



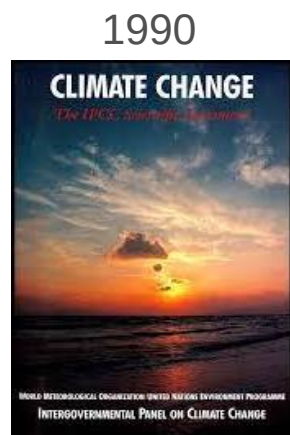
統合的気候モデル高度化プログラム 令和3年度公開シンポジウム

気候は今 どうなっている？ どうなっていく？

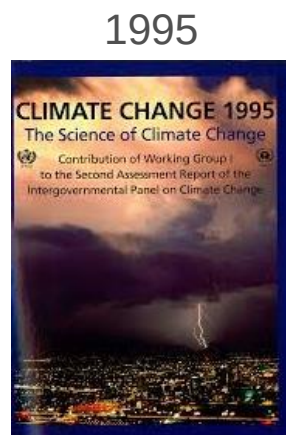
～IPCC最新報告書を読み解く～

IPCC AR6の概要

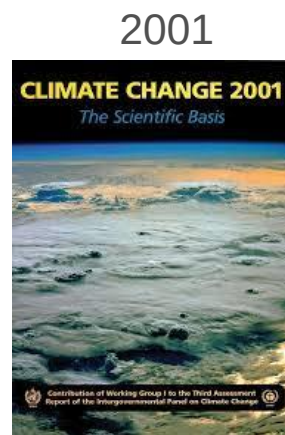
—AR5以降、なにが分かったか—



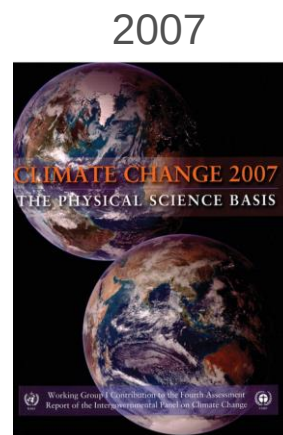
FAR



SAR



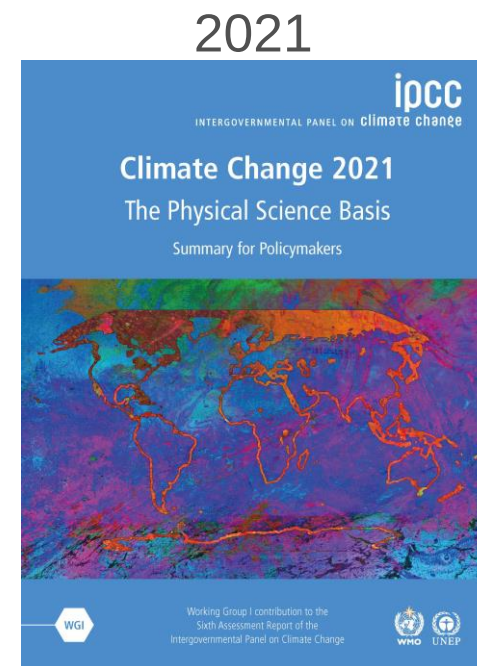
TAR



AR4



AR5



AR6

6th Assessment Report
(第6次評価報告書)

渡部雅浩

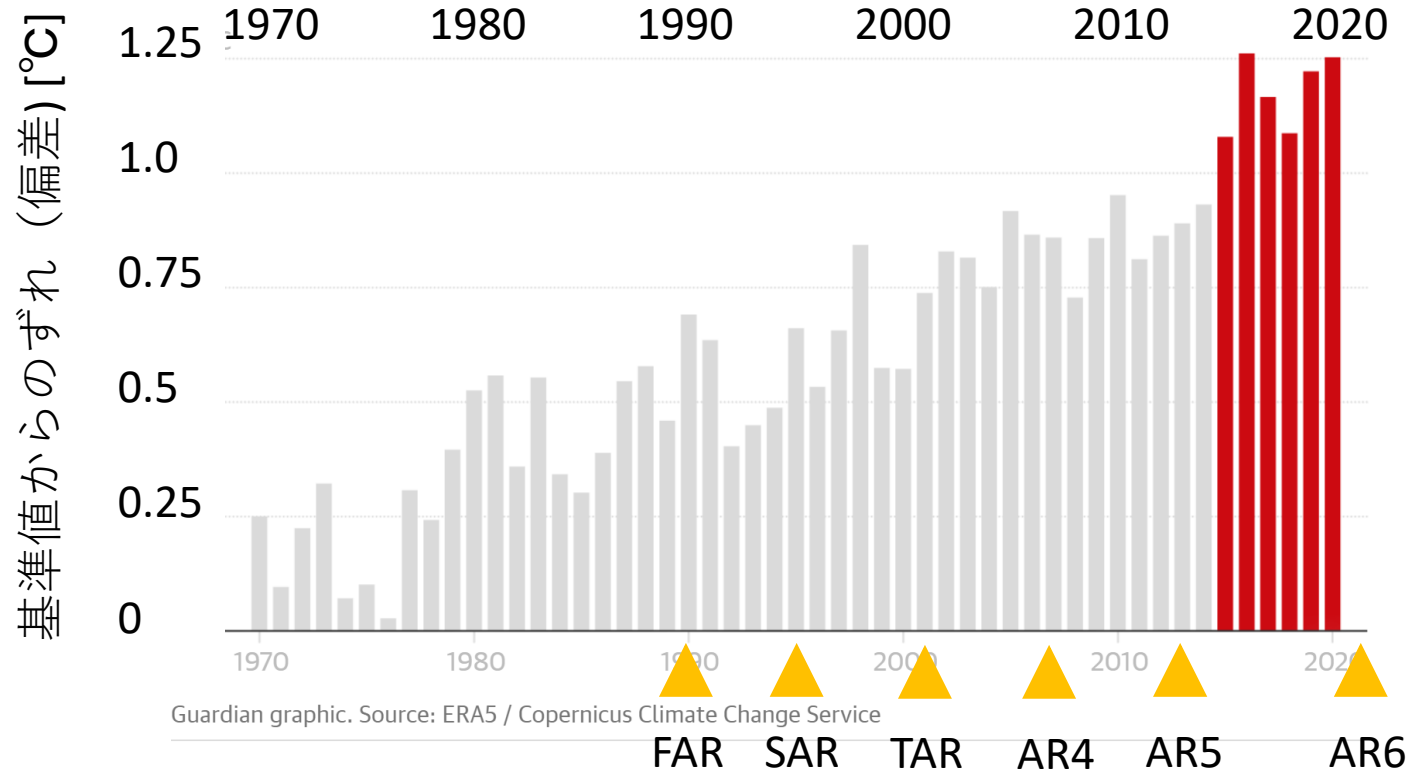
東京大学大気海洋研究所

温暖化はさらに進んでいる

世界の平均地表気温変化

The past six years are the hottest on record

Average annual global temperature relative to 1850-1900



● AR5: 5th Assessment Report
(第5次評価報告書)

