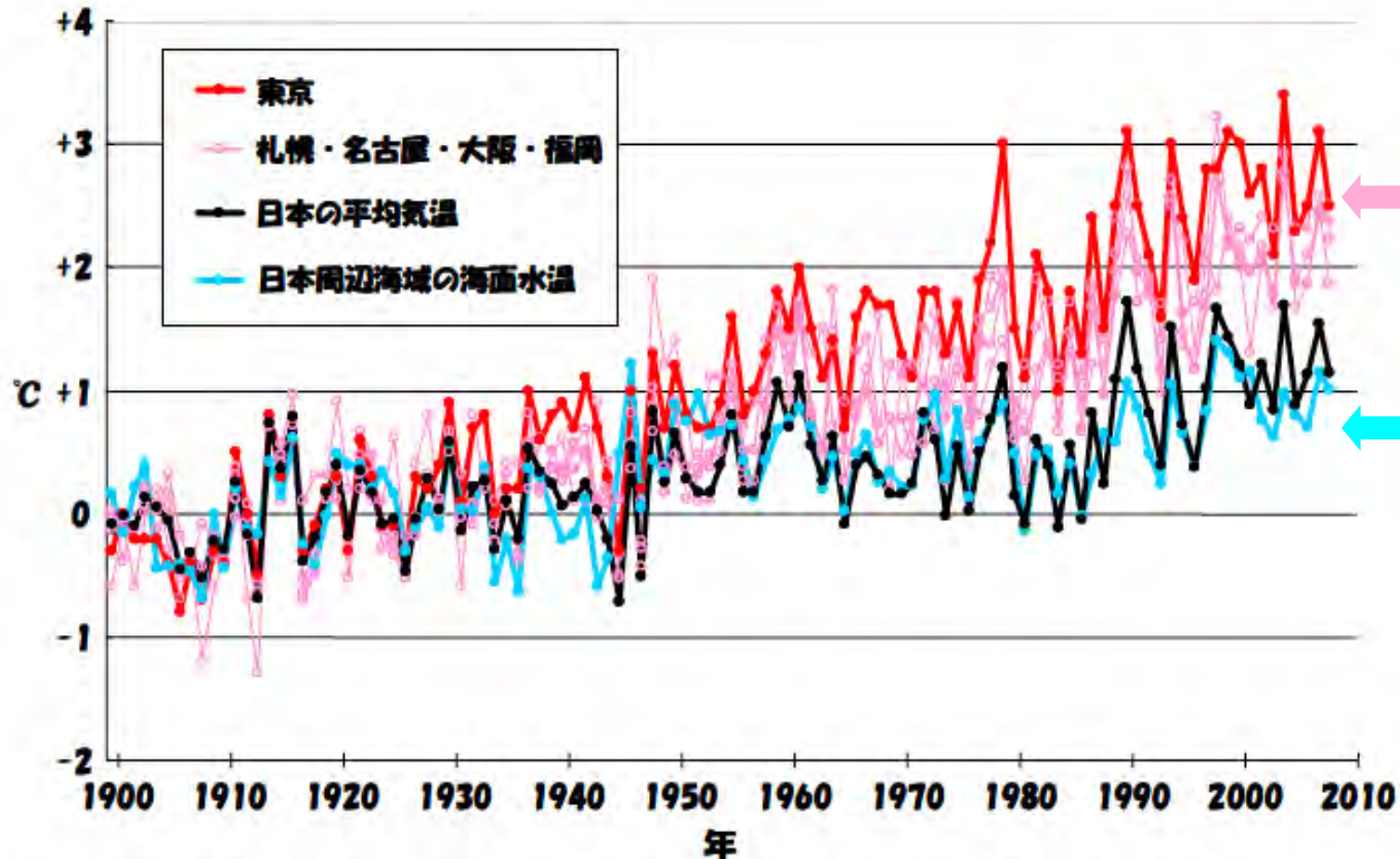


日本の年平均気温は100年あたり1.15°Cの割合で上昇しており、上昇スピードは世界平均 (0.68°C) よりも速い

↓ 観測データの均質性が長期間維持され、かつ都市化などによる周辺環境の変化が比較的少ない17地点のデータを使用



日本の気温



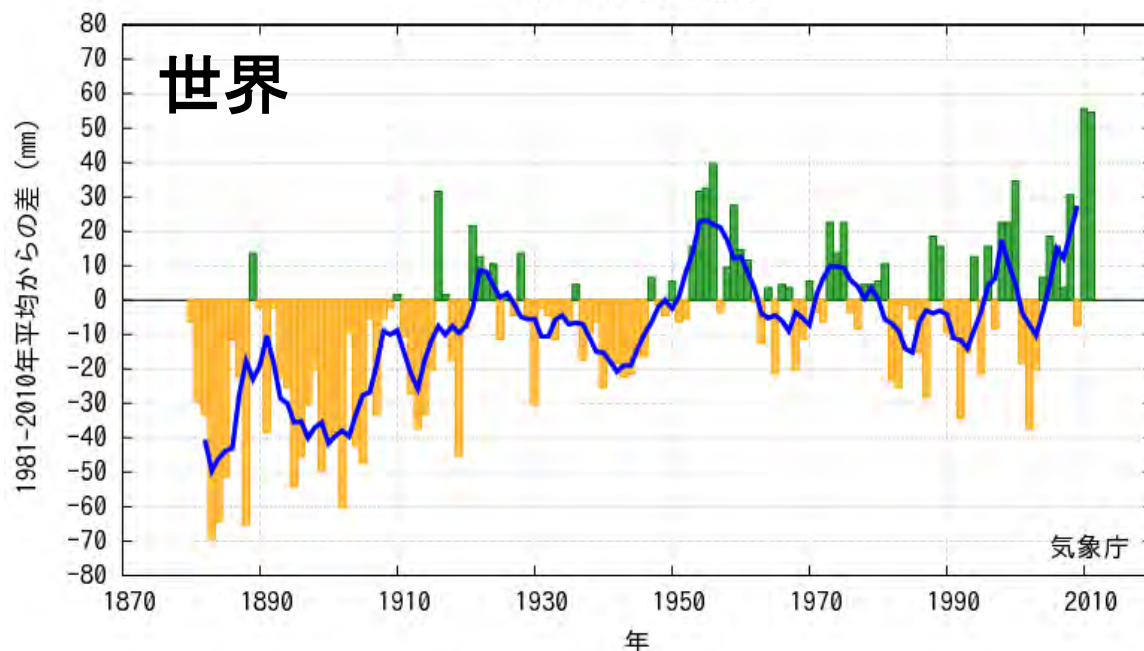
都市では、地球温暖化に匹敵もしくはそれを上回る気温の上昇がヒートアイランド現象によりもたらされている

ヒートアイランド現象と無関係な日本周辺海域の海面水温は100年あたり1°C前後上昇している

日本の大都市の気温、日本の平均気温、及び日本周辺海域の海面水温の推移
日本の平均気温は国内 17 地点（図 3.1.1）の平均。いずれも年平均値で、1901～1930 年の 30 年平均値からの差を示す。
作成：気象庁

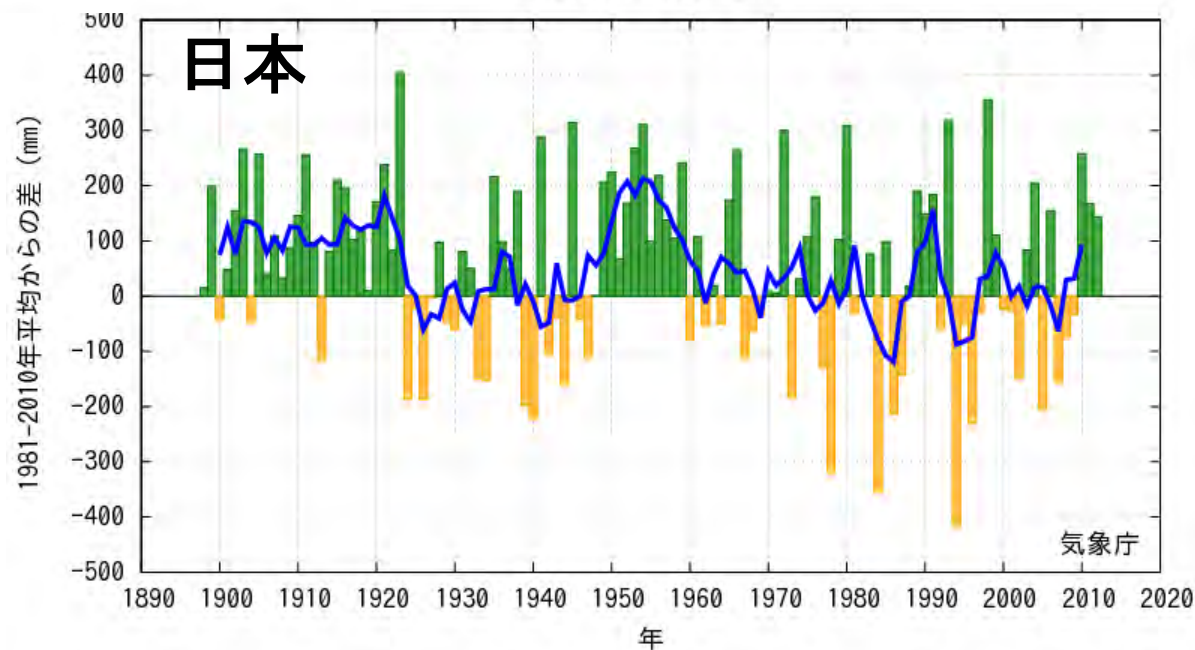
世界と日本の降水量

世界の年降水量偏差



日本:トレンドなし、
年々変動は増加傾向

日本の年降水量偏差



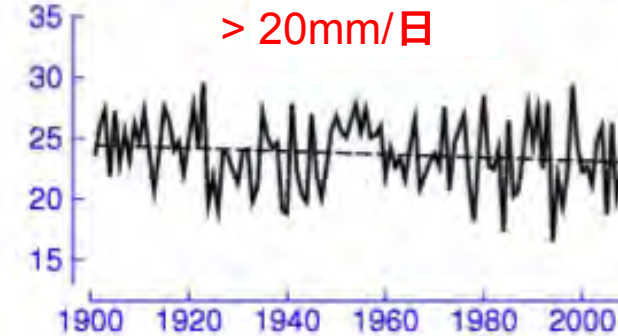
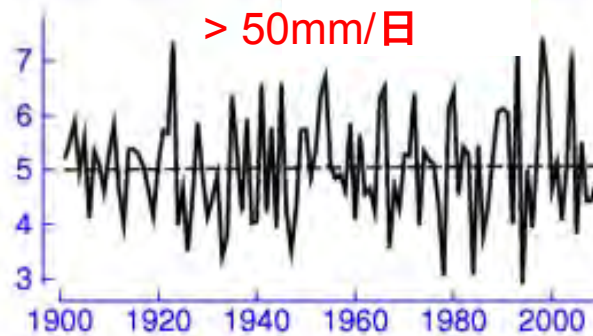
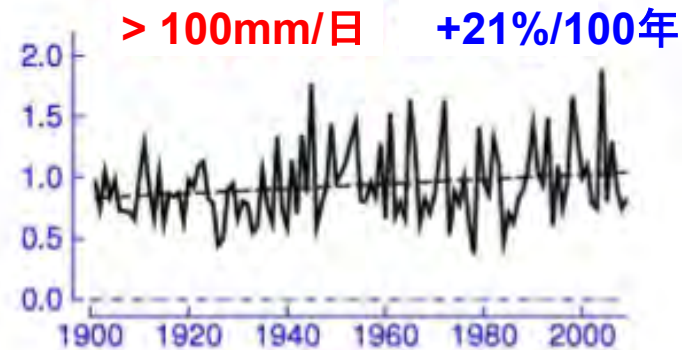
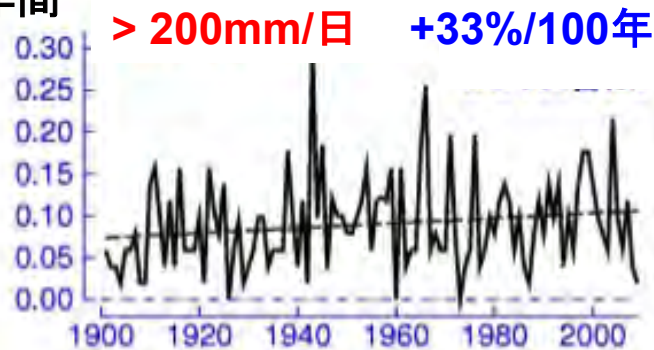
世界:増加傾向にあるが、
トレンドは有意ではない

日本の大雨は有意に増加している

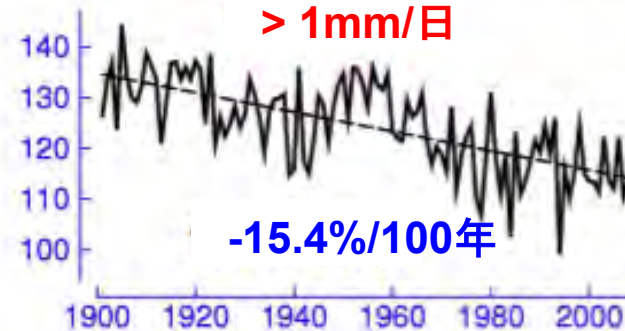
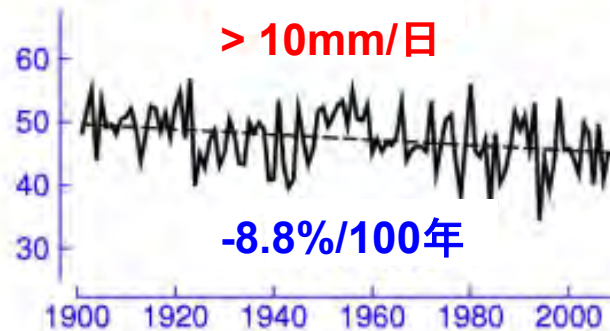
縦軸は1地点
あたりの年間
日数

日本の大雨の長期変化(1901~2009, 国内51地点)

大雨



少雨

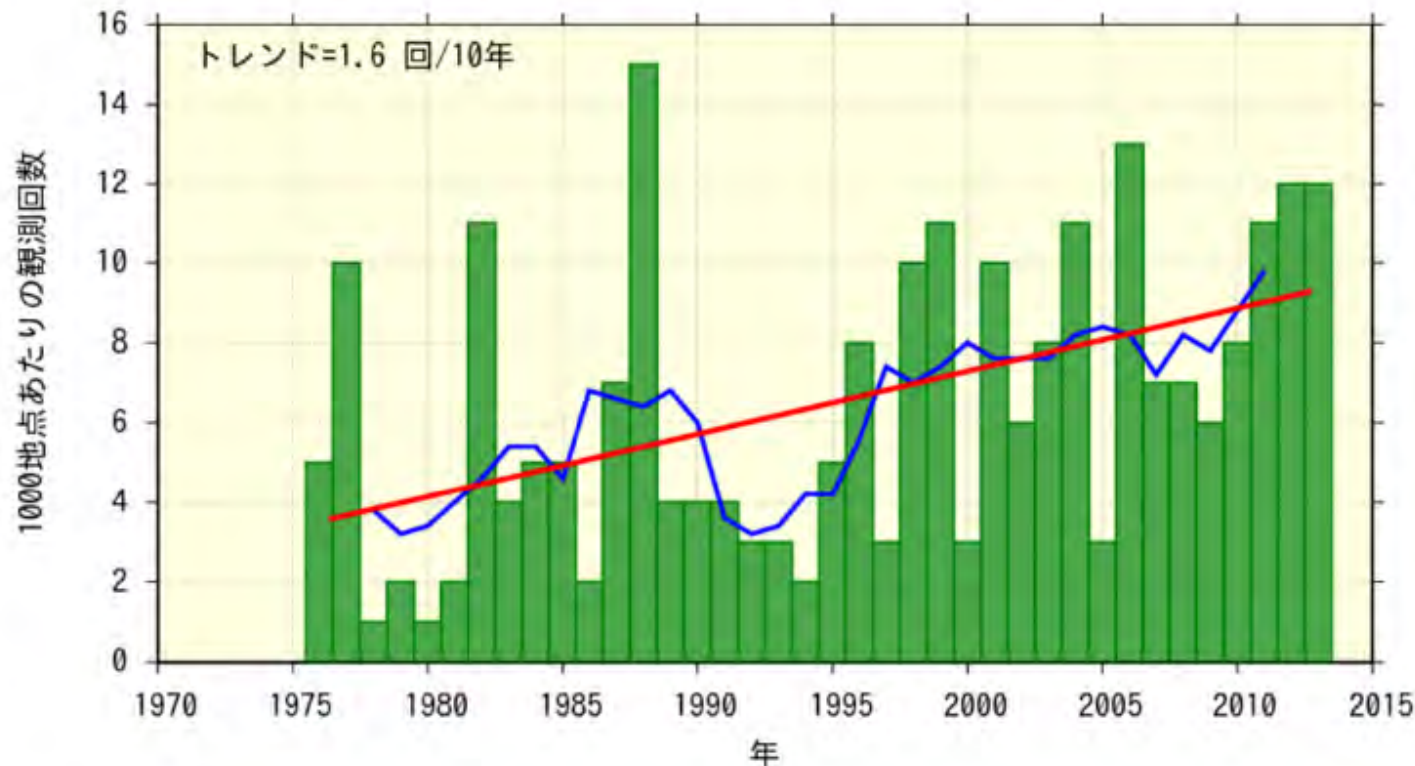


大雨の頻度の増加および少雨の頻度の減少が観測されている

藤部(2011)

強い雨も有意に増加している

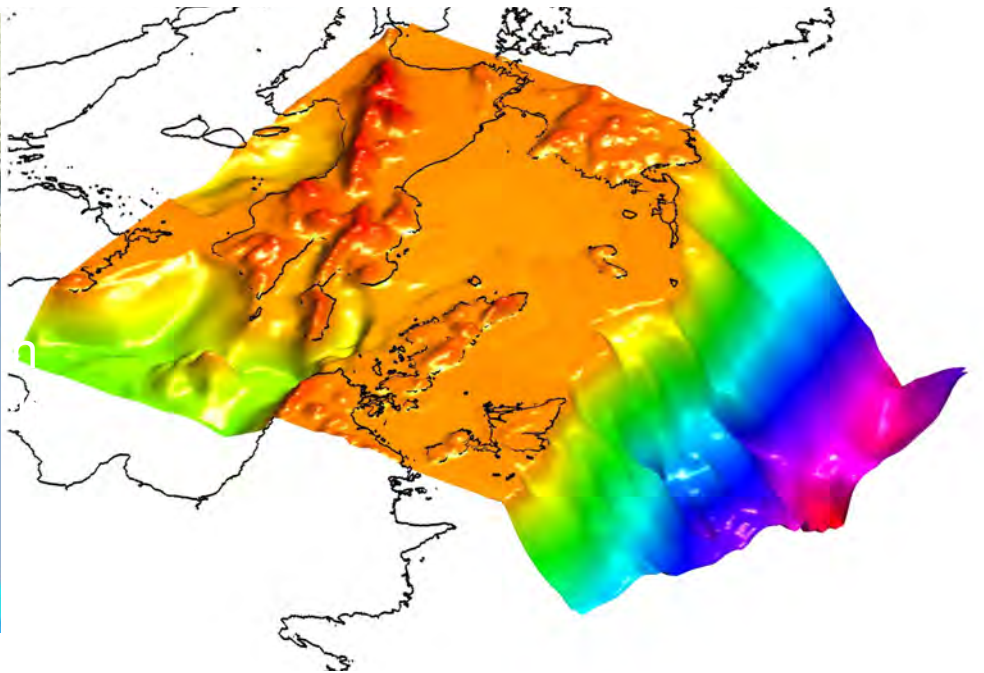
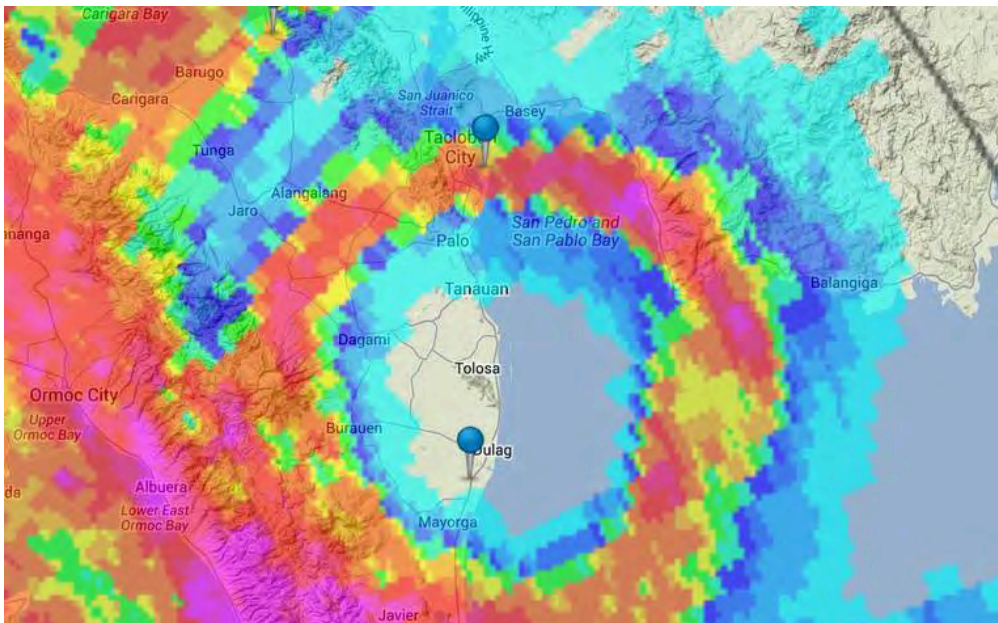
[アメダス]夏（6～8月）の1時間80ミリ以上の観測回数



アメダスで観測された夏季の1時間降水量80mm以上の観測回数が増加している。年間でも同様。1時間降水量50mm以上でも同様。

2013年台風第30号ハイエン(Haiyan)

- ・最低中心気圧 895 hPa
- ・最大風速 65 m/s 最大瞬間風速 90 m/s以上
- ・海水温の高い地域を台風が進んだため衰えずにレイテ島に上陸
- ・台風が目がタクロバンのすぐ南を通過
- ・タクロバンにとって高潮の最悪コース
- ・フィリピン海溝西側の急激な水深変化がレイテ湾内振動を増幅



日本南方海域の海水温が上がれば日本にスーパー台風の上陸も、、、

日本上陸時(直前)の中心気圧が低い台風

(統計期間:1951年～2014年)

順位	台風番号	上陸時気圧 (hPa)	上陸日時	上陸場所*1
1	6118*2	925	1961年9月16日09時過ぎ	高知県室戸岬の西
2	5915*3	929	1959年9月26日18時頃	和歌山県潮岬の西
3	9313	930	1993年9月3日16時前	鹿児島県薩摩半島南部
4	5115	935	1951年10月14日19時頃	鹿児島県串木野市付近
5	9119	940	1991年9月27日16時過ぎ	長崎県佐世保市の南
	7123	940	1971年8月29日23時半頃	鹿児島県大隅半島
	6523	940	1965年9月10日08時頃	高知県安芸市付近
	6420	940	1964年9月24日17時頃	鹿児島県佐多岬付近
	5522	940	1955年9月29日22時頃	鹿児島県薩摩半島
	5405	940	1954年8月18日02時頃	鹿児島県西部

*1：当時の市町村名等で示す

*2：第二室戸台風

*3：伊勢湾台風

参考記録：(※統計開始以前のため)

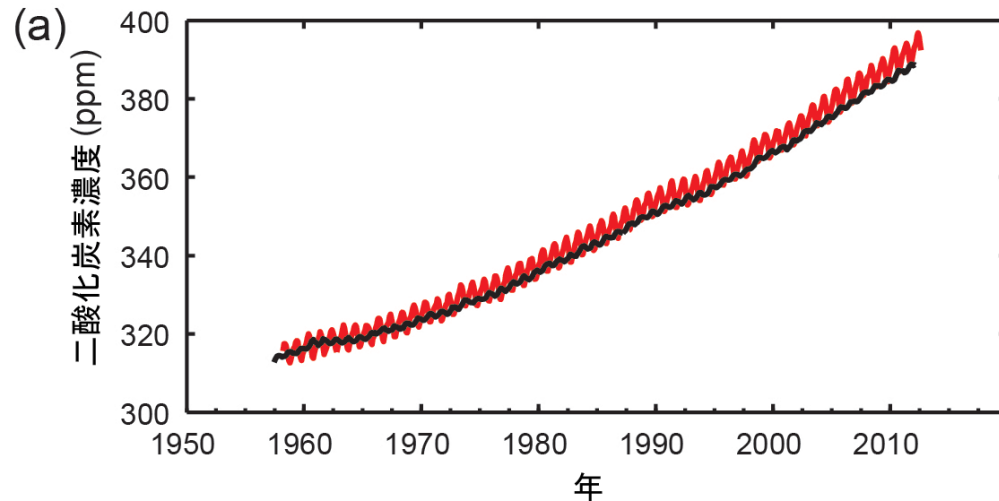
室戸台風 911.6hPa 1934年9月21日(室戸岬における観測値)

枕崎台風 916.1hPa 1945年9月17日(枕崎における観測値)

過去に日本へ上陸した台風は強かった！
最近はそれほど中心気圧の低い台風は上
陸していない

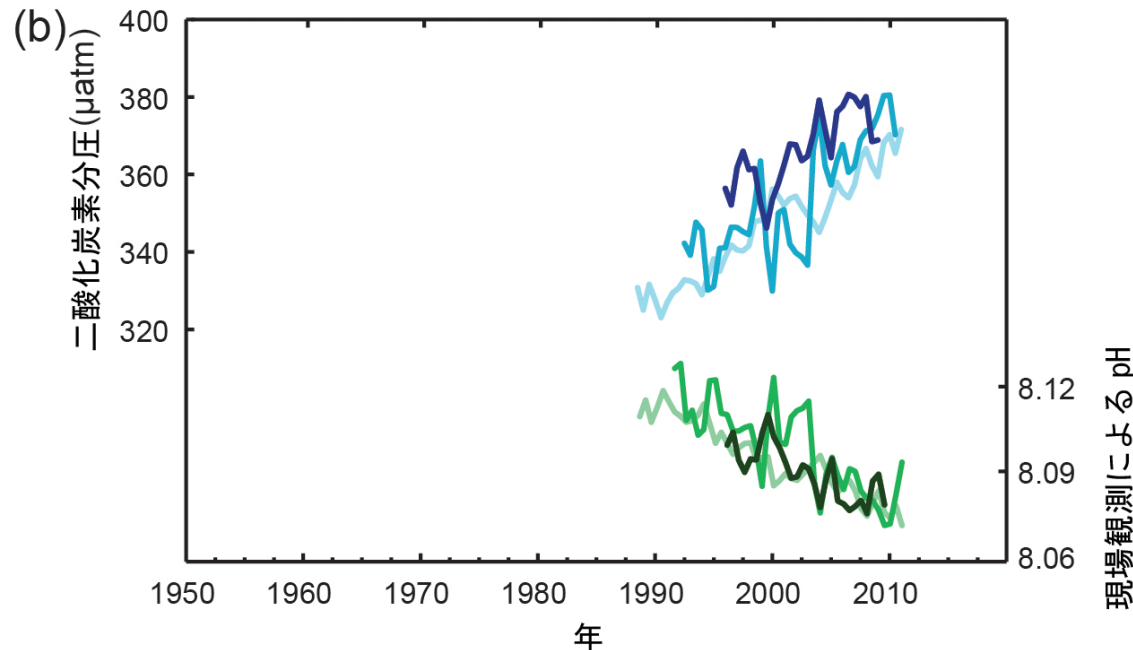
二酸化炭素濃度の増加と海洋酸性化

大気中の二酸化炭素



大気中の二酸化炭素濃度は、少なくとも過去80万年間で前例のない水準にまで増加している。

海面の二酸化炭素と pH

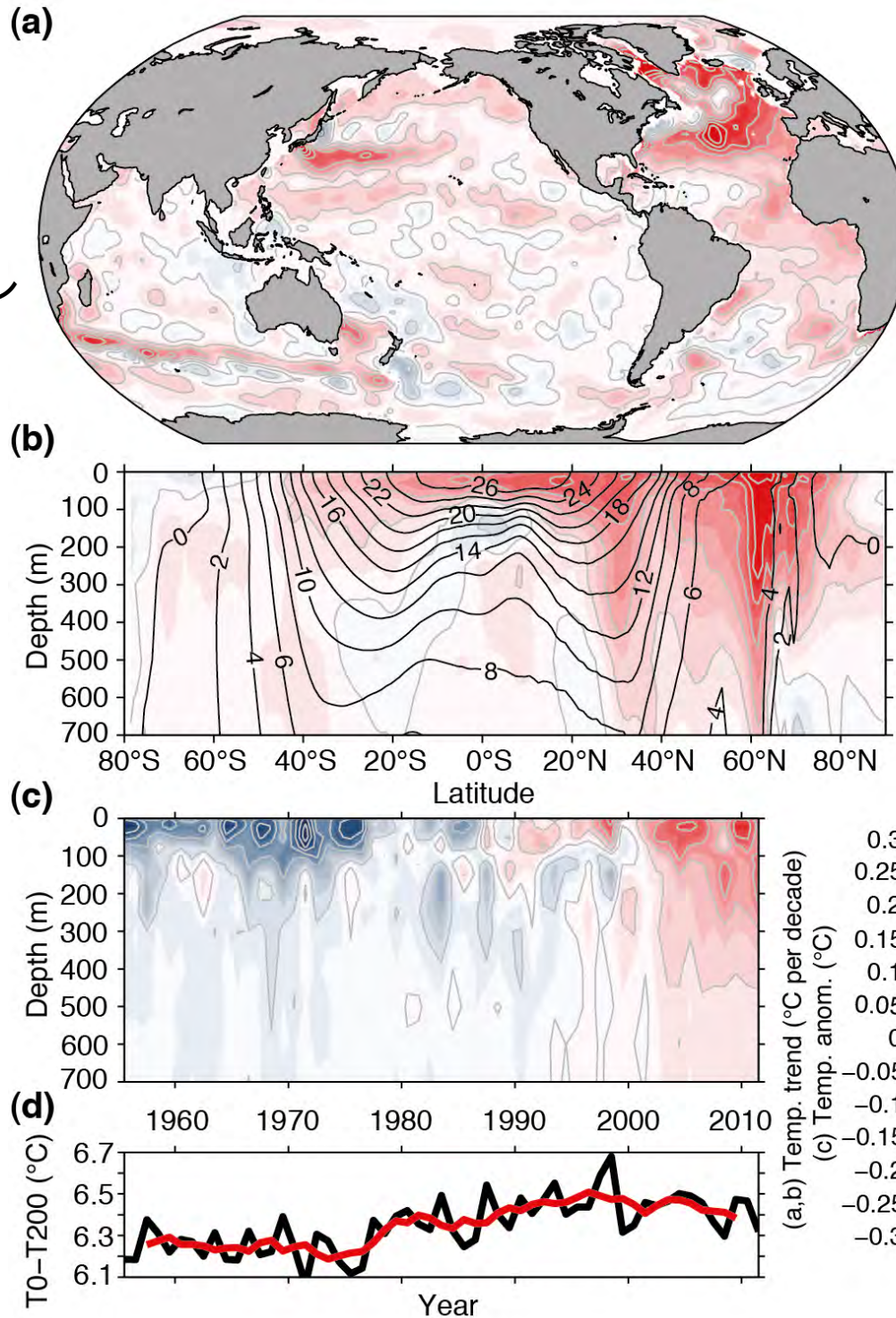


二酸化炭素濃度は、第一に化石燃料からの排出、第二に正味の土地利用変化による排出により、工業化以前より40%増加した。

海洋は排出された人為起源の二酸化炭素の約30%を吸収し、海洋酸性化を引き起こしている。

水温変化

1971~2010
年の海面から
700mまで平
均した水温トレ
ンド

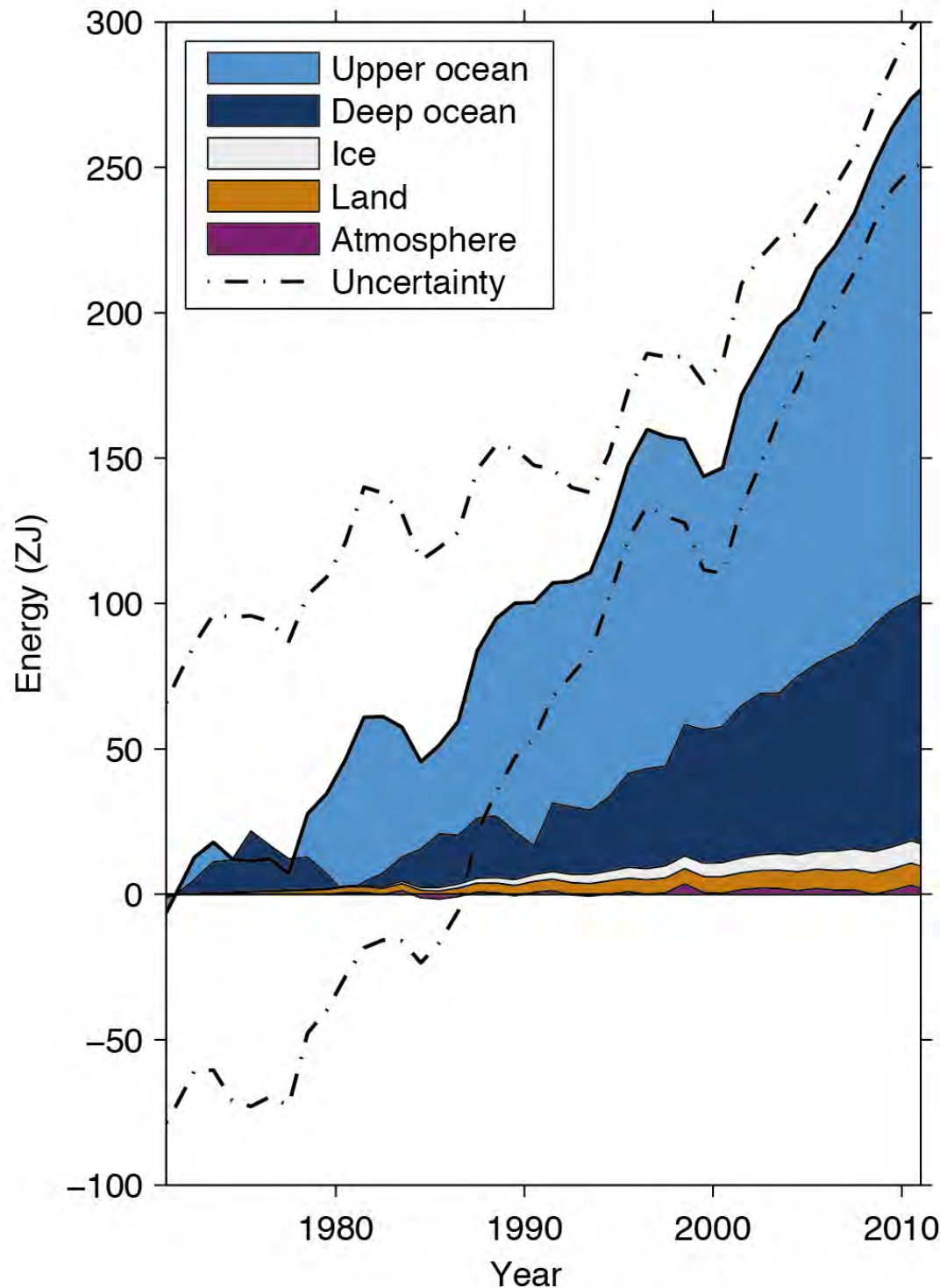


海洋の温暖化は海
面付近で最も大きく、
海面から700mまで
の層は10年当たり
0.11°C昇温した。

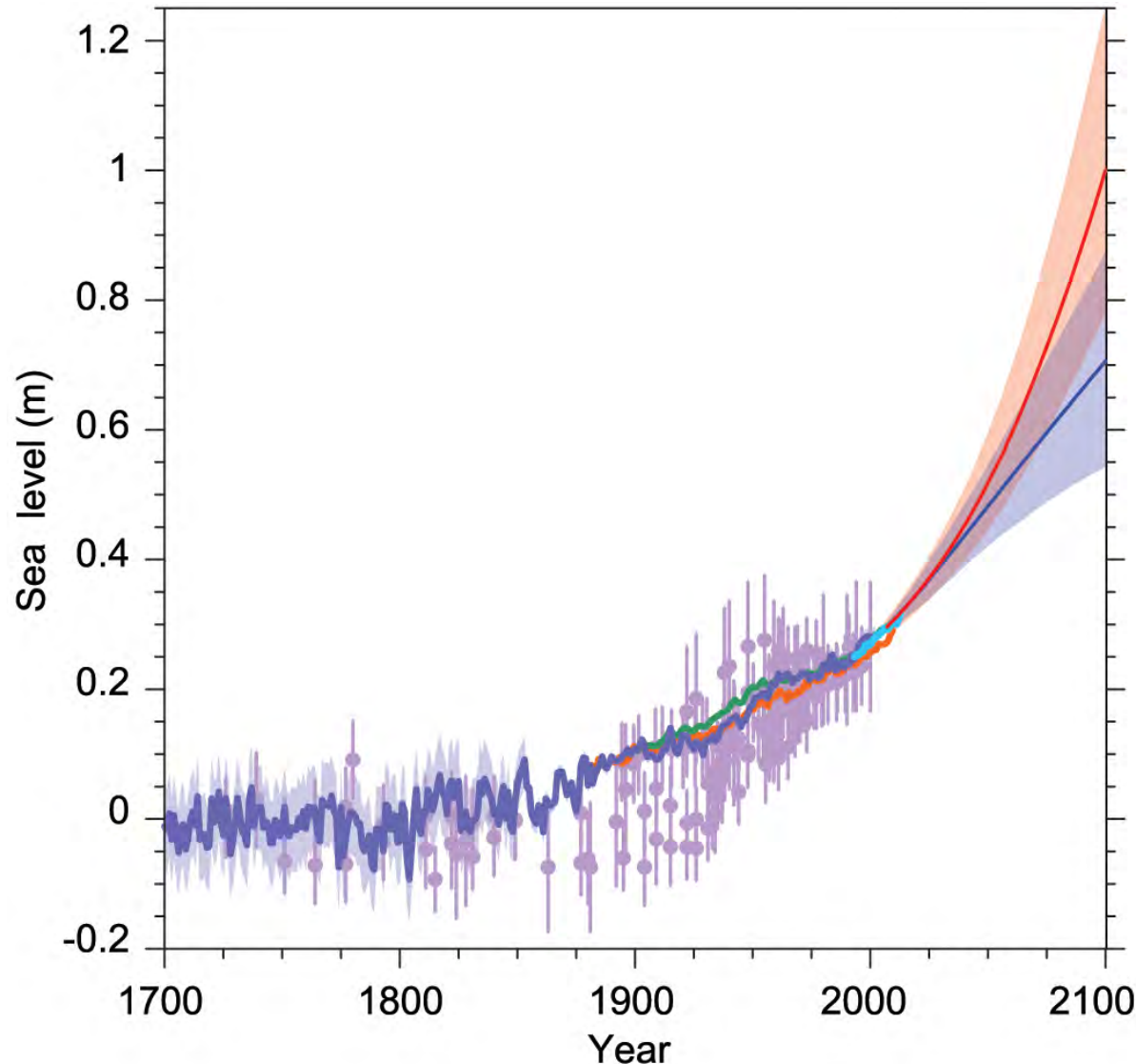
熱の蓄積

海洋の温暖化は気候システムに蓄積されたエネルギーの増加量において卓越しており、1971年から2010年の間に蓄積されたエネルギーの90%以上を占める。

エネルギー増加量の60%以上は海洋の表層(0~700m)に蓄積されている。



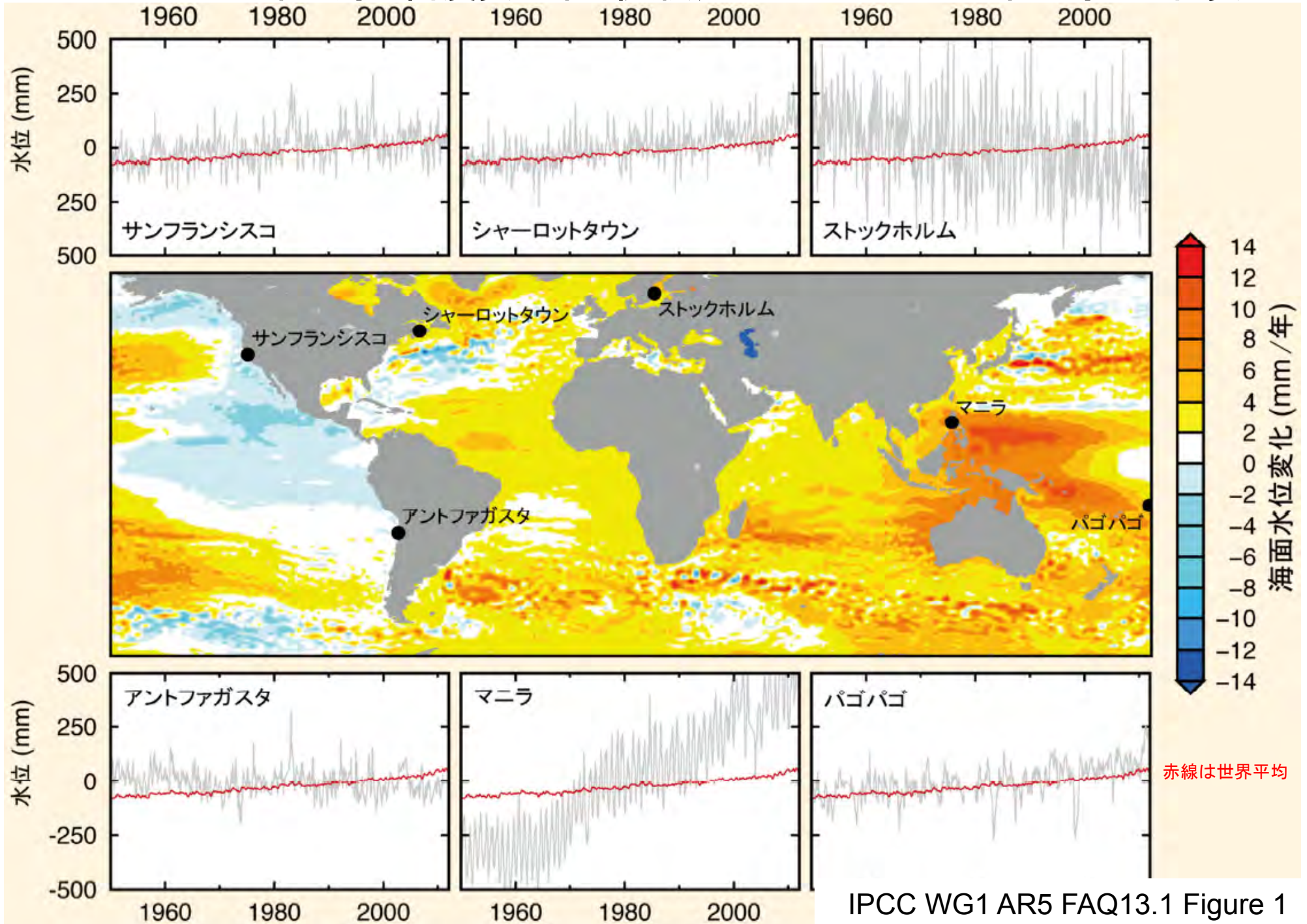
海面水位の古記録、潮位計、高度計の観測値 ならびにRCP2.6とRCP8.5による予測