● AR6: 6th Assessment Report
(第6次評価報告書)

The Guardian, 8 Aug 2021

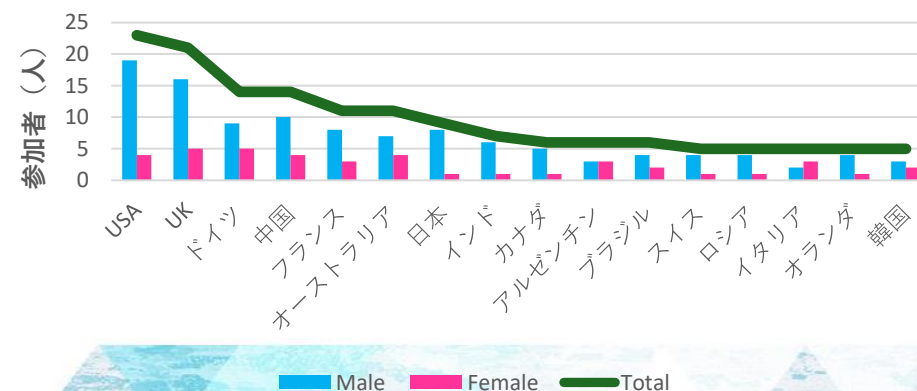
IPCC WGI AR6 ー誰が書いたかー

- 世界各国の科学者（執筆者、査読編集者）>230名 (66カ国)
- IPCC事務局



WGI AR6 CLAs/LAs

- 4回の執筆者会合（うち1回はオンライン）で、>14000の論文をもとに0次、1次、2次、最終ドラフトを作成
- ドラフトの各段階で、査読者（＝科学者、政府関係者など）からのコメント（全体で>78000件！）を受けて改訂



IPCC WGI AR6 ー誰が書いたかー

Chapter	Name	Role	統合プロとの関係
1章 構成、背景、手法	江守正多（国立環境研究所）	執筆者	テーマA運営委員
1章 構成、背景、手法	安成哲三（総合地球環境学研究所）	査読編集者	
3章 人間が気候システムに及ぼす影響	小坂優（東京大学）	執筆者	テーマA参画者
4章 将来の世界の気候	木本昌秀（国立環境研究所）	査読編集者	テーマA～C PO
5章 地球規模の炭素/生物地球化学的循環	石井雅男（気象研究所）	執筆者	
5章 地球規模の炭素/生物地球化学的循環	Patra Prabir K.（海洋研究開発機構）	執筆者	
6章 短寿命気候強制因子	金谷有剛（海洋研究開発機構）	査読編集者	
7章 エネルギー収支・フィードバック・気候感度	渡部雅浩（東京大学）	執筆者	テーマA代表
10章 世界規模と地域規模の気候変化	高薮出（気象研究所）	執筆者	テーマC代表
11章 気象及び気候の極端現象	佐藤正樹（東京大学）	執筆者	テーマA協力者

- ・ 日本からは10名（執筆者7名、査読編集者3名）
- ・ 全体では決して多くはないが、少数精鋭(?)
- ・ 2,8,9,12章に日本人関係者がいないのが残念
- ・ 統合プログラムからの貢献が大きい