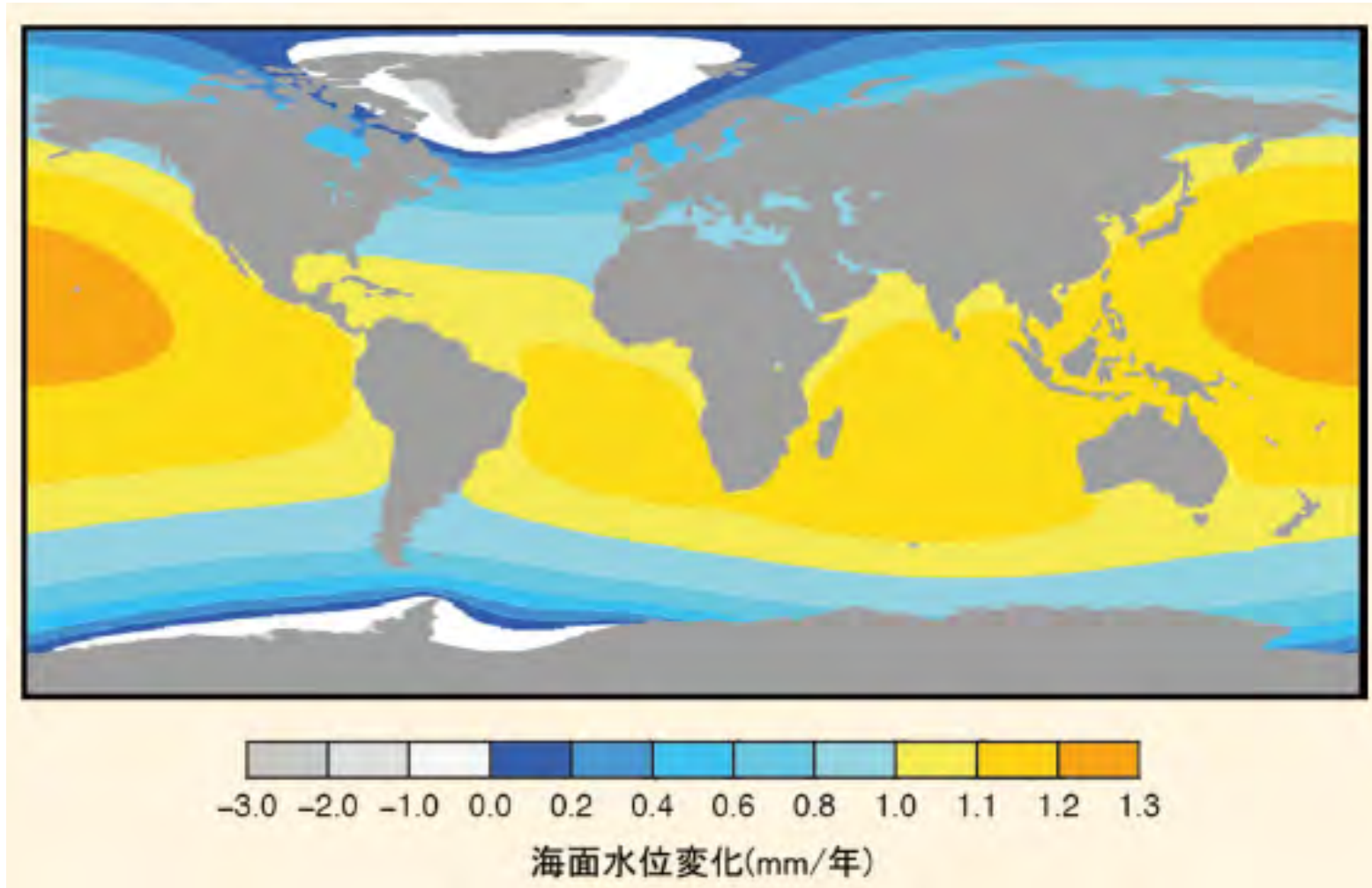
海面水位は、19世紀初頭から20世紀初頭にかけて、過去2千年間にわたる比較的小さな平均上昇率から、より高い上昇率に移行した。世界平均海面水位の上昇率は20世紀初頭以降増加し続けている。

海洋の熱膨張と氷河の融解が、20世紀の世界平均海面水位の上昇の主な原因だった。

1993～2012年の海面高度変化率と検潮所の1950～2012年の海面水位変化



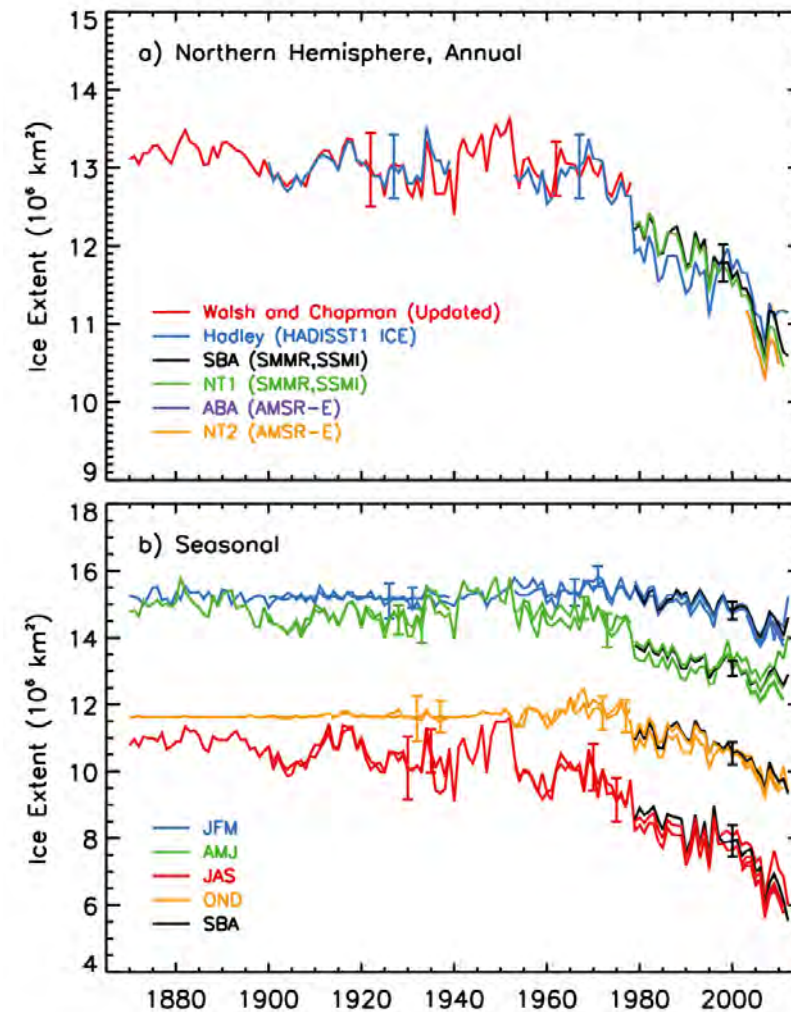
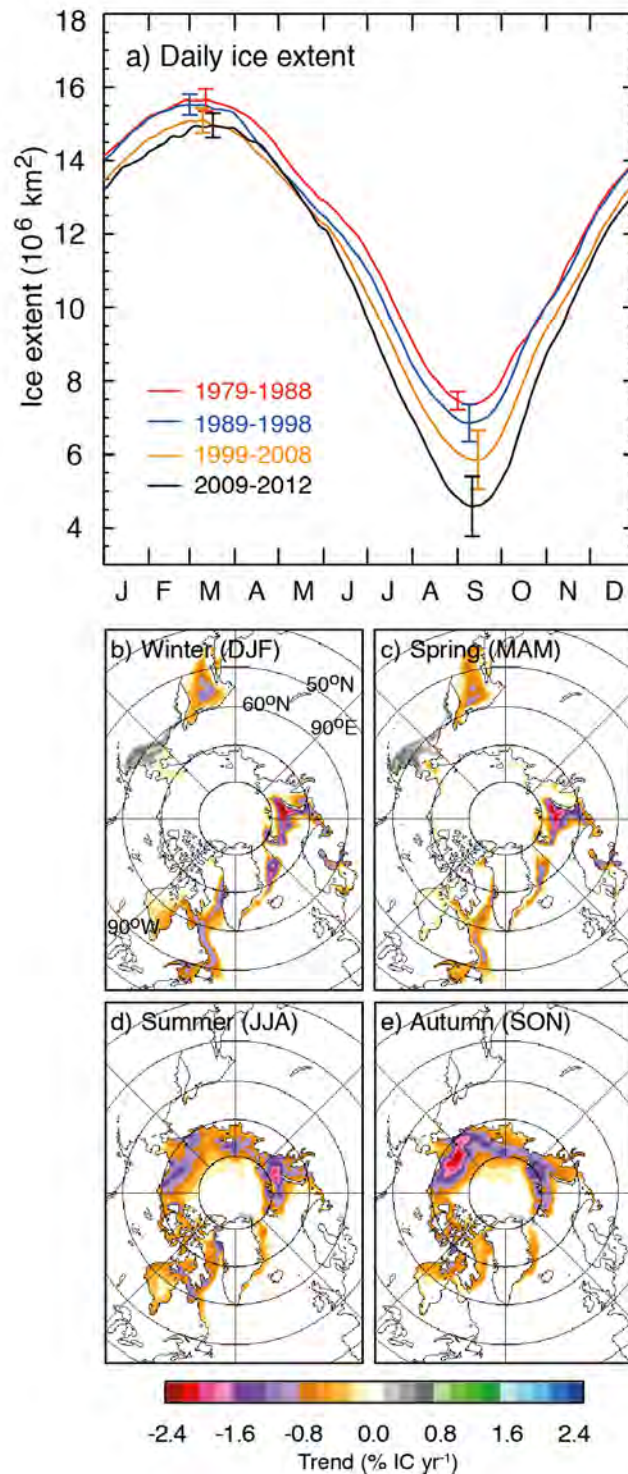
グリーンランドと西南極氷床がそれぞれ1年当たり 0.5 mm融解した場合の相対的海面水位変化



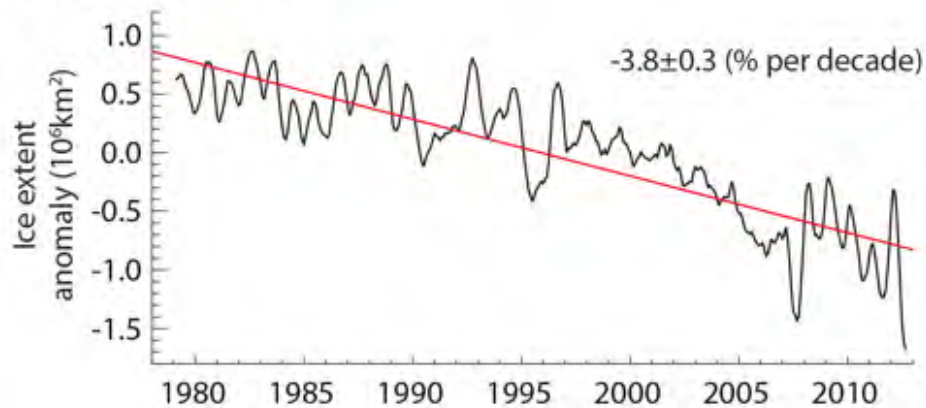
融解した氷床に近い地域では世界平均値よりも小さいが、
遠く離れると大きくなる

海水

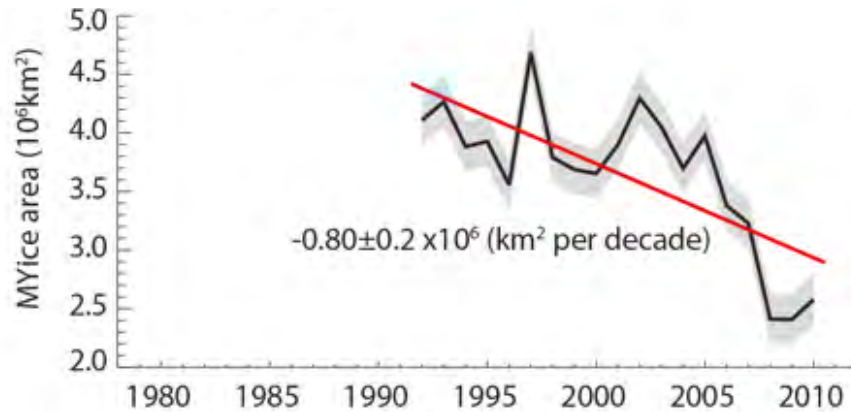
北極海の海水は減少し続けている。
夏季に最も急速に減少が進んでいる。



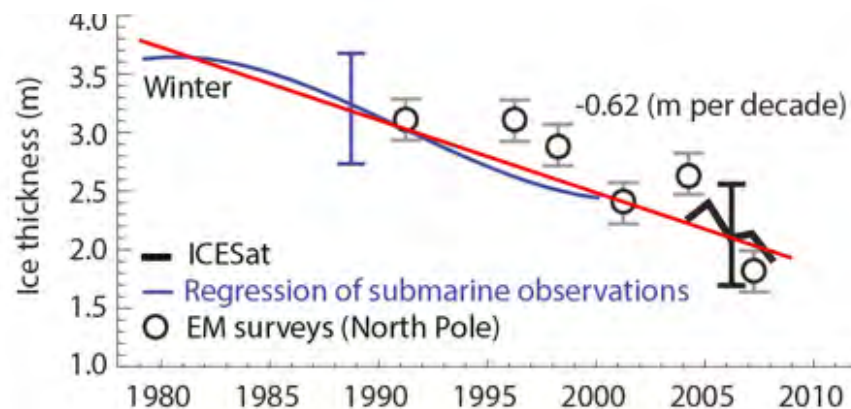
年平均海水面積偏差



多年氷面積



海水厚



海水

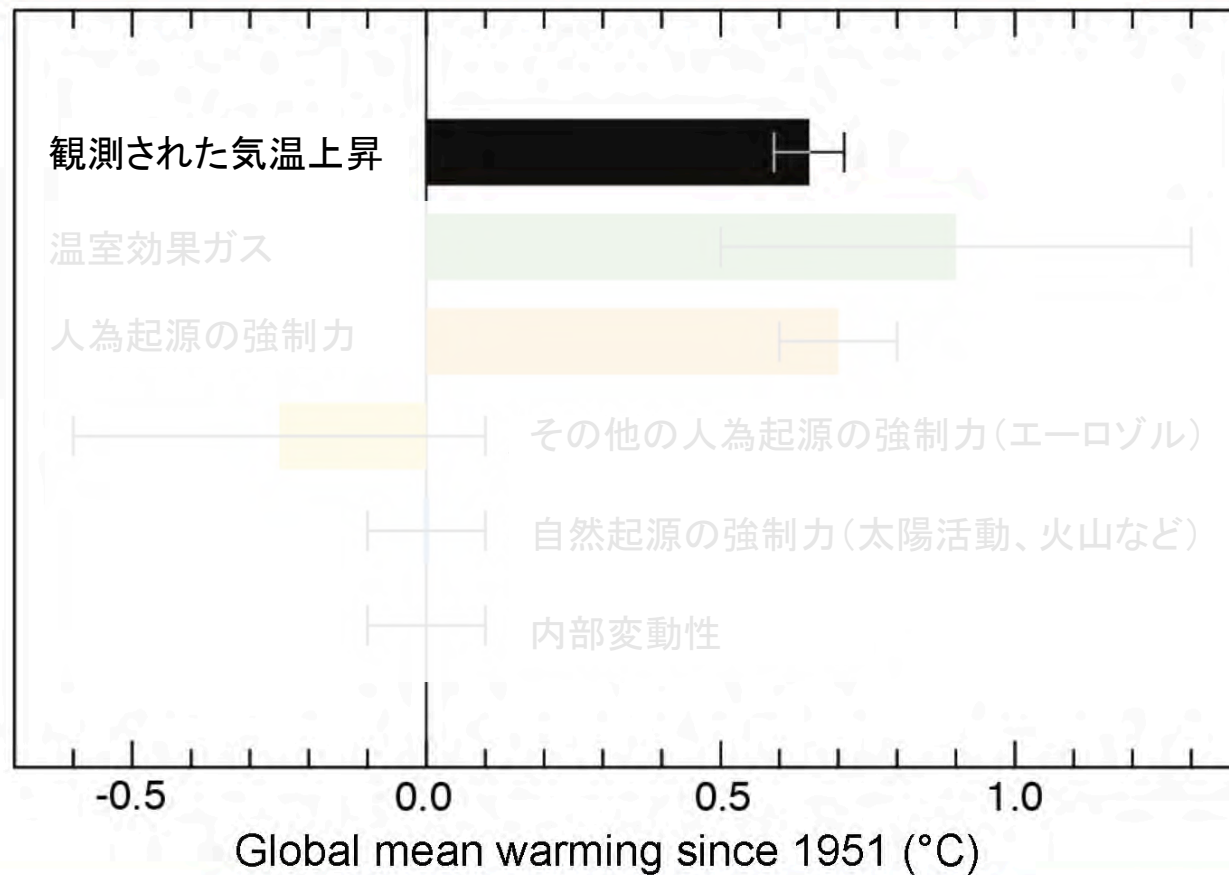
北極域の越年氷及び多年氷の面積は、1979年から2012年の期間にわたって減少した。

北極海盆における冬季の平均氷厚は、1980年から2008年の間に減少した。

1979～2012年の期間に、北極域の越年氷の毎年の表面融解期間は10年当たり5.7日長くなっている。

理解

なぜ変わったか？



© IPCC 2013

Fig. TS.10

1951年から2010年の期間に観測された地上気温変化は約0.6～0.7℃である

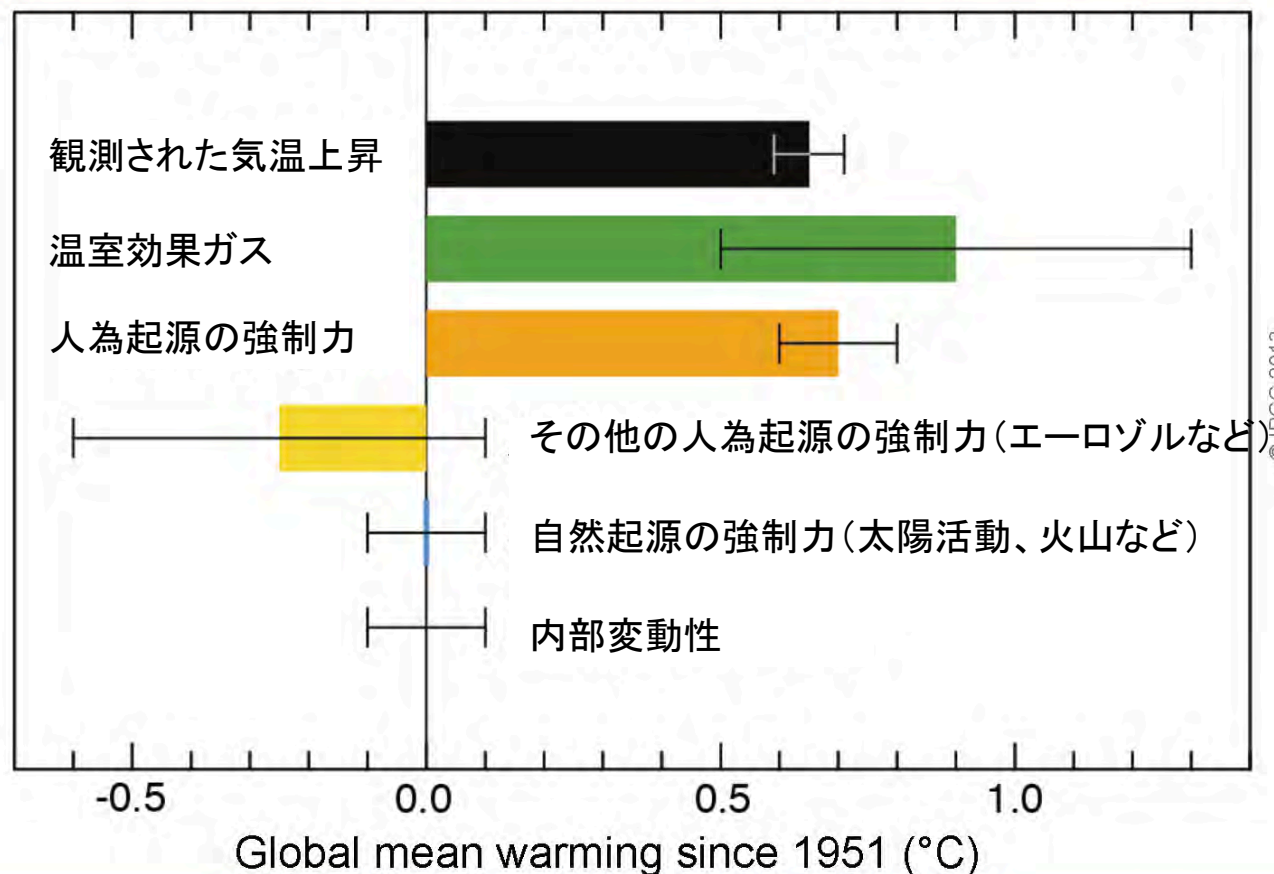
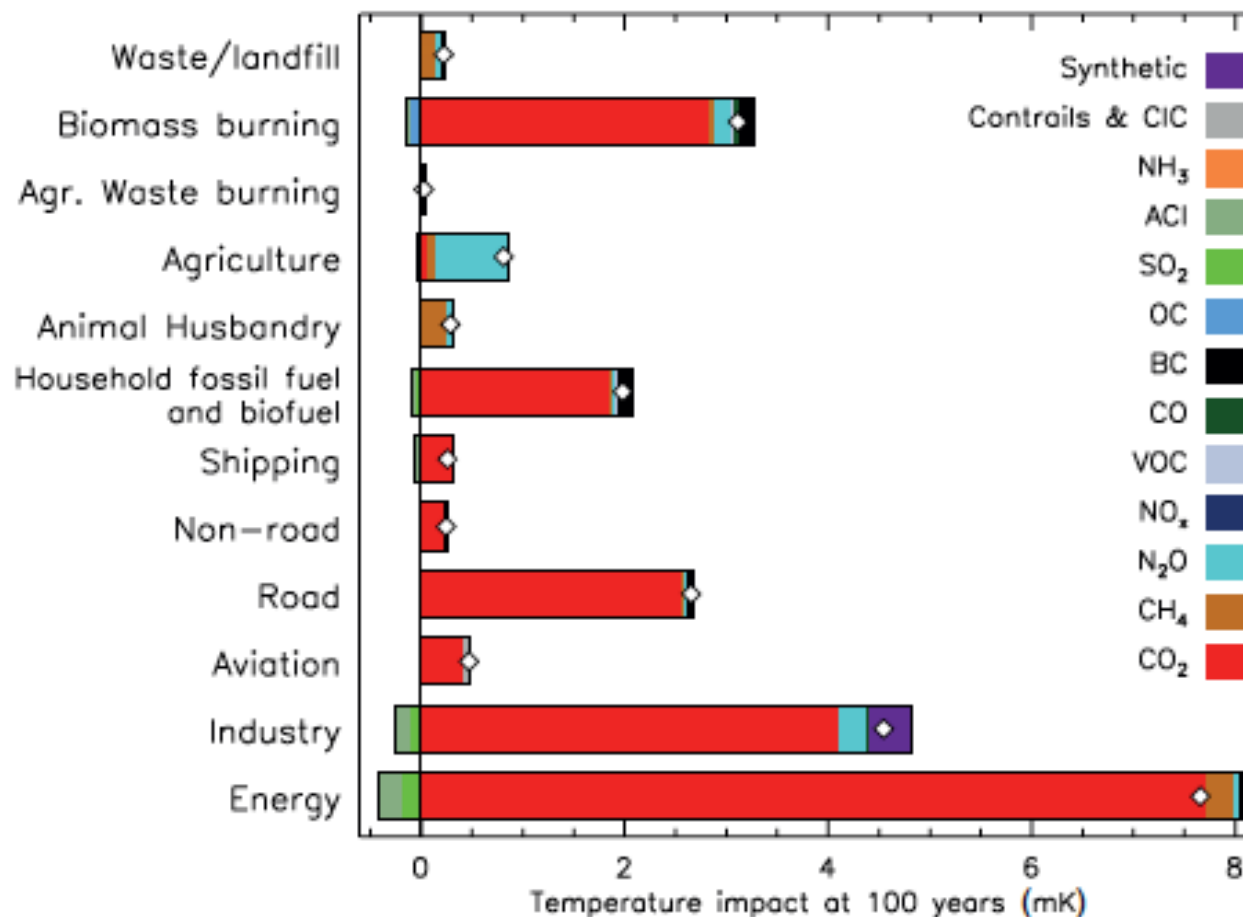


Fig. TS.10

人間による影響が20世紀半ば以降に観測された温暖化の 主要な原因であった**可能性が極めて高い**

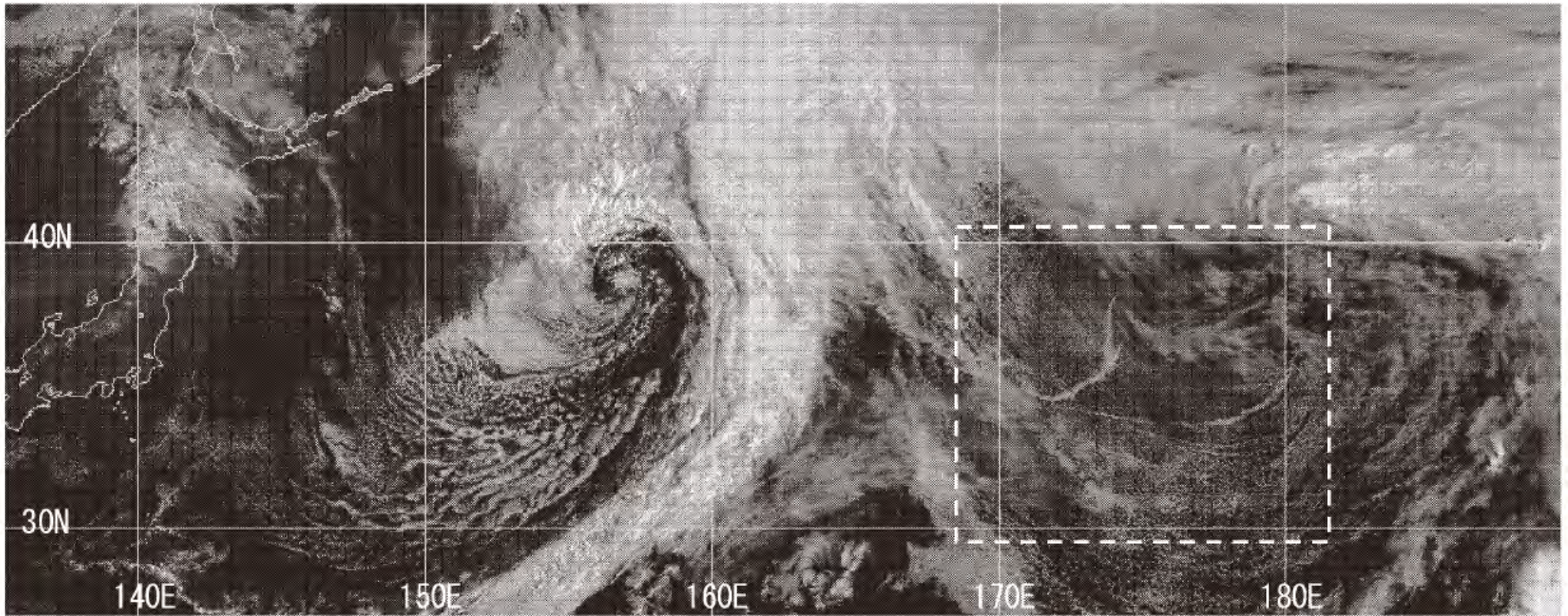
1951年から2010年の世界平均地上気温の観測された上昇の半分以上は、温室効果ガス濃度の人為的増加とその他の人為起源強制力の組合せによって引き起こされた**可能性が極めて高い**。温暖化に対する人為起源の寄与の最良の見積もりは、この期間において観測された温暖化と同程度である。

全球気温変化に対するセクター別インパクト



- ・エネルギー及び工業部門による排出量は最大の寄与因子。
- ・家庭における化石燃料やバイオ燃料、バイオマスの燃焼、道路交通も、温暖化に比較的大きく寄与する。
- ・短期的(最大20年)には農業などのメタン排出部門も重要。
- ・海運は短期的な SO_2 排出が大きい。

航跡雲(ship trails)



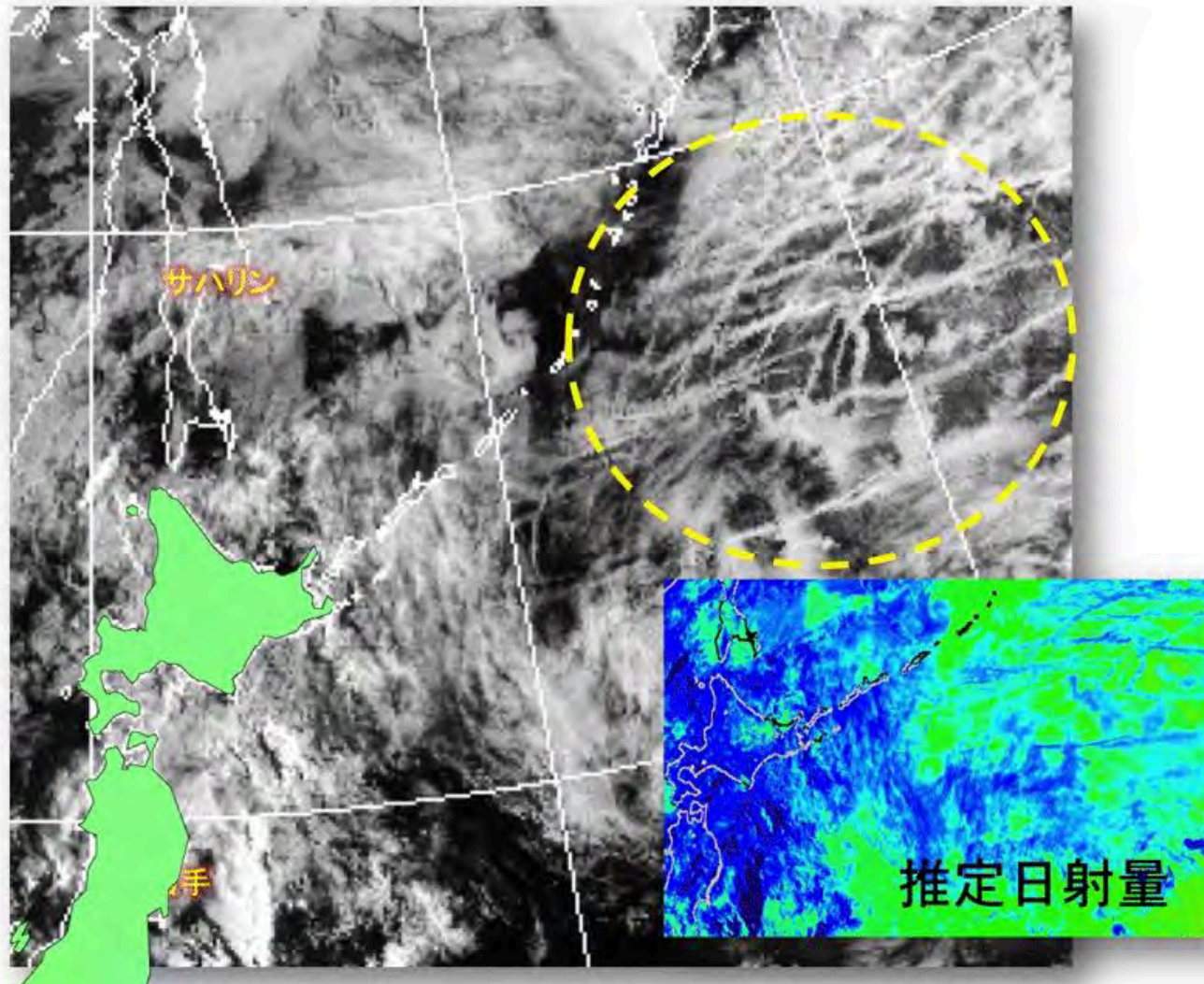
第1図 2011年4月13日07時（日本時間）の可視画像。

飛行機雲と似ているが、より大規模で長時間持続する

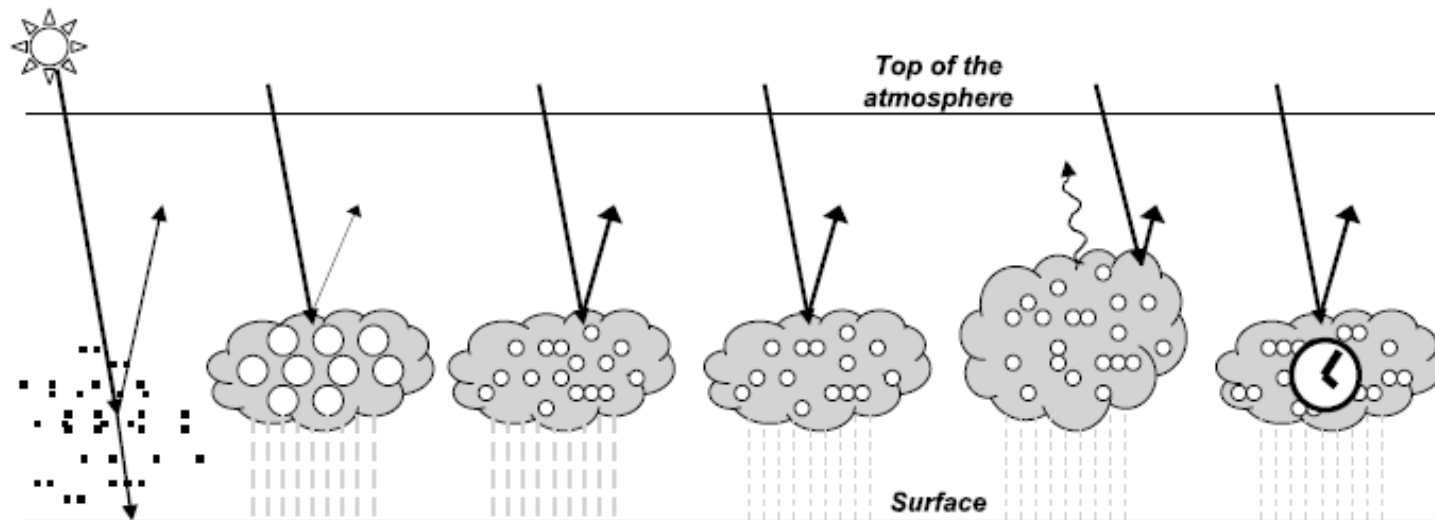
航跡雲(ship trails)

船舶から排出されるエアロゾルによる間接効果

2013/7/28 7:00 JST



エアロゾルの気候への効果



複雑で
不確実性が
大きい

エアロゾルが日射を散乱

雲の反射率が変わる

雲の寿命が変わる

エアロゾル濃度

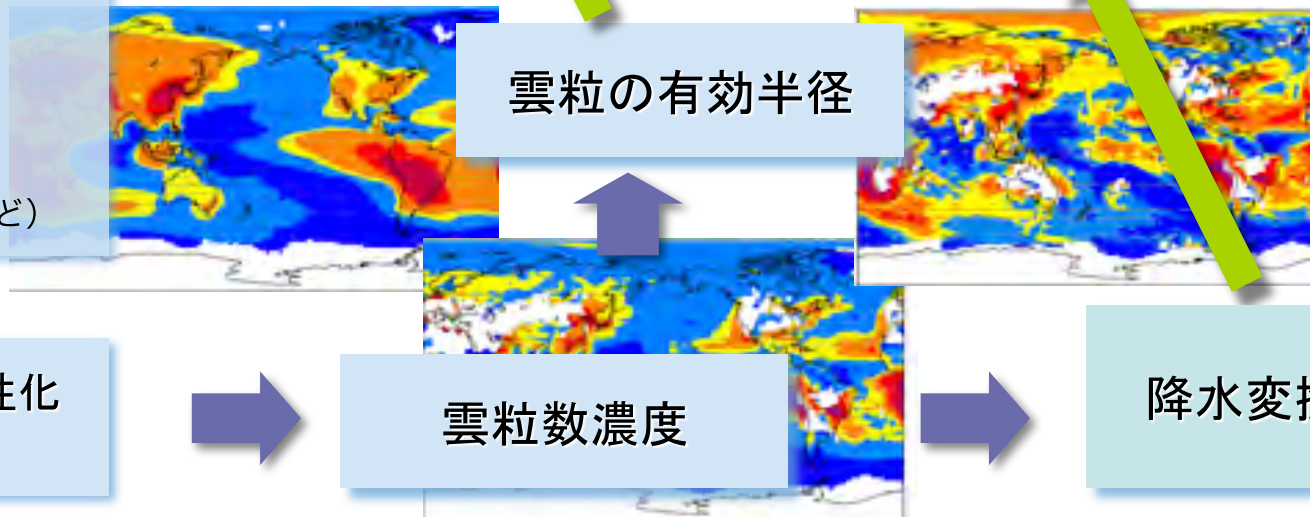
- 硫酸 (SO_x+DMS)
- 黒色炭素／煤 (BC)
- 有機炭素 (OC)
- 海塩 (Sea salt)
- 鉱物ダスト (黄砂など)