IPCC WGI AR6 —その根拠—



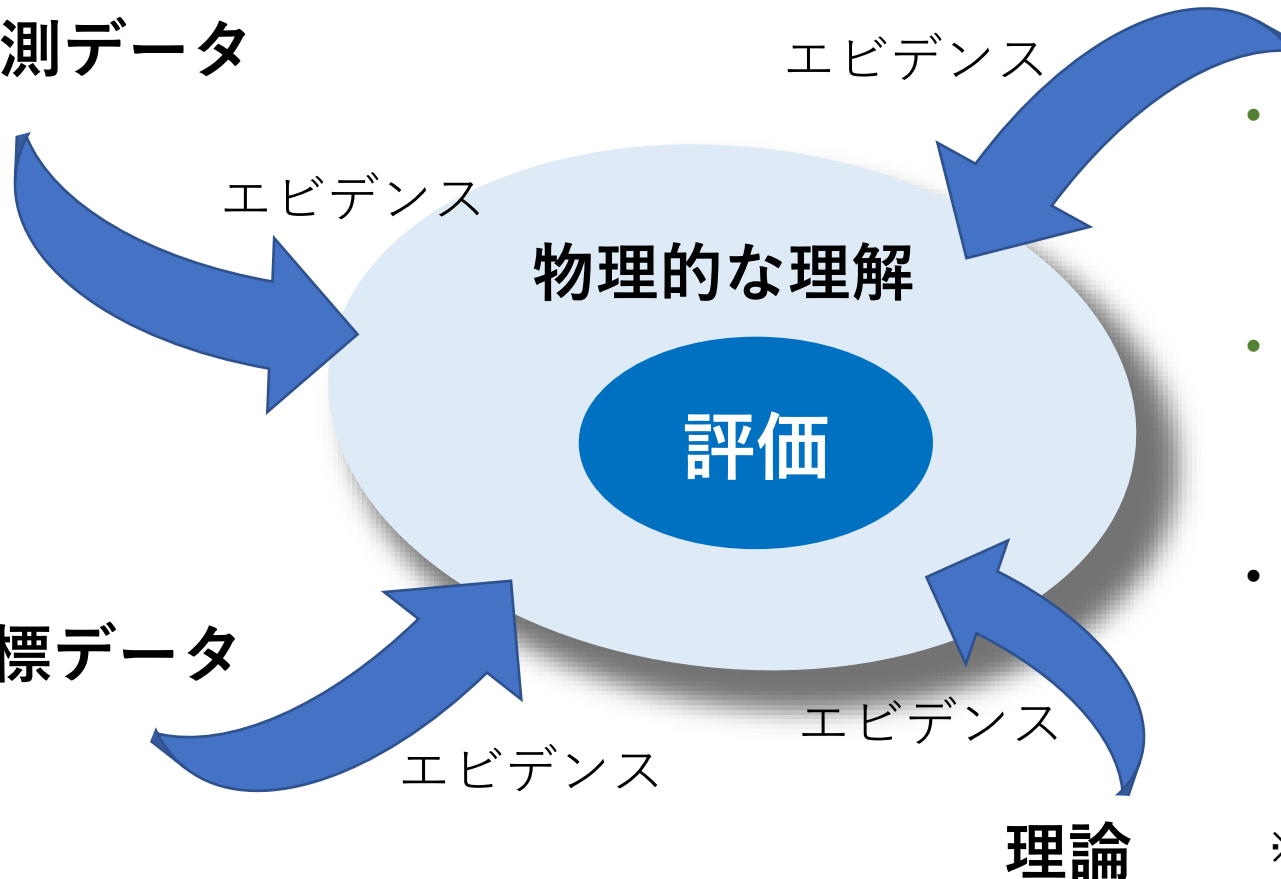
Multiple lines of evidence

数値モデルによる シミュレーションデータ

20世紀以降の観測データ

- 地表温度
- 大気再解析データ
- 大気質観測データ
- 海洋観測データ
- 陸域観測データ
- 雪氷観測データ

古気候の代理指標データ



- 気候モデル/地球システムモデルによる全球的变化
⇒ CMIP6



- 領域気候モデルによる地域的变化
⇒ CORDEX



- 簡易モデルによる全球指標（メトリック）の emulation

※ WCRP: 世界気候研究計画（WMO傘下）

CMIP6/CORDEXとは



CMIP

共通の実験プロトコル・
境界条件データ（GHGなど）
で実施した膨大な全球気候
シミュレーション

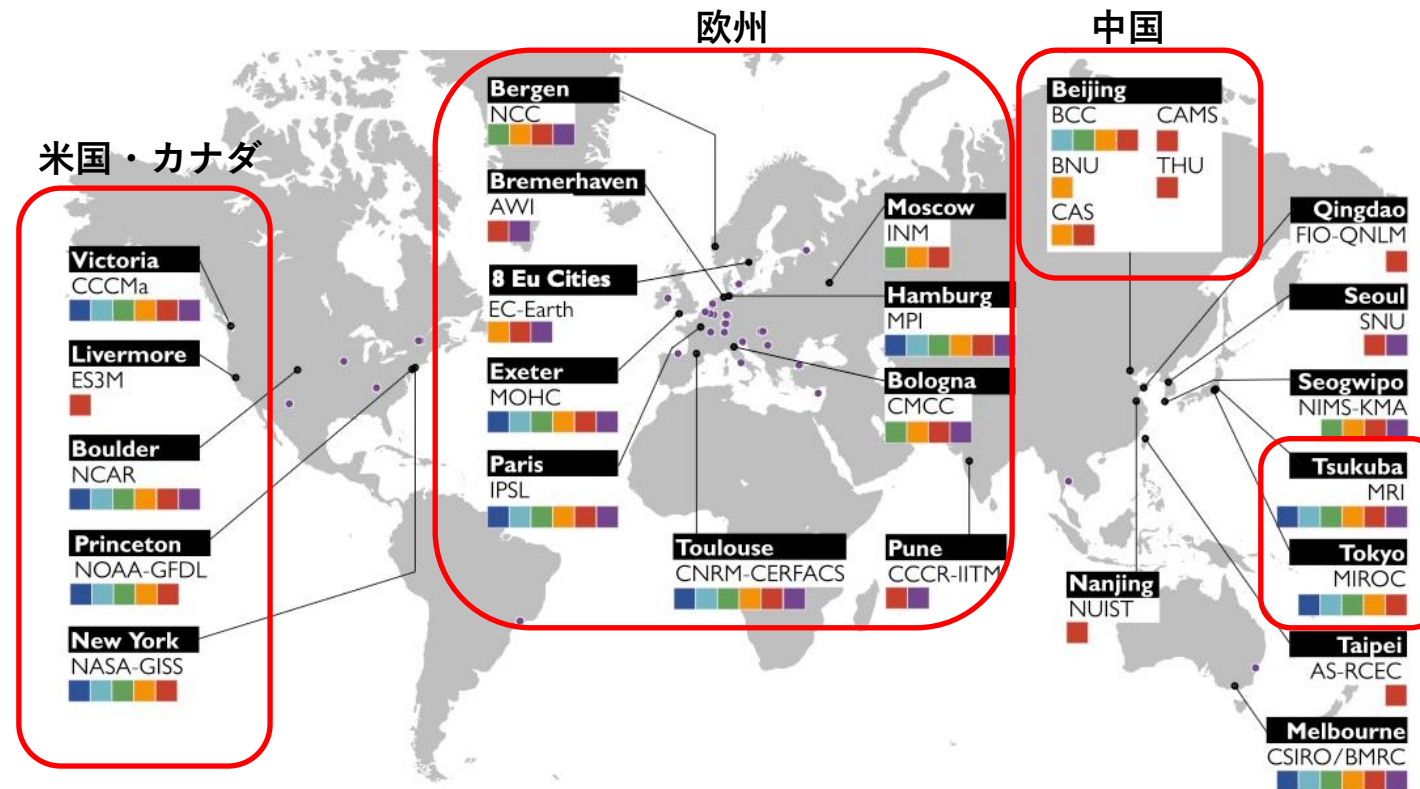
- ・ ベース実験（産業革命前）
- ・ 1850～2015年（過去再現）
- ・ 2016～2100年（将来実験）
- ・ 理想化実験（4xCO2など）
- ・ 初期値化予測

モデリングセンターの数
19 (CMIP5) ⇒ 28 (CMIP6)