エアロゾル活性化
→凝結核

雲粒の有効半径

雲粒数濃度

降水変換効率



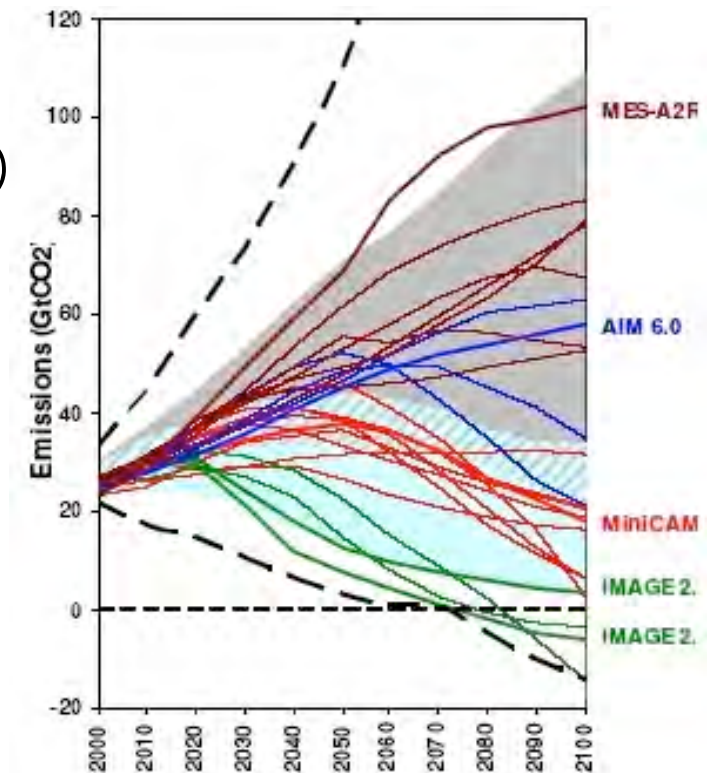
将来

どう変わるか？

CMIP5シナリオ

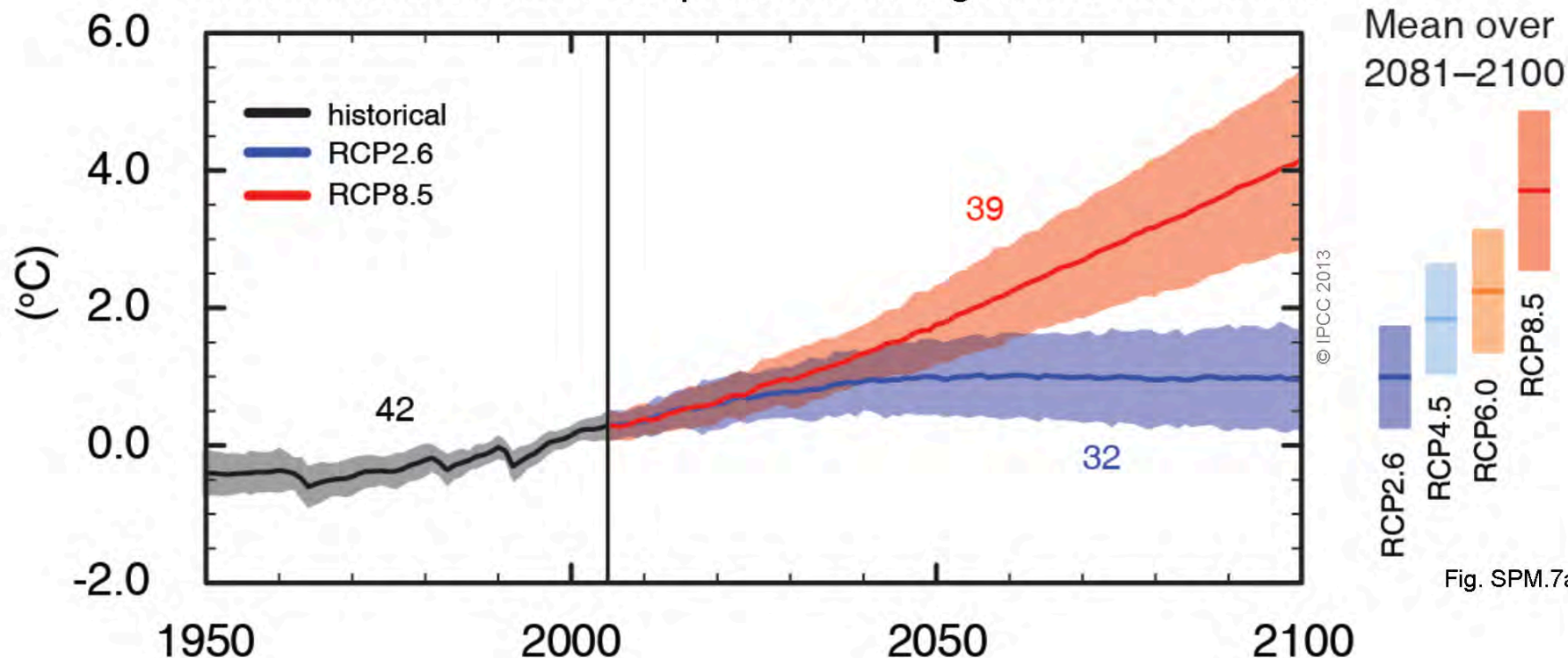
- RCP: Representative Concentration Pathways
- 4シナリオ
 - RCP8.5(CO₂ equiv.~1000ppmに相当)
 - RCP6(同800, 環境研が作成担当)
 - RCP4.5(同650)
 - RCP2.6(同450)(数字は2100年時点の放射強制力W/m²)
- CO₂, エーロゾル, non-CO₂ GHGs の排出・濃度予測データを含む。

CMIP5: 5th Phase of Coupled Modeling Intercomparison Project 第5期結合モデル相互比較実験



地上気温

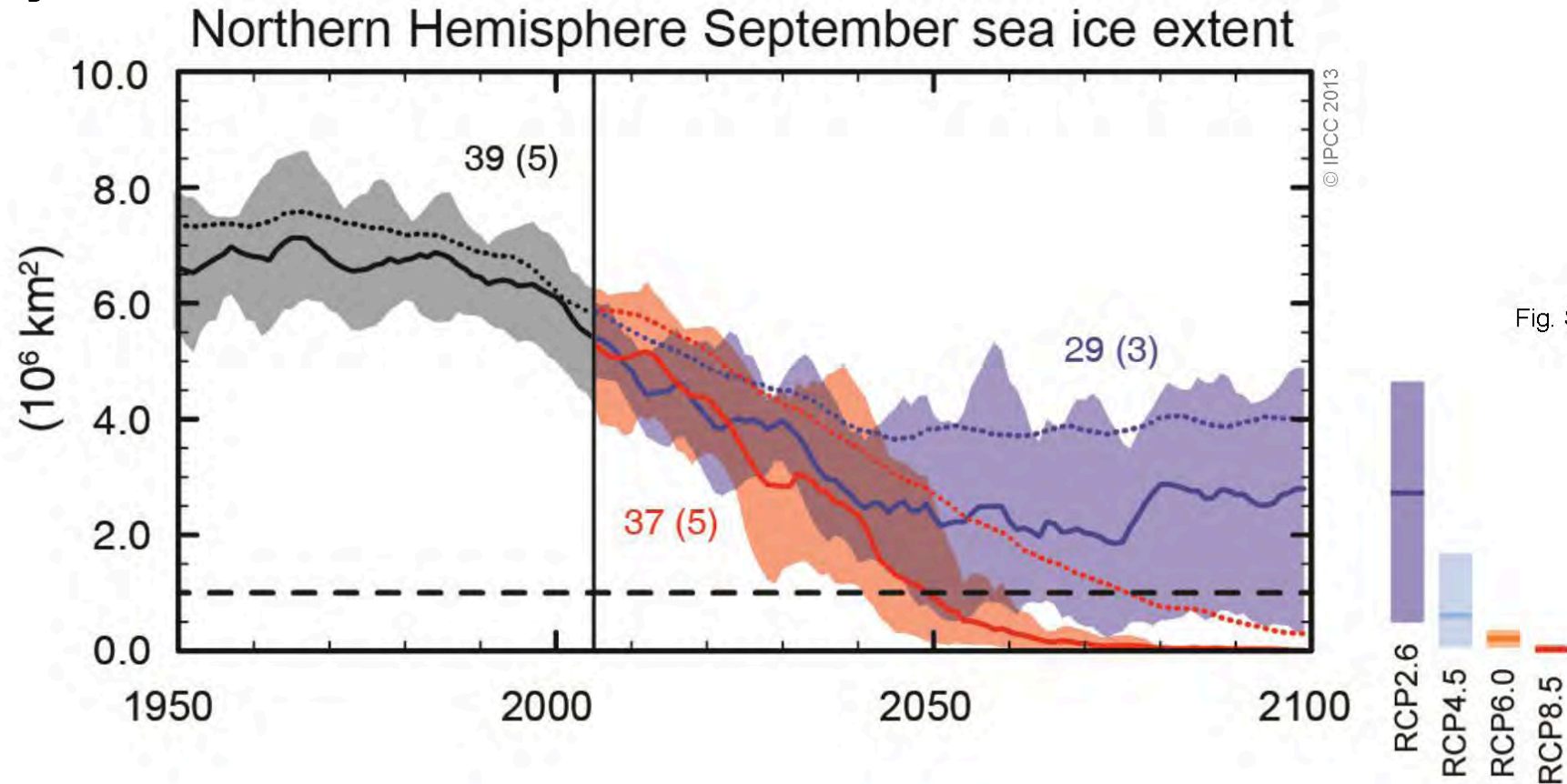
Global mean surface temperature change from 1986-2005



21世紀末における世界平均地上気温の変化は、RCP2.6シナリオを除く全てのRCPシナリオで1850年から1900年の平均に対して1.5°Cを上回る可能性が高い。

縦棒は可能性が高い範囲: likely range (= 66%信頼区間)

海氷



RCP8.5シナリオにおいて今世紀半ばまでに9月の北極海で海氷がほとんど存在しない状態となる可能性が高い
(中程度の確信度)

予測される海洋の長期変化

21世紀にわたって、世界の海洋は全てのRCPシナリオにおいて温暖化するだろう。亜熱帯と熱帯域の海面において、最も強い海洋の昇温が予測されている。より深い部分では、南極海で最も顕著な昇温が予測されている。

海洋の昇温の最良の推定値は、21世紀末までに水深100mまでで約 0.6°C (RCP2.6) ~ 2.0°C (RCP8.5)、水深約1kmで約 0.3°C (RCP2.6) ~ 0.6°C (RCP8.5)となっている。

RCP4.5シナリオにおいては、21世紀末までに、海洋に吸収されるエネルギーの半分が水深700m以浅、85%が水深2000m以浅において取り込まれる。この表層から深層への熱輸送は時間スケールが長いため、GHG排出量が減少するか又は濃度が一定に保たれたとしても、海洋の昇温は数世紀にわたり続き、結果として海面水位の上昇に寄与し続けるだろう。