CORDEX

世界14の地域を対象にした領域
気候シミュレーションのプロジェ
クト⇒力学的ダウンスケーリング

世界のモデリングセンター



TOUGOU

テーマA, B

- ・ CMIP6対応
- ・ 全球シミュレーション

日本

テーマC

- ・ CORDEX対応
- ・ 領域シミュレーション
- ・ 日本独自の高分解像度
ダウンスケーリング

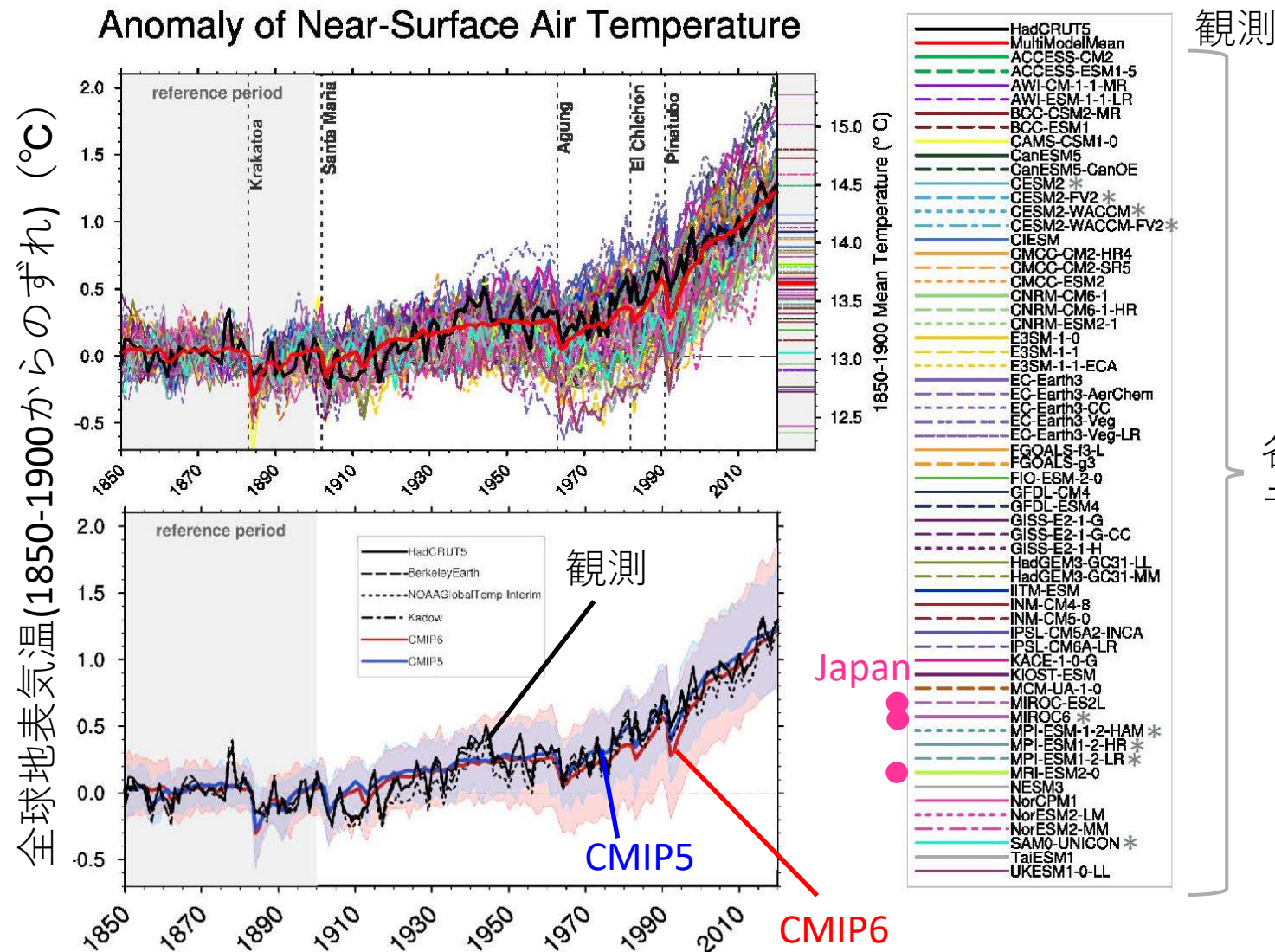
City Institution Participation to: CMIP 1 CMIP 2 CMIP 3 CMIP 5 CMIP 6 CORDEX Cordex partner: ●

Ch1 Fig 1.20

地球システムモデルは過去を再現するか

個々のモデル
結果と観測値

モデル
アンサンブル
と観測値



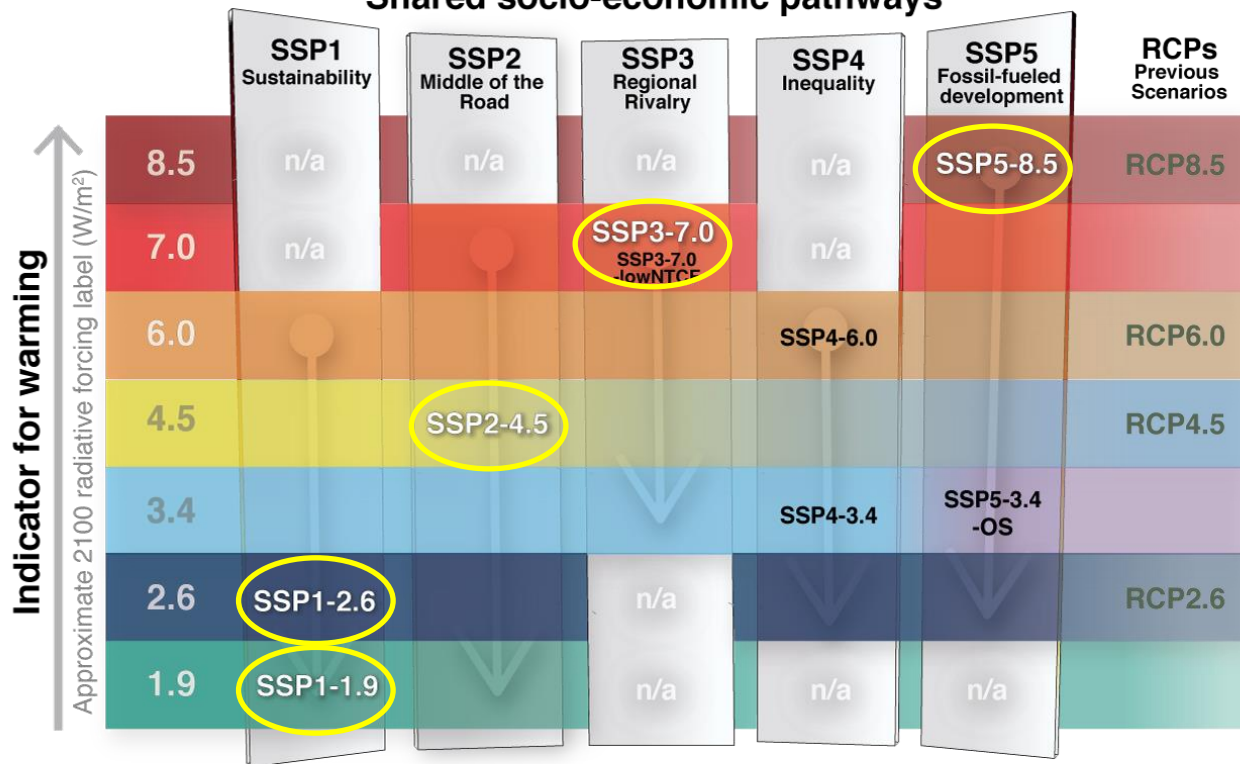
Ch3 Fig 3.4

将来「予測」の排出シナリオ

5つの社会経済シナリオ

Shared socio-economic pathways

放射強制力の大きさ



No additional climate policy reference scenario

Mitigation

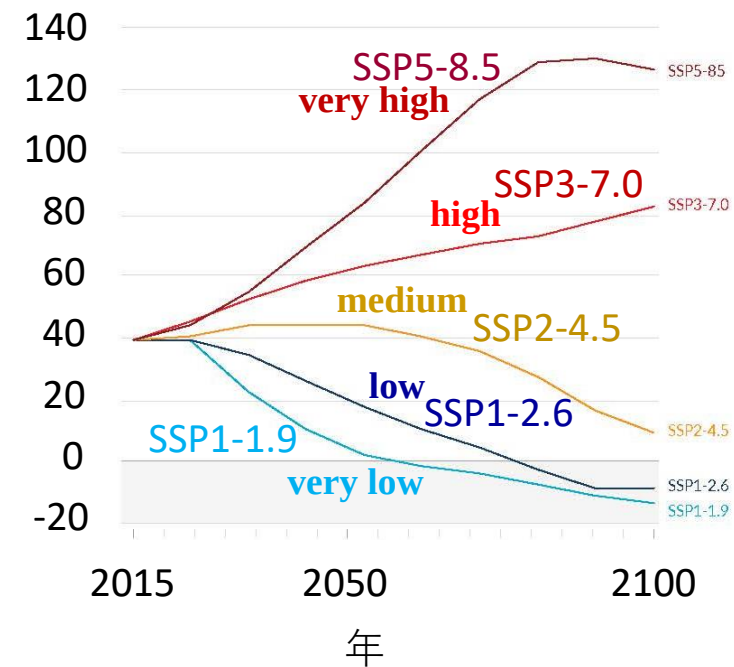
Mitigation scenarios

SSPX-Y
Five main SSP scenarios investigated in WG1

SSPX-Y
Additional SSP scenarios

RCPY
Previous RCP scenarios

炭素排出量 (Gt CO₂ per year)



SPM Fig 4

Ch1 Box1.4 Fig 1

- 2050カーボンニュートラル⇐SSP1-1.9
- 中庸シナリオ = SSP2-4.5⇐RCP4.5
- 最悪シナリオ = SSP5-8.5⇐RCP8.5

AR5以降なにが分かったかーSPMからー



The Current State of the Climate

Summary for Policymakers
(政策決定者向け要約)

It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred.

人間活動が気候システムの温暖化および広範で急速な気候変化をもたらしてきたことは疑う余地がない。

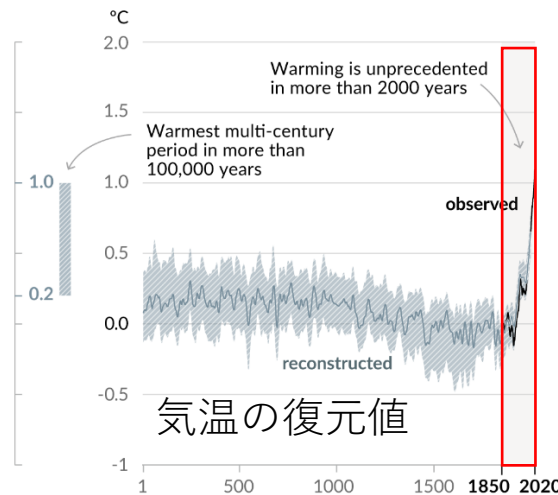
前回は一

- ・温暖化していることは「疑う余地がない」
- ・人間活動の影響は「可能性が極めて高い」

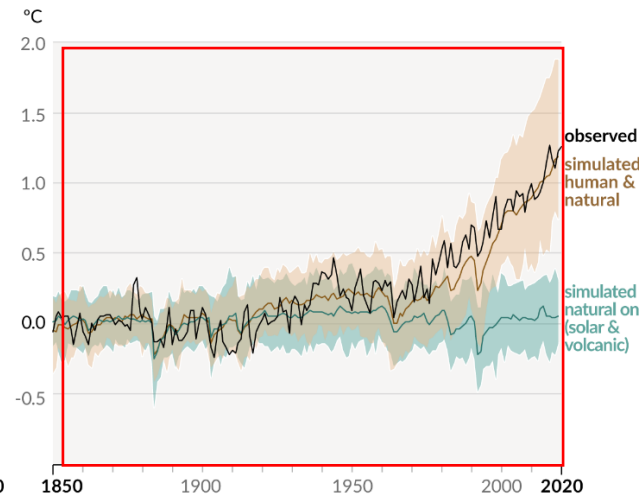
最近50年間に観測された気温上昇は、過去2000年のあいだに見られたことのないスピードである

Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

a) Change in global surface temperature (decadal average) as reconstructed (1-2000) and observed (1850-2020)



b) Change in global surface temperature (annual average) as observed and simulated using human & natural and only natural factors (both 1850-2020)



観測値

CMIP6モデル平均
(全強制)

CMIP6モデル平均
(自然強制のみ)

SPM Fig 1

AR5以降なにが分かったかーSPMからー



The Current State of the Climate

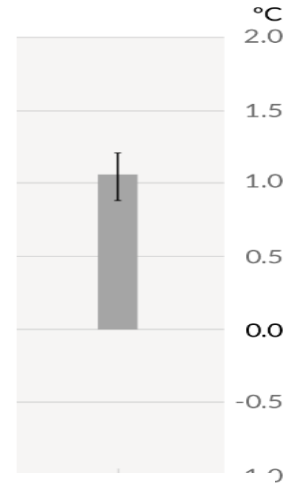
It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred.