海面水位

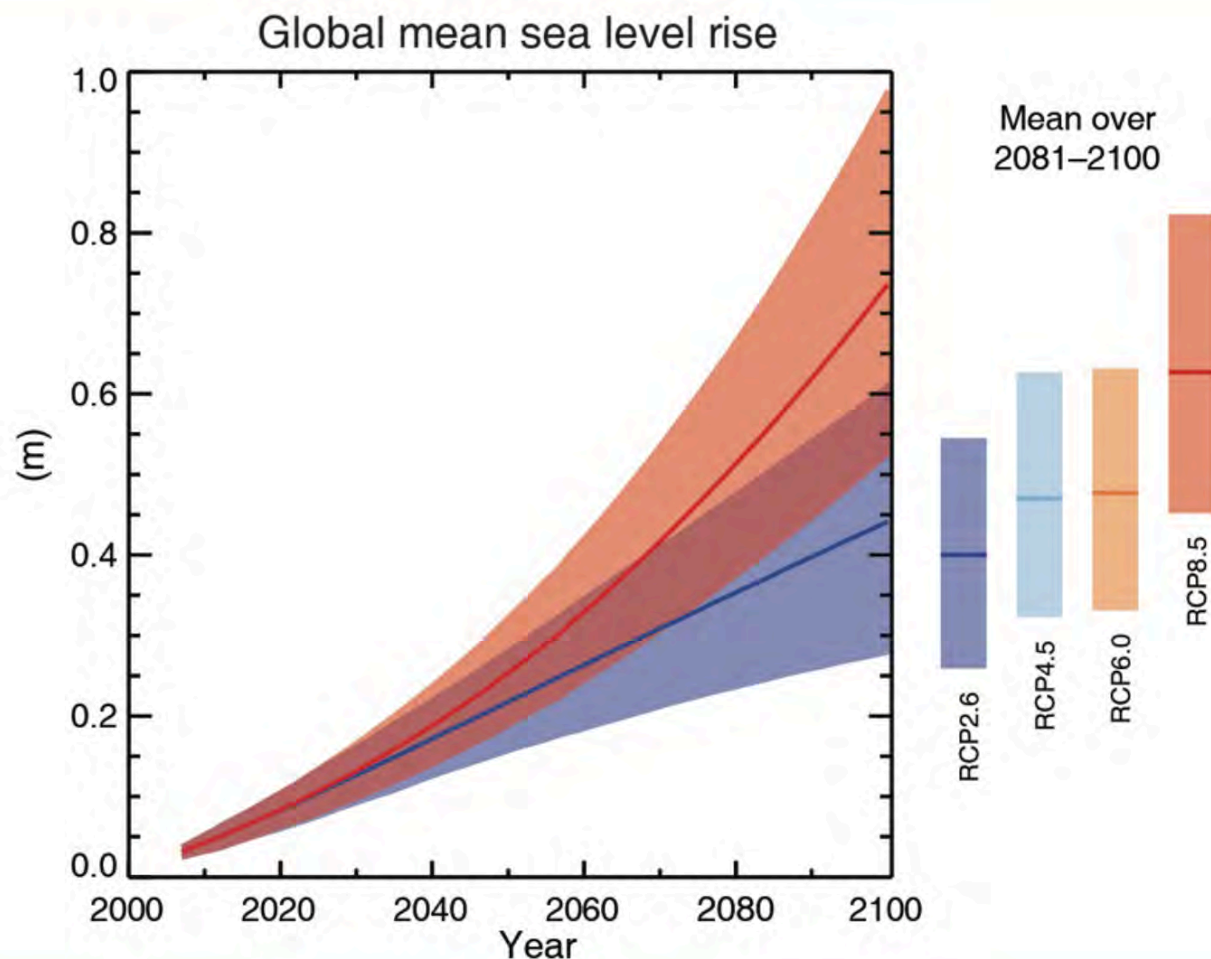


Fig. SPM.9

21世紀の間、世界平均海面水位は上昇を続けるだろう。
また、2100年を超えてもほぼ確実に上昇を続けるだろう。

RCP2.6 (2081～2100), 可能性の高い範囲: 26～55cm

RCP8.5 (2081～2100), 可能性の高い範囲: 45～82cm

海洋酸性化

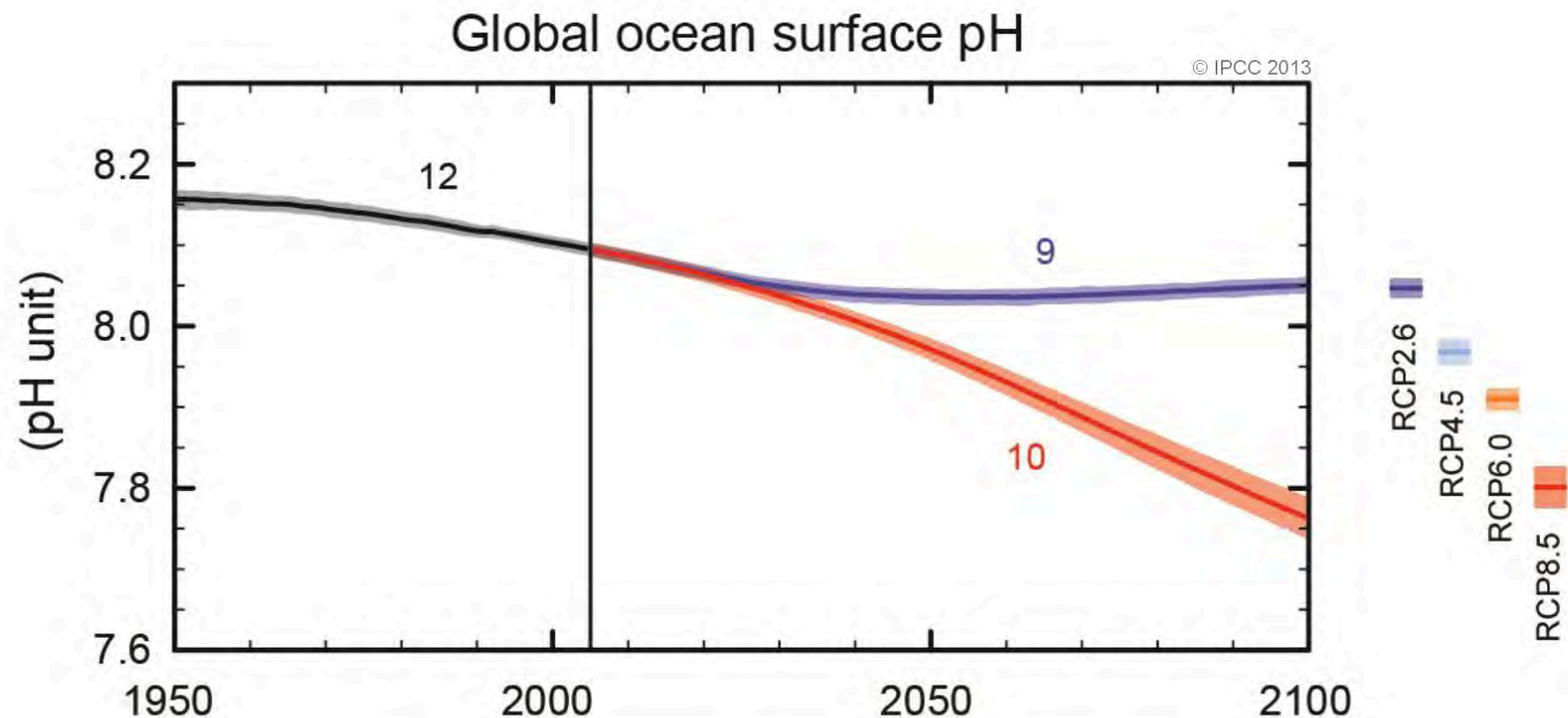


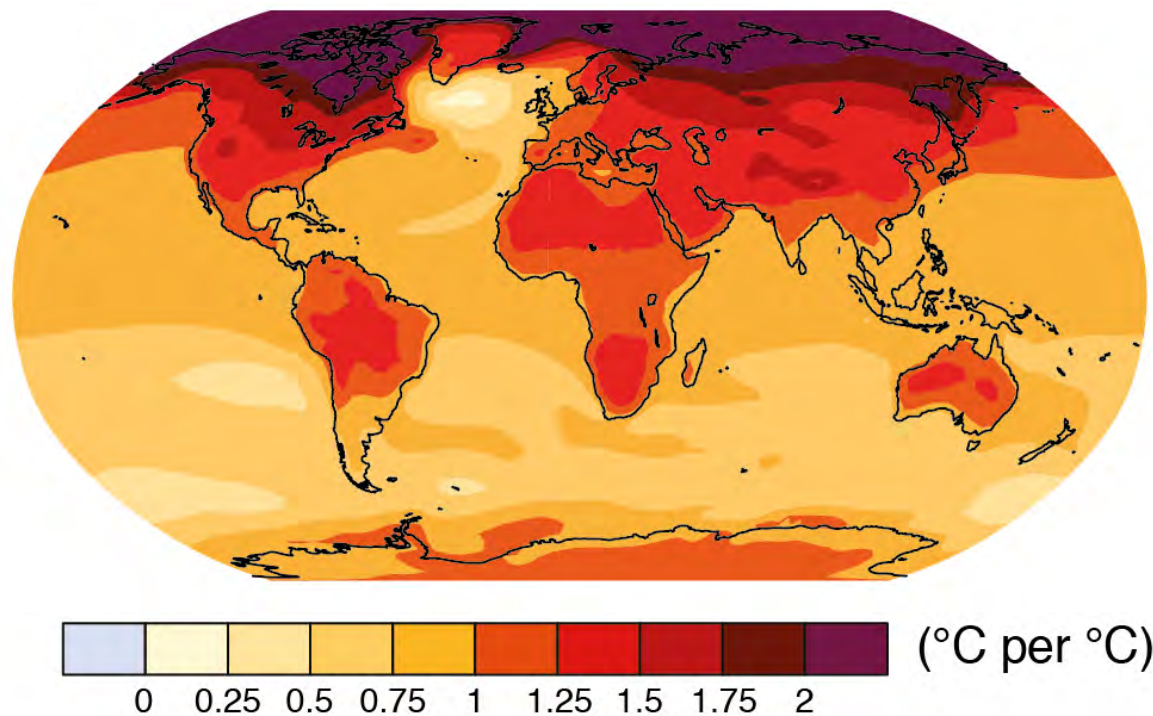
Fig. SPM.7

海洋のさらなる炭素吸収により、海洋酸性化が進行するであろう

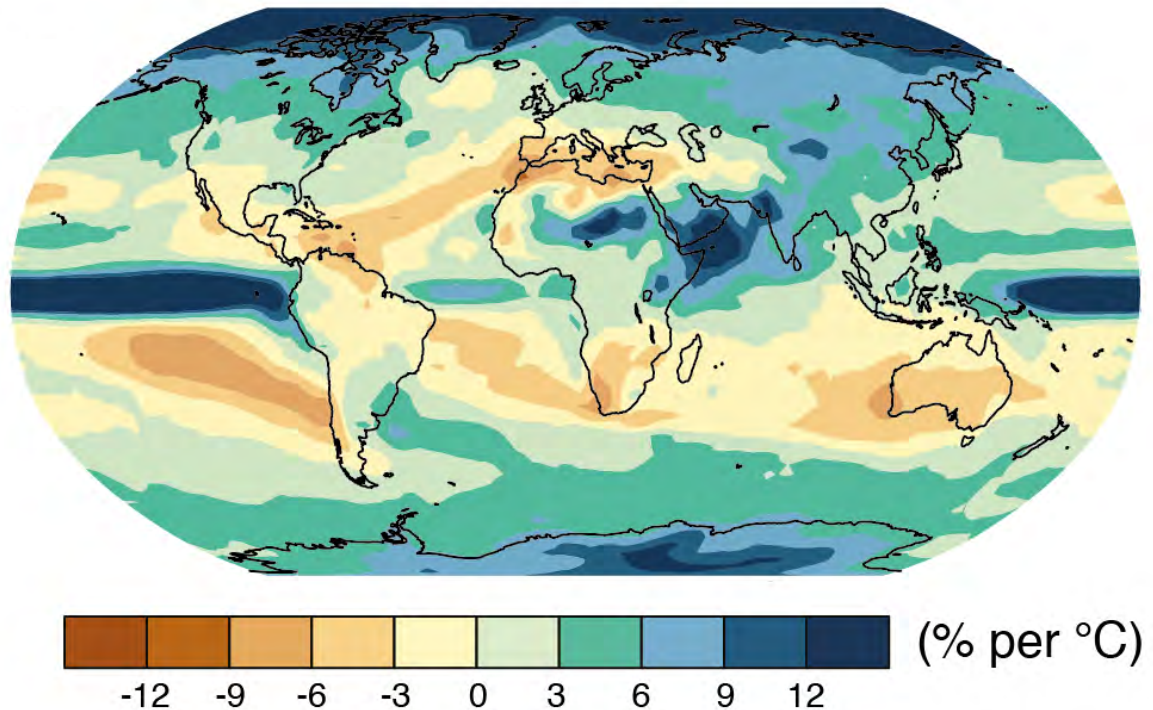
RCP2.6 (2081～2100) : $-0.06 \sim -0.07$

RCP8.5 (2081～2100) : $-0.30 \sim -0.32$

地上気温と降水量

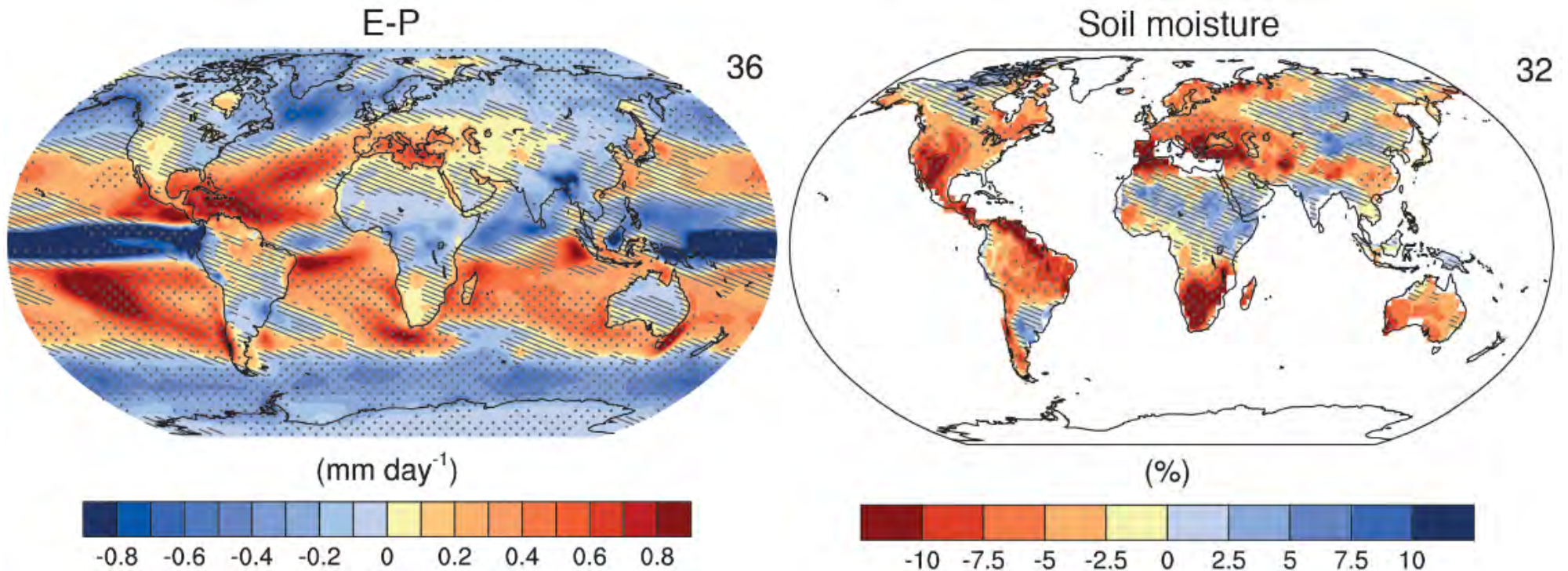


北極域は世界平均より速く温暖化し、陸上における平均的な温暖化は海上よりも大きくなるだろう。



高緯度域と太平洋赤道域および多くの中緯度の湿潤地域では、今世紀末までに年平均降水量が増加する可能性が高い。中緯度と亜熱帯の乾燥地域の多くでは年平均降水量が減少する可能性が高い。

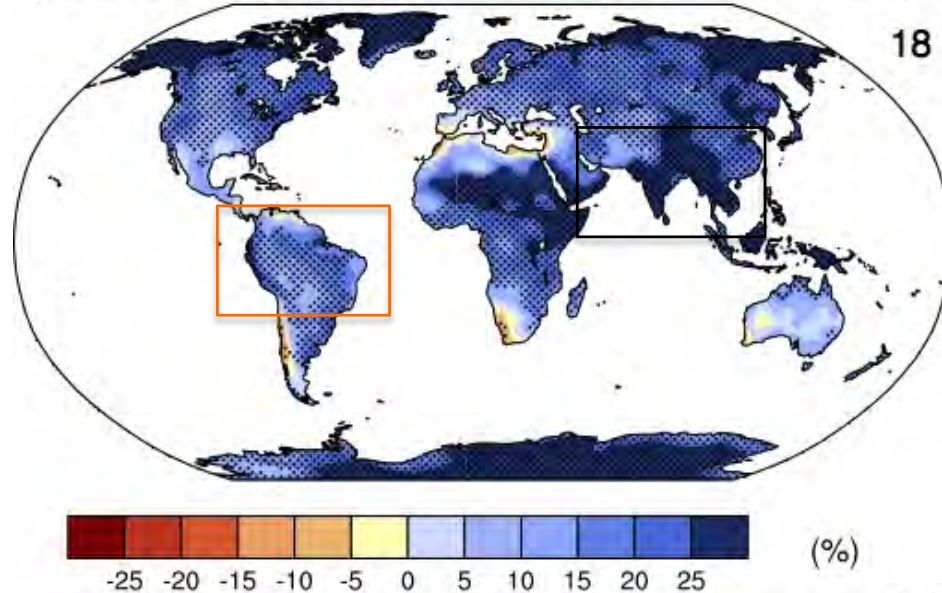
水循環の変化



21世紀にわたる温暖化に対する世界の水循環の変化は一様ではないだろう。地域的な例外はあるかもしれないが、湿潤地域と乾燥地域、湿潤な季節と乾燥した季節の間での降水量の差異が増加するだろう。

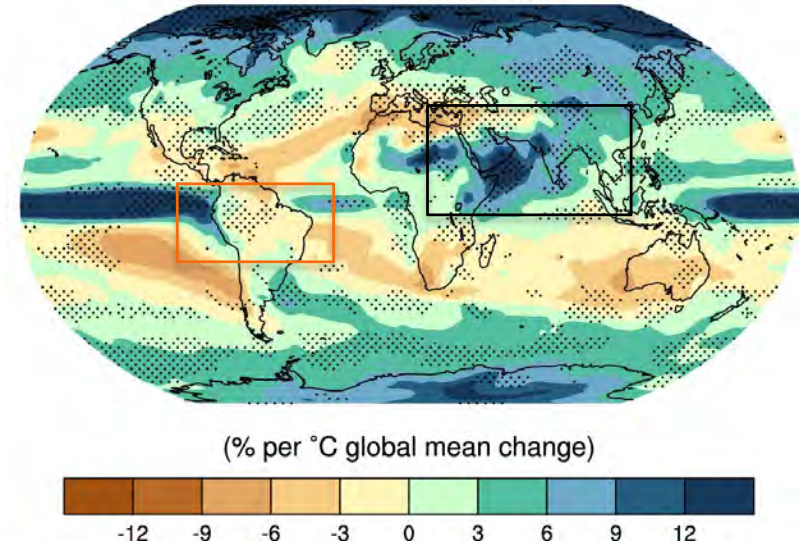
極端な降水量の変化

b) max. 5 day precip RCP8.5: 2081-2100



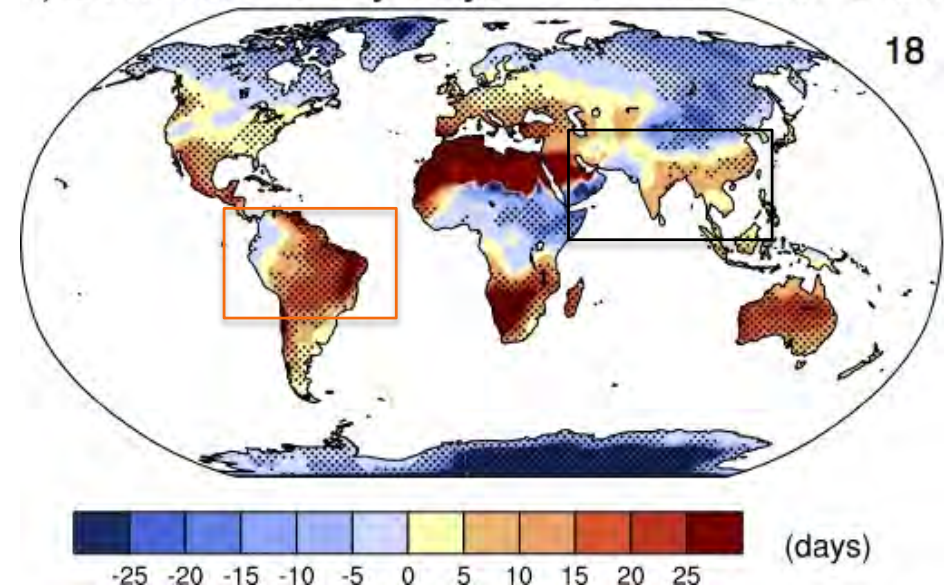
Annual Precipitation

CMIP5 : 2081-2100

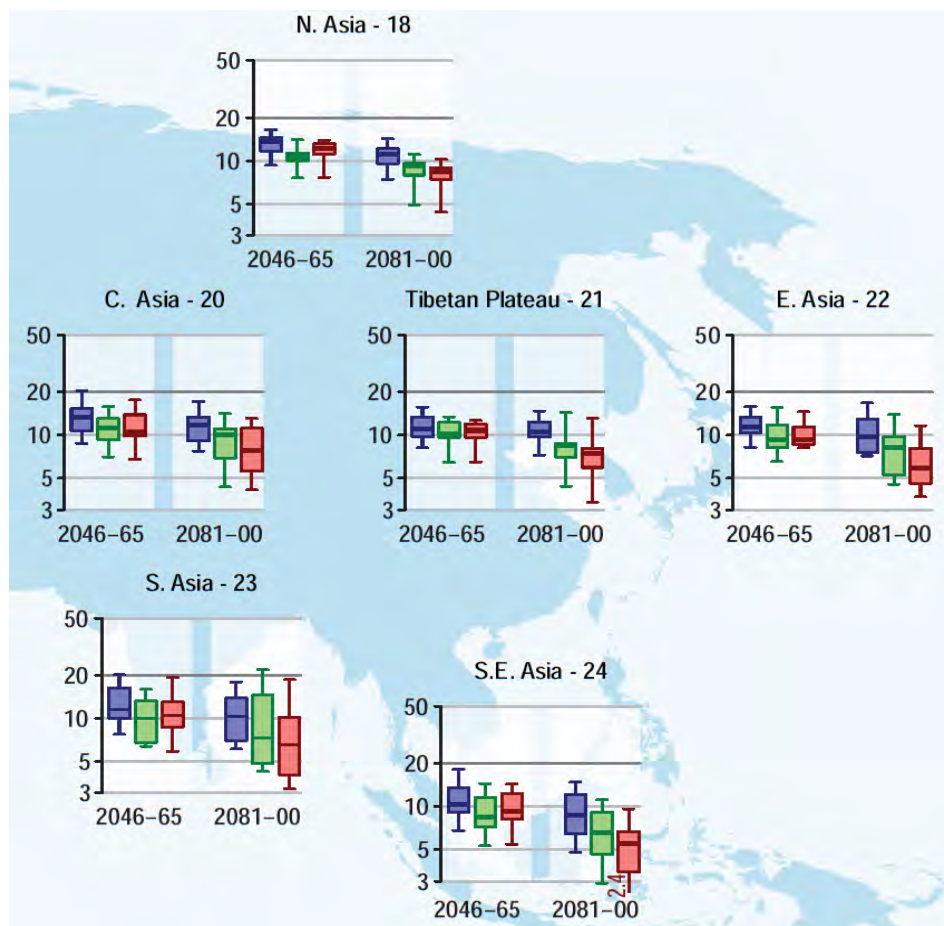


中緯度の陸域のほとんどと湿潤な熱帯域において、今世紀末までに極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高い。地域規模から地球規模で、干ばつの強度や持続期間が増加する可能性が高い。

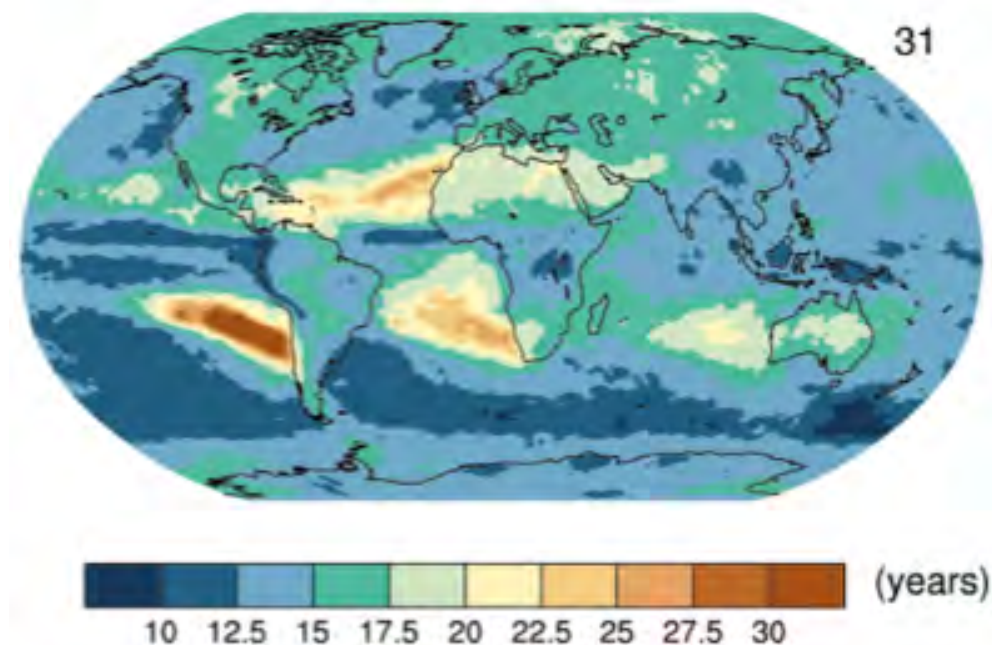
c) Consecutive Dry Days RCP8.5: 2081-2100



年最大日降水量(20年確率値)の変化

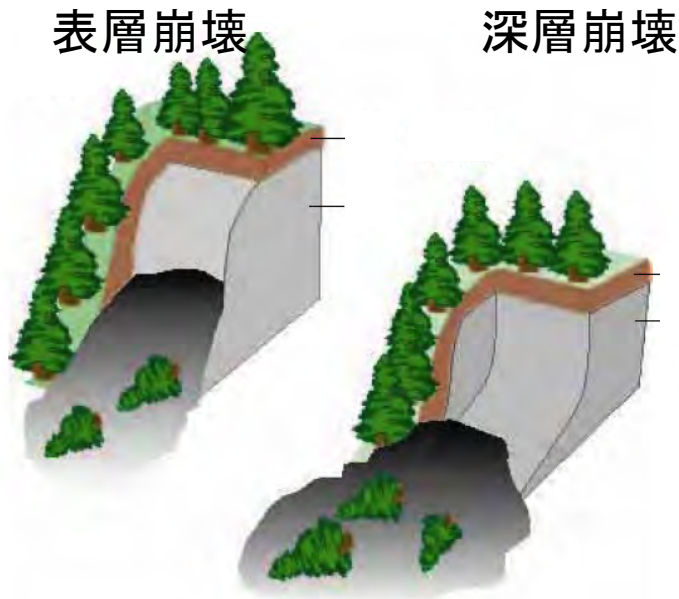


RP for present day 20-yr RV of daily precipitation under 1°C warming



- CMIP5モデル中央値は $+5.3\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (陸上では約 $+4\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
- 1°C の気温上昇で、再現期間が20年→14年に
- これらの変化は湿潤な熱帯域で大きい

表層崩壊・深層崩壊リスクの変化

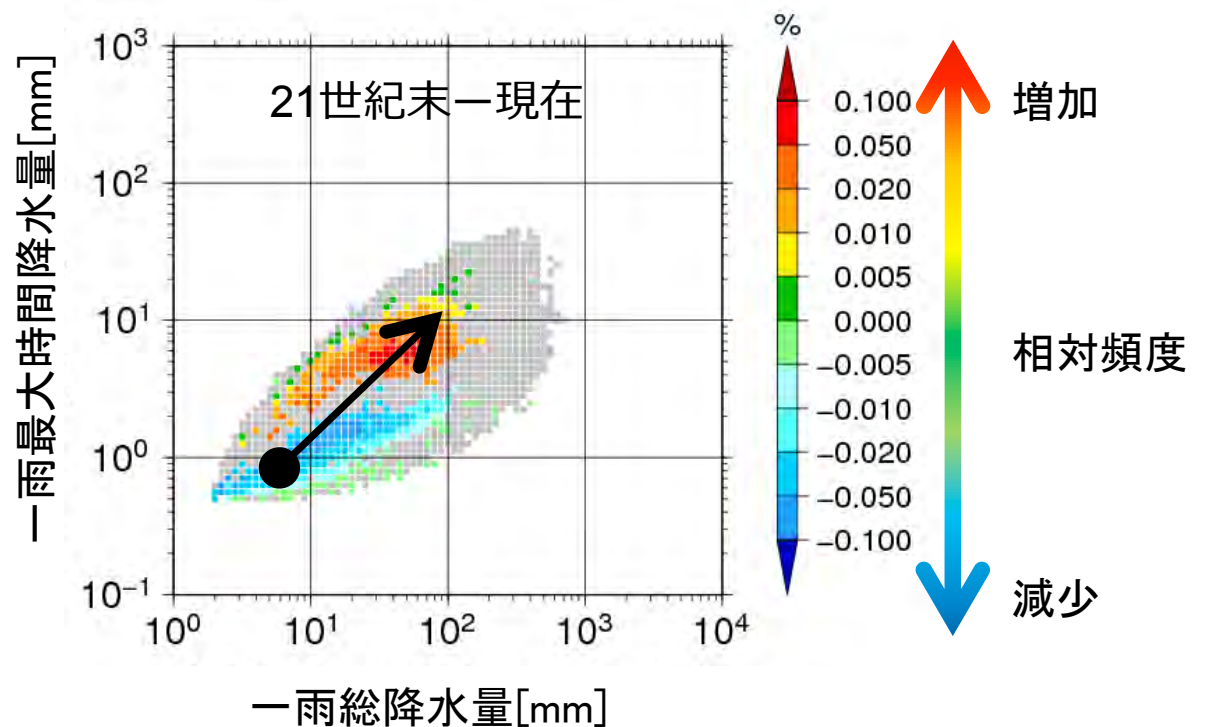


土木研究所報告書 No.4129 (2009)

強い雨(時間降水量)・多い雨(総降水量)の増加



表層崩壊および深層崩壊リスクの増加



Oku and Nakakita (2013)

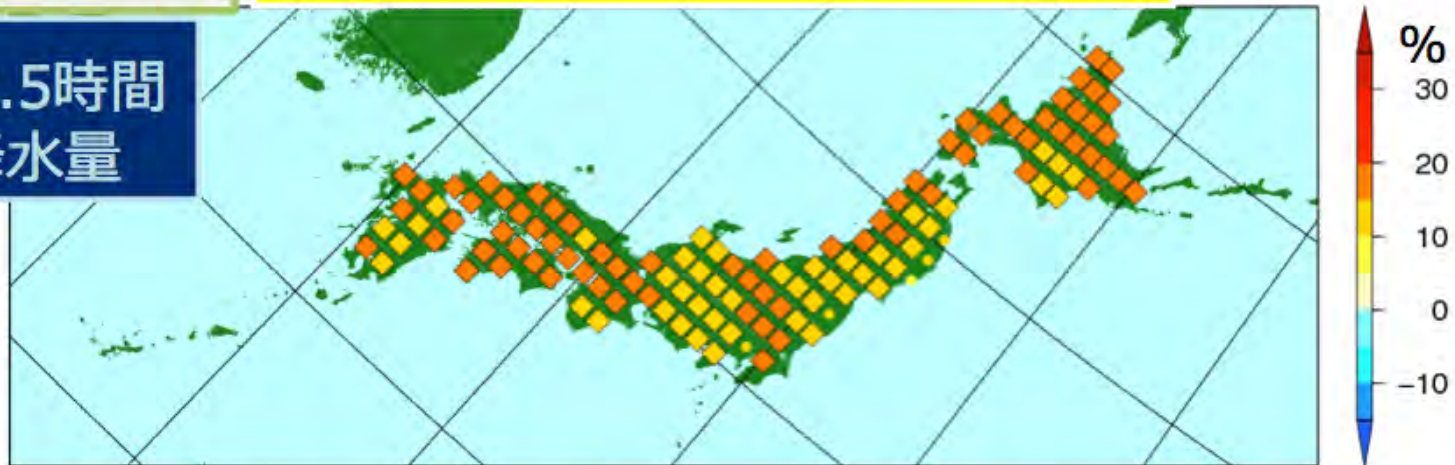
将来(21世紀末)の地すべり・山崩れリスク

表層崩壊リスク

ほとんどの地域で10~20%増える

将来－現在

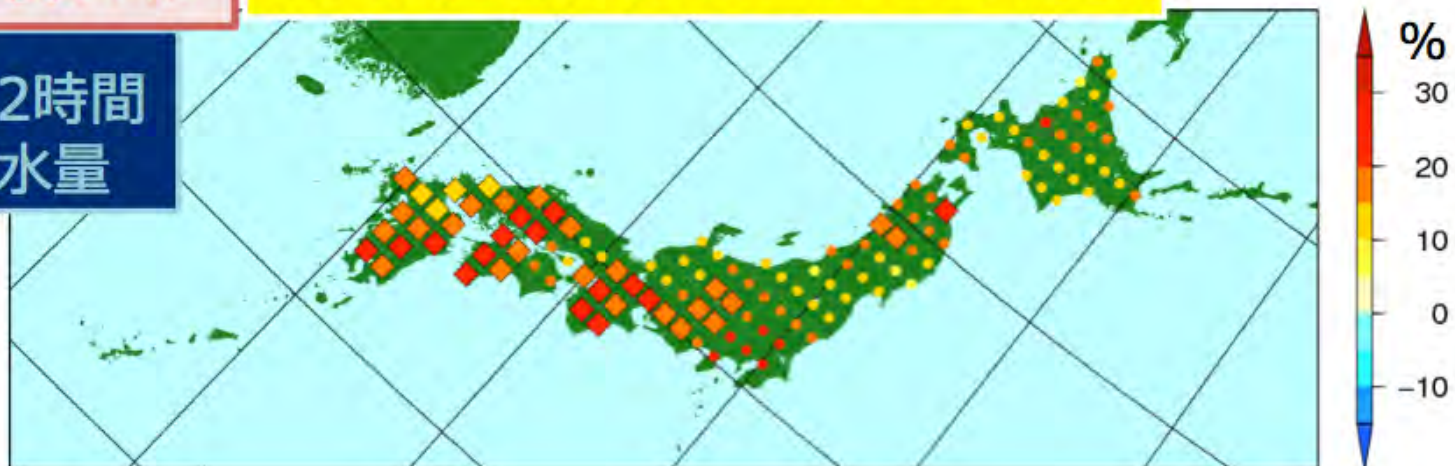
半減期1.5時間
実効降水量



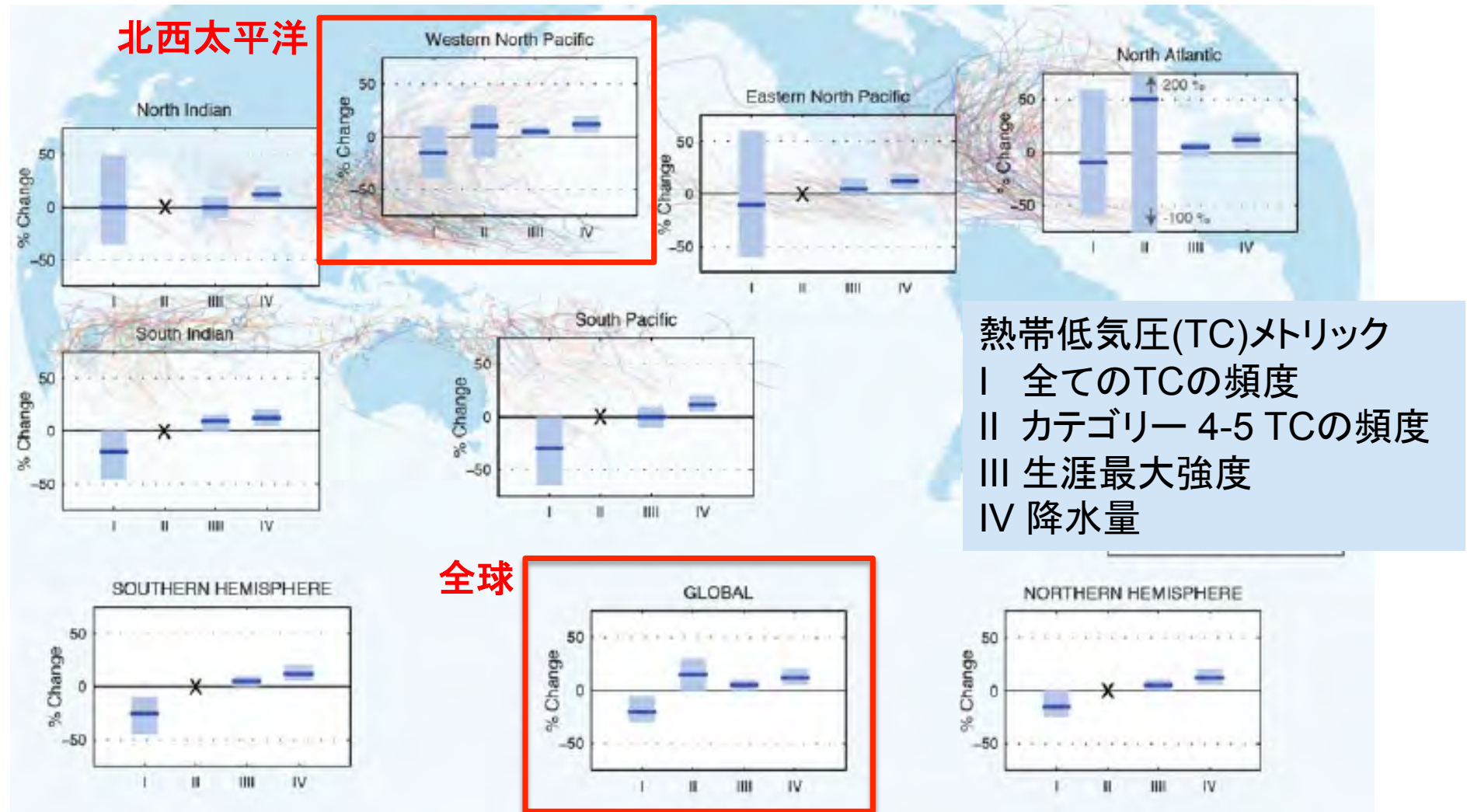
深層崩壊リスク

東海以西と東北で10~20%増える

半減期72時間
実効降水量



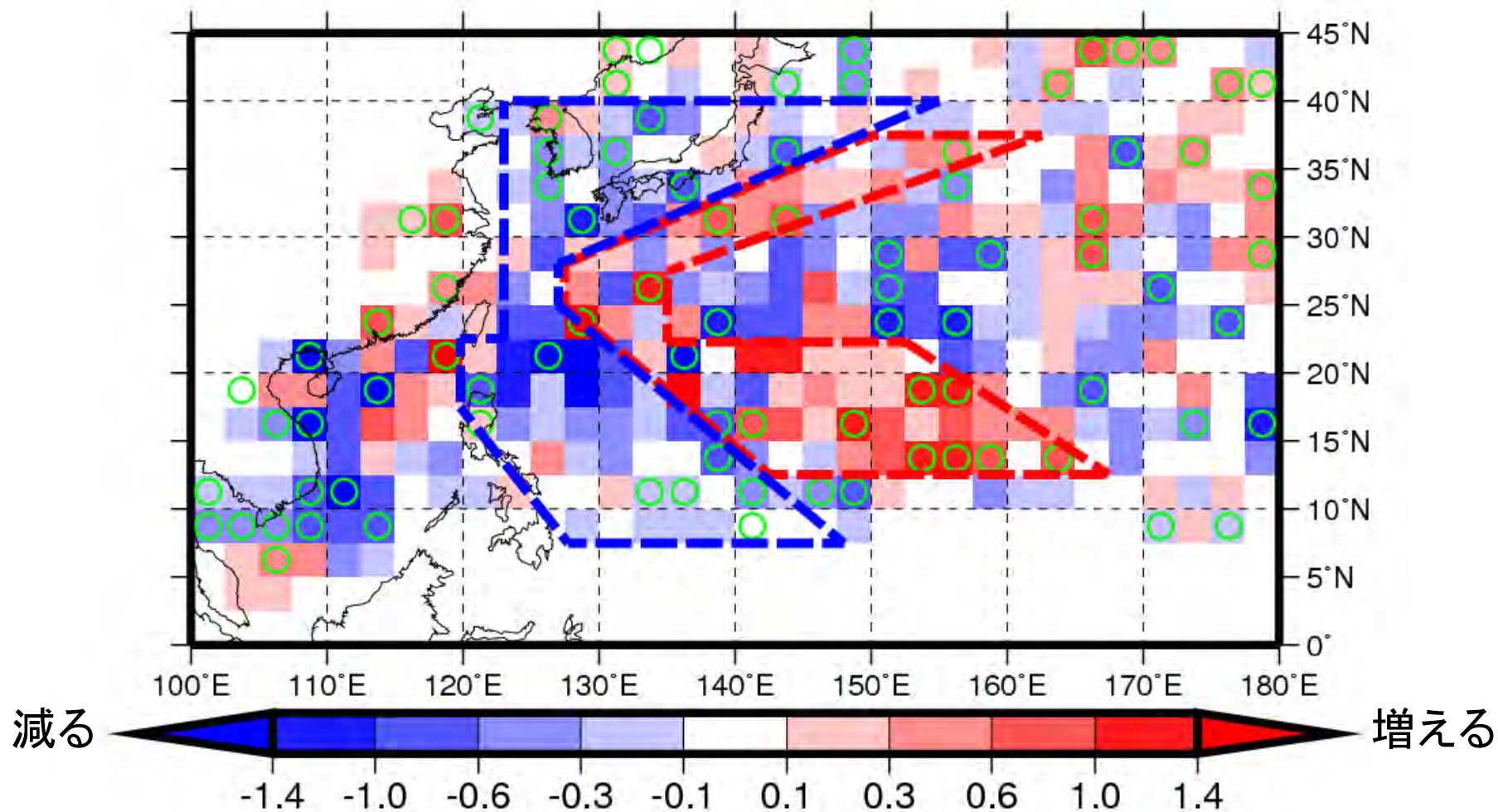
台風など熱帯低気圧の将来変化



全球のTCの数は減少するか変わらないのどちらかの可能性が高い。
全球平均でのTCの最大風速と降水量は、増加する可能性が高い。
強いTCが北西太平洋と北大西洋でどちらかといえば増加するだろう。

台風が存在頻度は東へシフト

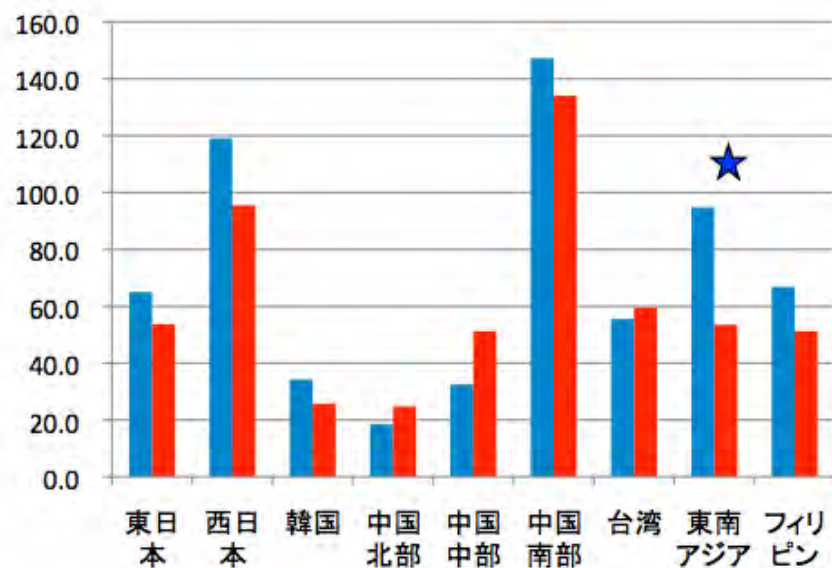
1年の台風最盛期(7月～10月)、東西2.5度x南北2.5度領域あたりの個数
将来気候実験(2075-2099年)と現在気候実験(1979-2003年)の差