人間活動が気候システムの温暖化および広範で急速な気候変化をもたらしてきたことは疑う余地がない。

2010-2019年の
全球表面温度は
1850-1900年に比べ
+1.06 [0.88-1.21]°C

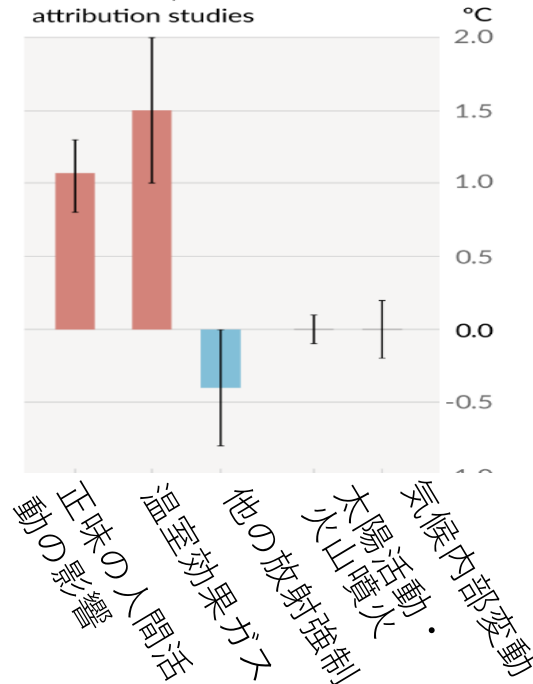
(気象庁統計では
2020年の年平均値
は**+1.2** °C)

a) Observed warming
2010-2019 relative to
1850-1900



2010-2019年
の気温変化
(観測値)

b) Aggregated contributions to
2010-2019 warming relative to
1850-1900, assessed from
attribution studies



温室効果ガスは1.0-2.0°Cの
温暖化、エアロゾルなどは-
0.8-0.0°Cの寒冷化
⇒正味の人間活動の寄与は
+1.07 [0.8-1.30]°C

⇒ 小坂氏の講演へ

SPM Fig 2

AR5以降なにが分かったかーSPMからー



The Current State of the Climate

Human-induced climate change is already affecting many weather and climate extremes in every region across the globe. Evidence of observed changes in extremes such as heatwaves, heavy precipitation, droughts, and tropical cyclones, and, in particular, their attribution to human influence, has strengthened since AR5.

人間活動が引き起こす気候変化は、既に世界の全地域の極端気象（熱波、豪雨、干ばつ、熱帯低気圧など）に影響している。

観測された高温事象に対する人間活動の影響

Type of observed change in hot extremes

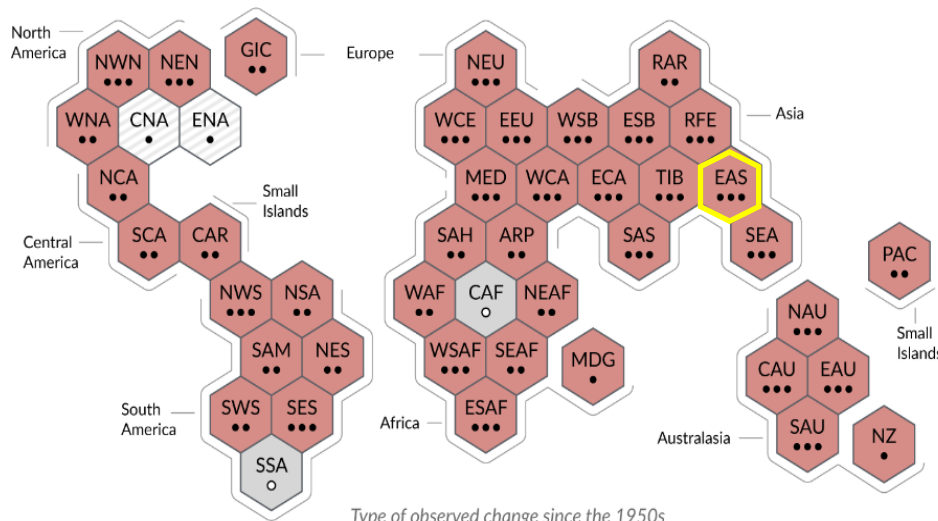
- Increase (41) 増加
- Decrease (0) 減少

Low agreement in the type of change (2)

Limited data and/or literature (2)

Confidence in human contribution to the observed change

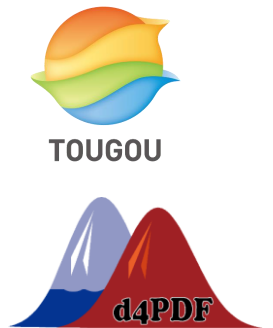
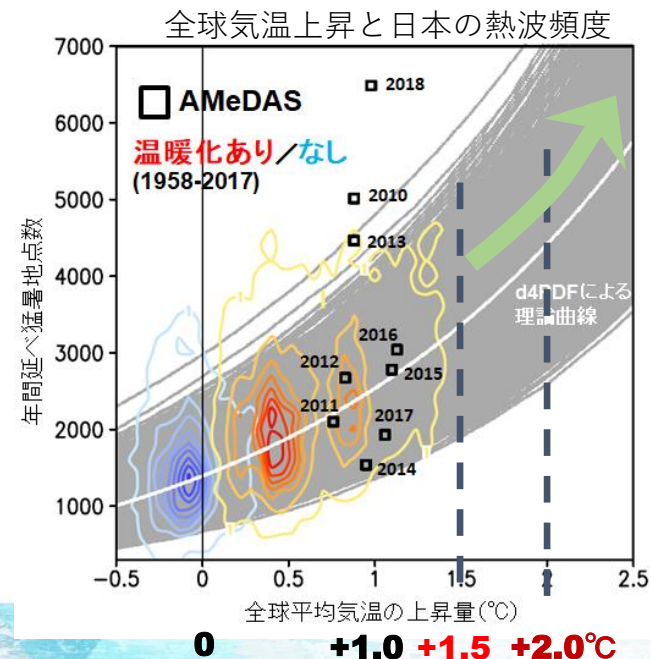
- High
- Medium
- Low due to limited agreement
- Low due to limited evidence