マーシャル諸島付近から日本の南岸に沿って増加(赤の枠線)
フィリピンや台湾の東から韓国、西日本にわたる領域(青の枠線)で減少

地域毎の出現頻度と平均最大風速の変化

存在頻度

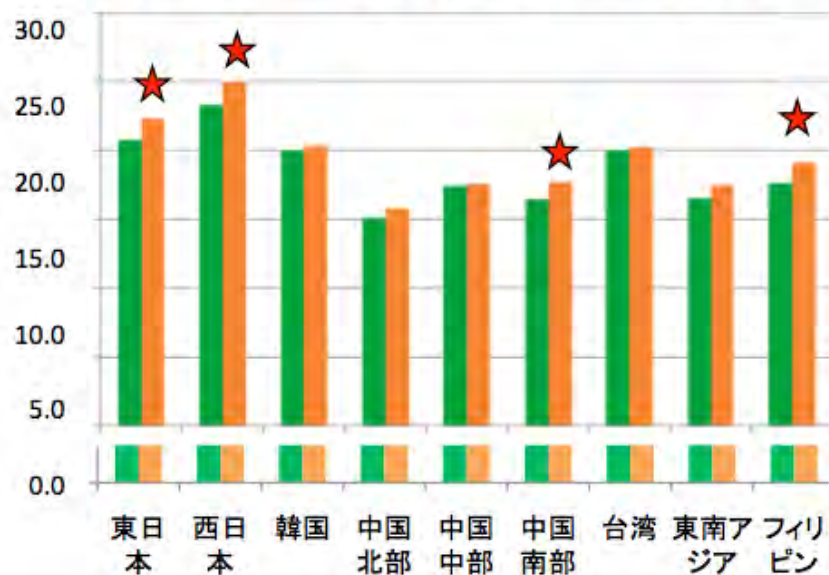


■ 現在
■ 将来

沿岸域への台風接近数は
減少する傾向

全体に有意性は低い

平均最大風速



■ 現在
■ 将来

しかし最大風速で見た台風
の強度は増加する

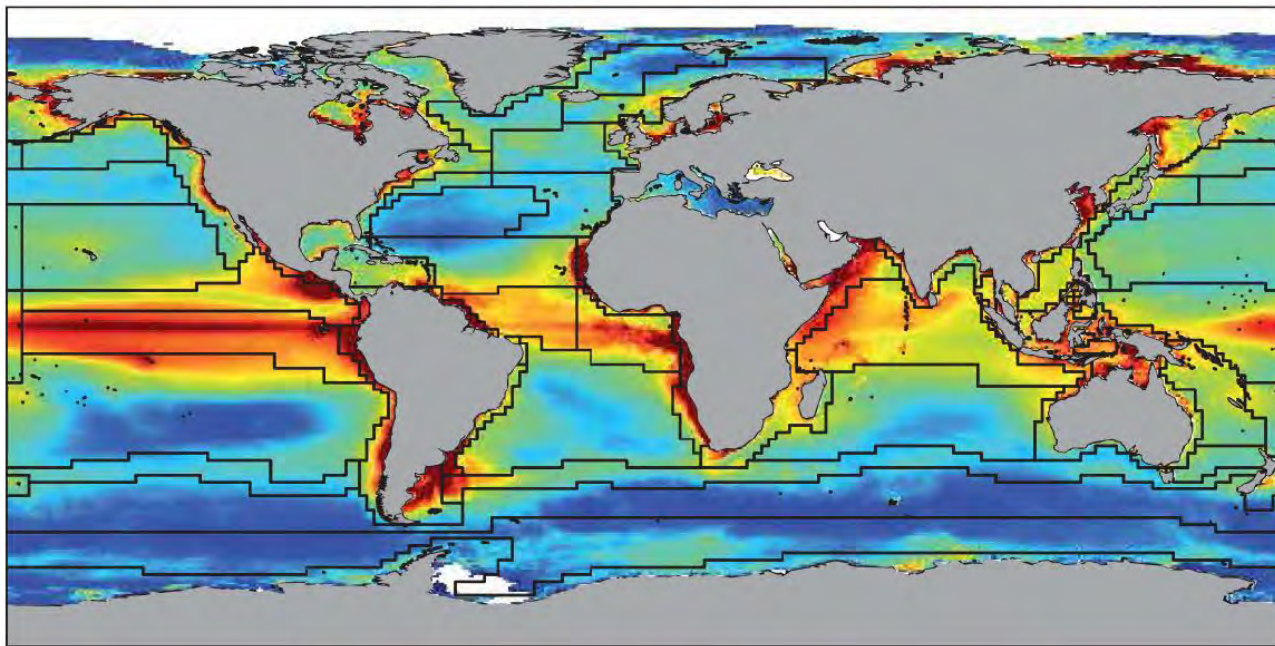
★ 95%水準で変化が有意

気候変動の影響：海洋

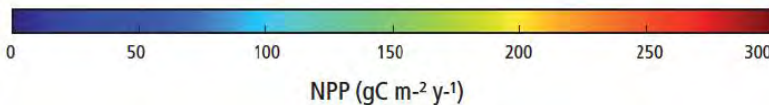
海水温の上昇、海洋酸性化、北極海の海水の減少



沿岸部の人々の生計を支える海洋・沿岸の生態系と生物多様性、生態系便益・機能・サービスが失われる可能性



純一次生産量



IPCC WGII AR5より

気候変動の影響：船舶

内航：全般に（湖沼河川の水位低下により）負影響だが、場所に大きく依存

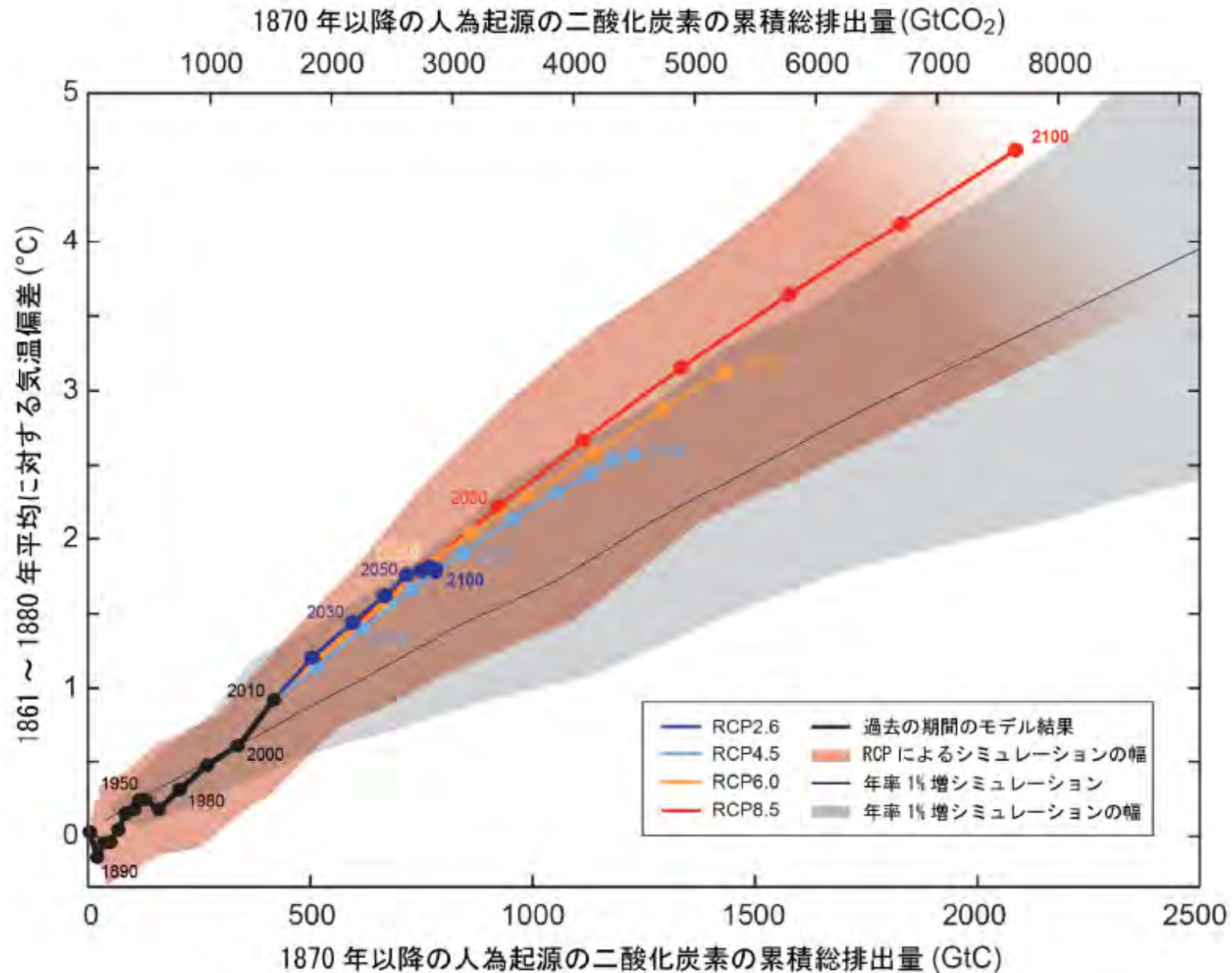
極域：海氷減少により航海可能期間が増加、ただし海氷予報の困難さがある

港湾：気温上昇、海面水位上昇、暴風雨の増加、降水量の増加により影響を受け得る

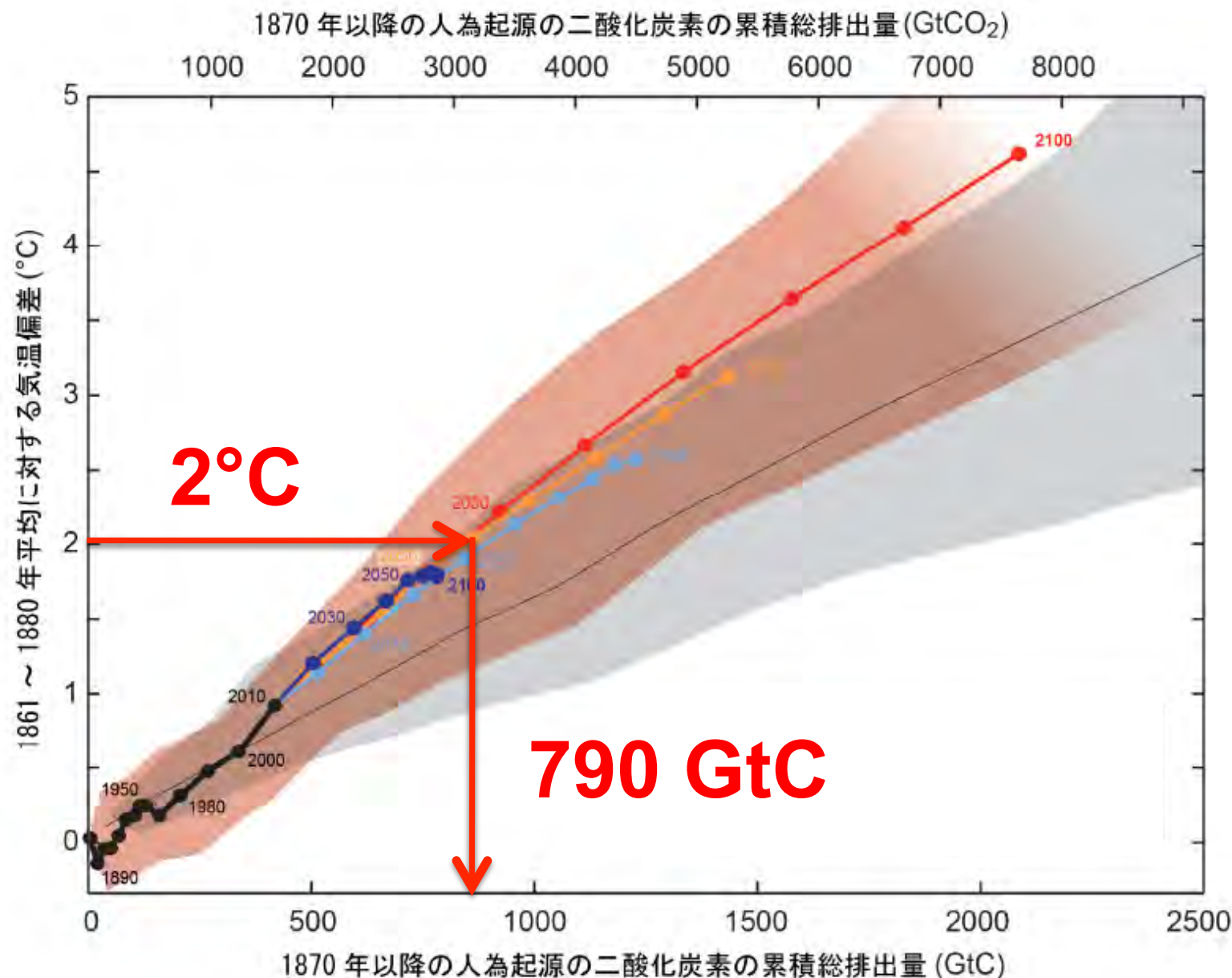
外航：ある海域での暴風雨の増加は、航路変更や遅延等によるコスト上昇の可能性あり

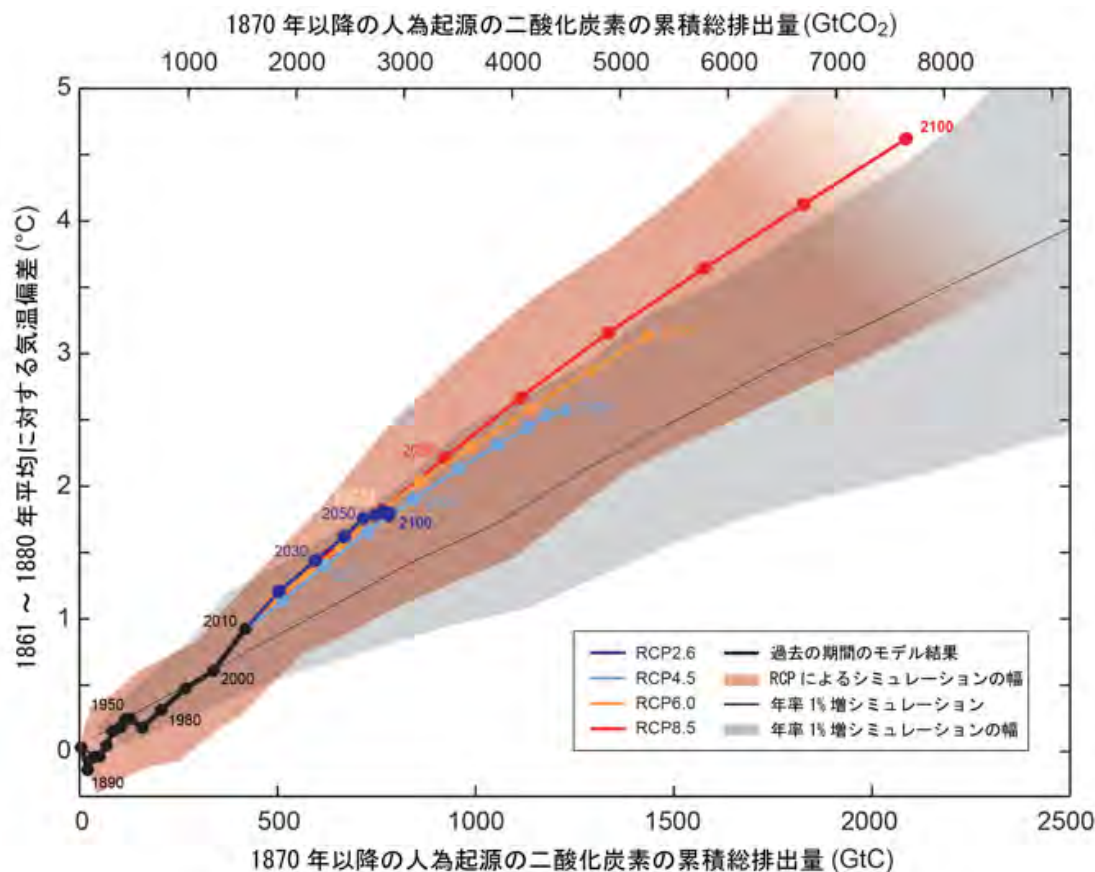
世界の将来は？

累積二酸化炭素総排出量と世界平均地上気温上昇量



温室効果ガスによる昇温を66%以上の確率で2℃以下に抑えるには、
累積二酸化炭素総排出量を790ギガトン以下に制限する必要がある





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 Bill. t C

CO₂ emitted until 2011: -515 Bill. t C

Remaining emissions: 275 Bill. t C

CO₂ emissions 2012: 9.7 Bill. t C/yr

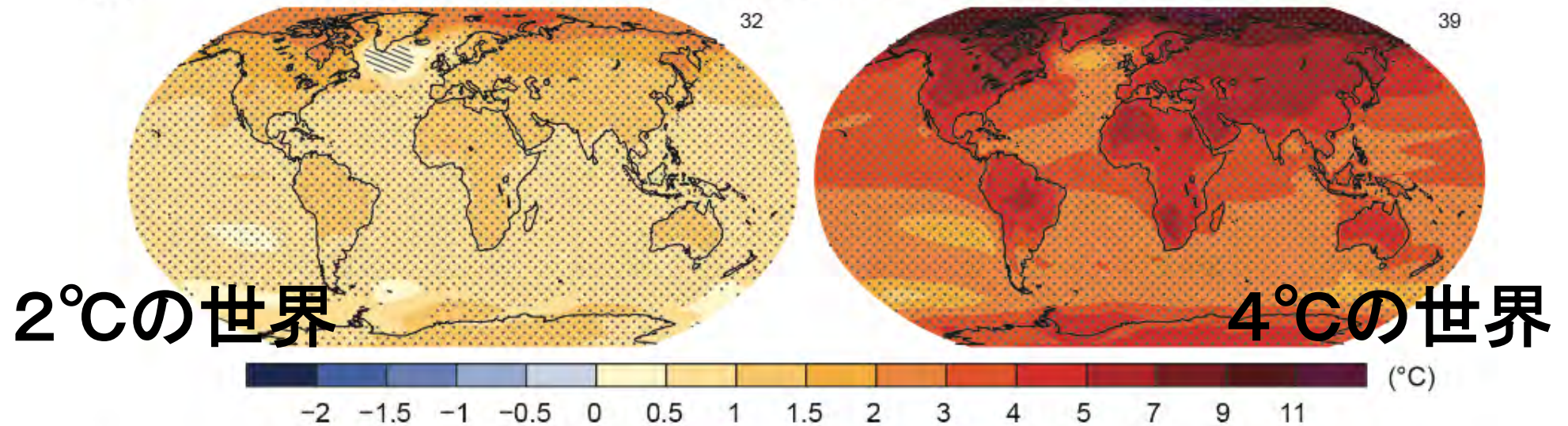
RCP2.6

$\text{CO}_{2\text{eq}} = 475 \text{ ppm}$

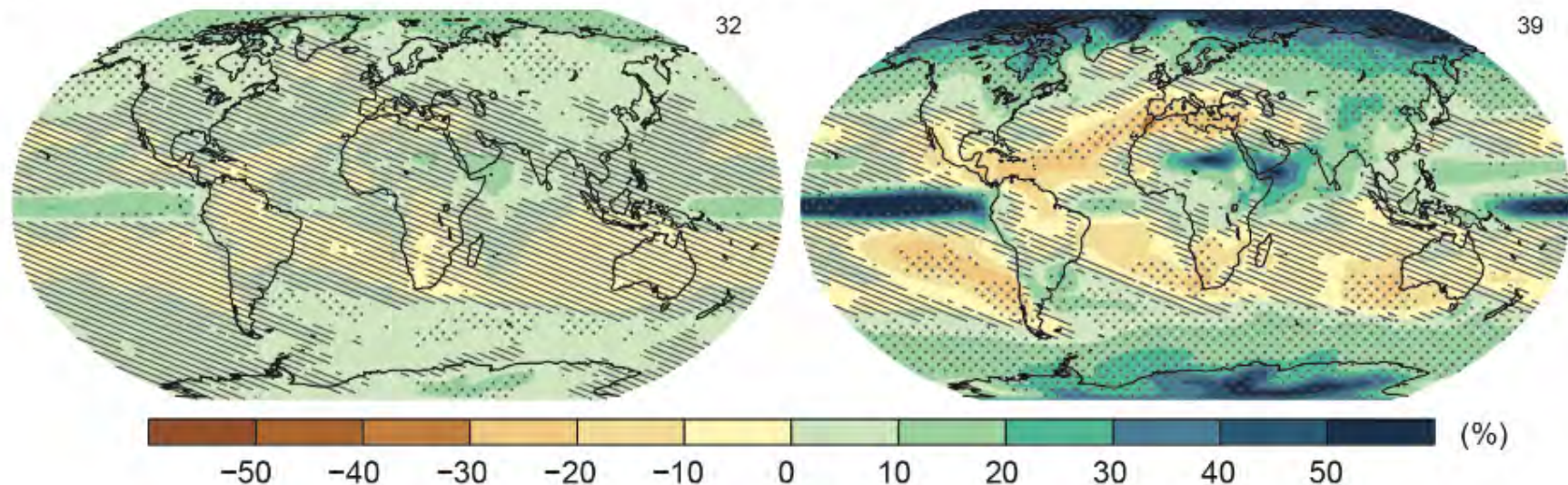
RCP8.5

$\text{CO}_{2\text{eq}} = 1313 \text{ ppm}$

(a) Change in average surface temperature (1986–2005 to 2081–2100)



(b) Change in average precipitation (1986–2005 to 2081–2100)



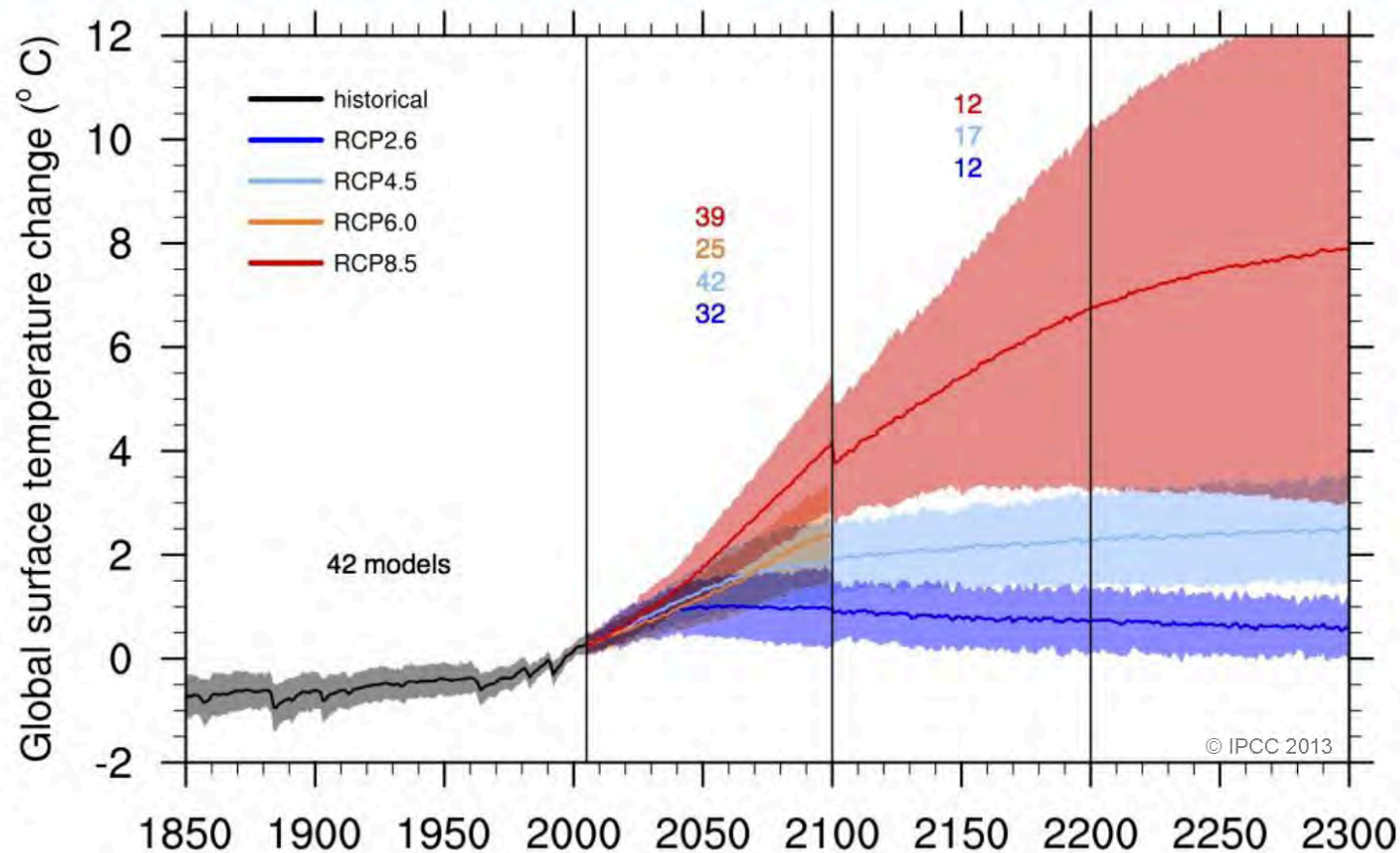


Fig. 12.5

気候変動の特徴の大部分は、たとえ二酸化炭素の排出が停止したとしても、何世紀にもわたって持続するだろう。このことは、過去、現在、及び将来の二酸化炭素の排出によって生じる、気候システムの慣性により避けられない数世紀にわたる大規模な気候変動を表わしている。

ウェッジ選書、2013年



岩波新書、2015年3月



岩波新書
1538

二酸化炭素の寿命が長い