Type of observed change since the 1950s

SPM Fig 3

個々の異常気象に対する温暖化の寄与推定
(イベントアトリビューション研究)



Imada et al. (2019 SOLA)

AR5以降なにが分かったかーSPMからー



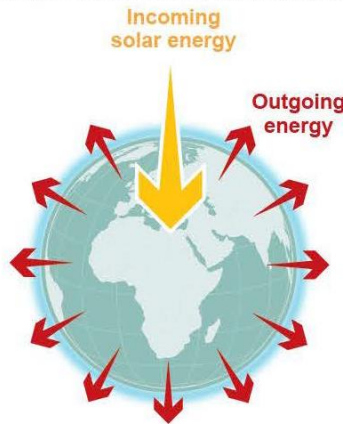
The Current State of the Climate

Improved knowledge of climate processes, paleoclimate evidence and the response of the climate system to increasing radiative forcing

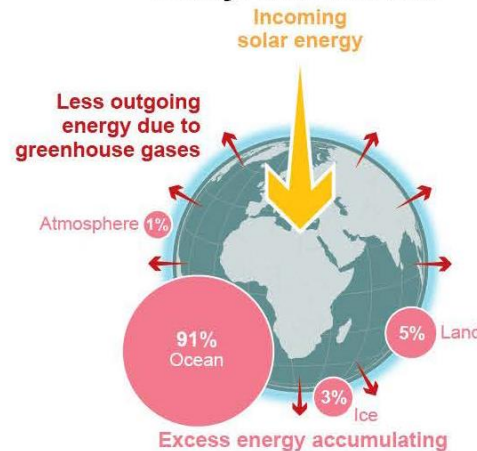
気候プロセス、古気候、および放射強制に対する気候システムの応答に関する理解が進んだ結果

地球システムのエネルギー

Stable climate: In balance



Today: Imbalanced



放射強制因子の増加により1750-2019年に蓄えられたエネルギーは**+2.72 W/m²**でAR5の推定（2011年まで）よりも**19%増えている**

1901-2018年の海面上昇は20 [15-25] cm。1971年以降は、50%が海洋熱膨張、22%が山岳氷河の損失、20%が氷床融解で説明される

Ch7 FAQ7.1 Fig 1

AR5以降なにが分かったかーSPMからー



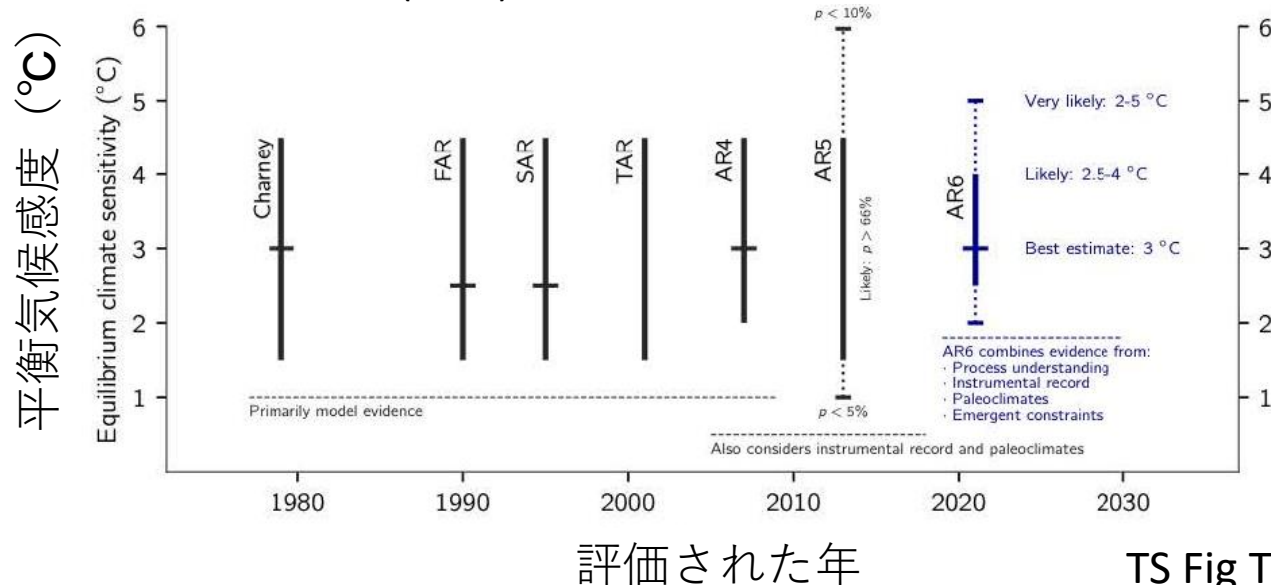
The Current State of the Climate

Improved knowledge of climate processes, paleoclimate evidence and the response of the climate system to increasing radiative forcing gives a best estimate of equilibrium climate sensitivity of 3°C with a narrower range compared to AR5.

気候プロセス、古気候、および放射強制に対する気候システムの応答に関する理解が進んだ結果、平衡気候感度の最良推定値は3°Cと評価され、その推定幅はAR5よりも狭まった。

気候感度の66%幅ー
・ AR5: 1.5~4.5°C
・ AR6: 2.5~4°C (半減)
⇒ TCREの推定も確実性を増した

最初期(1979)からAR6までの気候感度推定値



統合A代表もコアメンバーとして加わる国際研究グループによる気候感度再評価(Sherwood et al. 2020 Rev Geophys)が重要な役割を果たした



AR5以降なにが分かったかーSPMからー



The Current State of the Climate

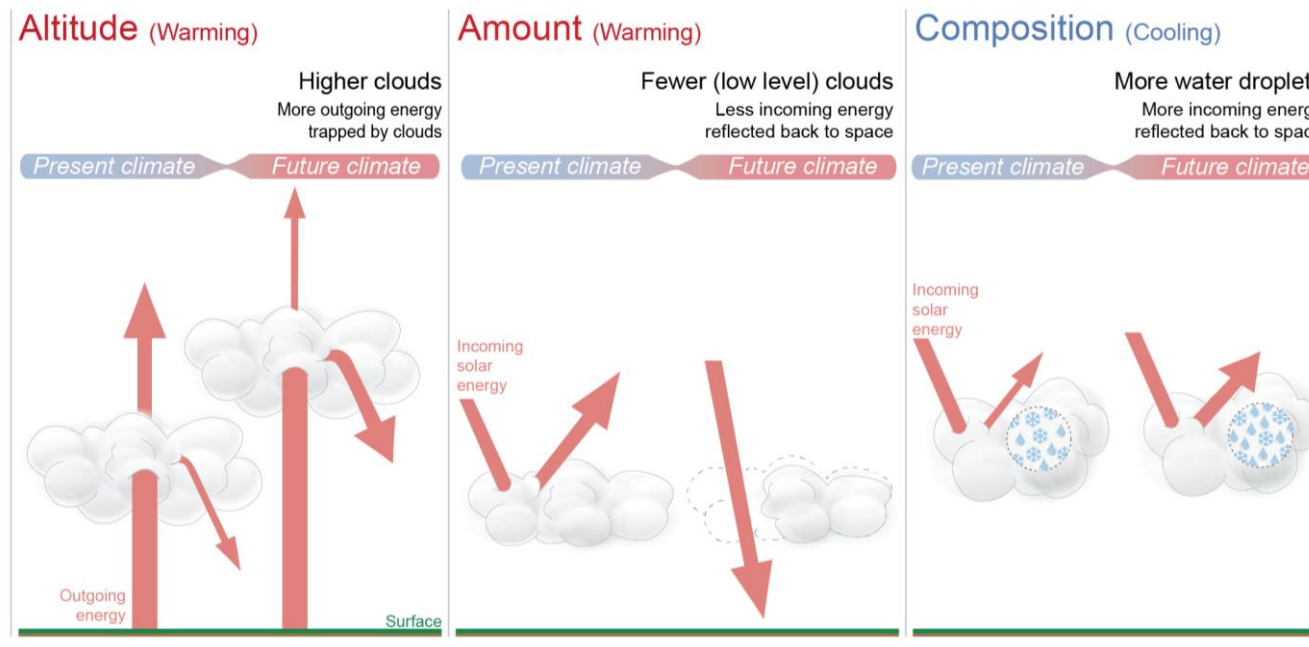
温暖化時に雲が果たす役割についての理解が大きくすすんだ。雲は、正味で温暖化を促進する（不確実性は半減した）

雲の高度が上昇（+）

雲被覆率が減少（+）

氷雲が水雲に（-）

Clouds affect and are affected by climate change. Overall, scientists expect clouds to **amplify future warming**.



CFMIP
Cloud Feedback Model Intercomparison Project

統合テーマAで実施してきた雲のプロセス研究が貢献

統合A代表が共同議長を務めるCMIP6サブプロジェクトの研究が評価の中核をなす

Ch7 FAQ7.2 Fig 1

AR5以降なにが分かったかーSPMからー

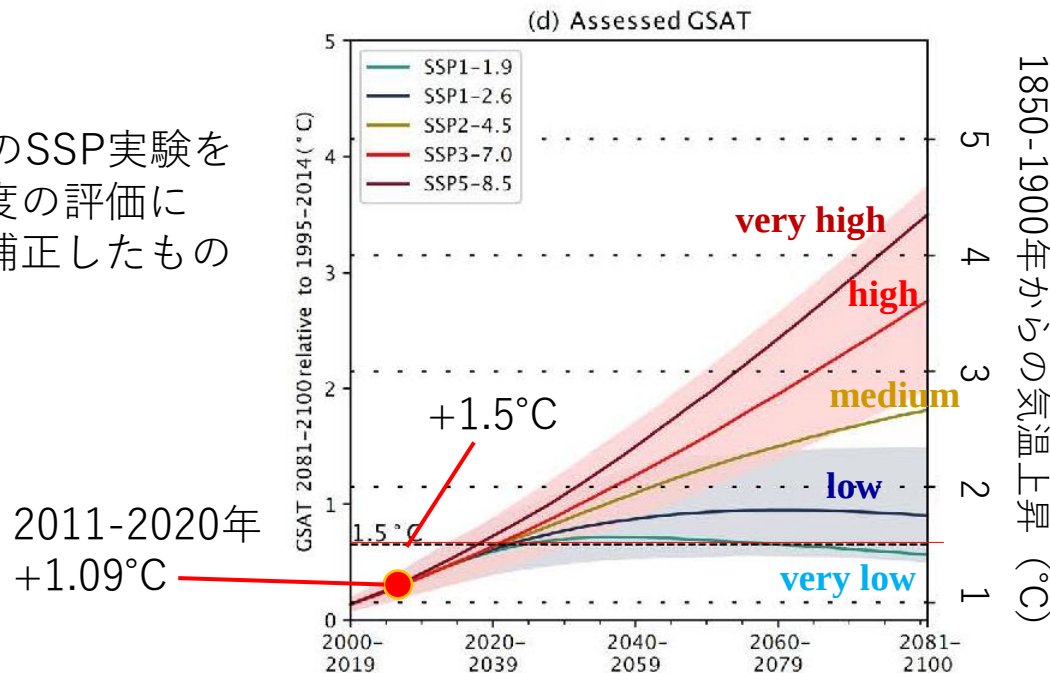


Our Possible Climate Futures

Global warming of 1.5°C and 2°C will be exceeded during the 21st century unless deep reductions in CO₂ and other greenhouse gas emissions occur in the coming decades.

今後数十年の間に温室効果ガス排出削減を強力に進めない限り、今世紀末までに温暖化レベルは+1.5°Cおよび+2°Cを越える。

CMIP6のSSP実験を
気候感度の評価に
基づき補正したもの



(discouraging)

すべてのシナリオで、今後20年（2021-2040年）に温暖化レベル+1.5°Cを越える可能性が高い

(encouraging)

しかし、**最低位シナリオ**では、一時的に+1.5°Cを超えても、その後+1.5°C未満の状態に落ち着く
⇒ **カーボンニュートラルの必要性を確認**

自然変動による増減は±0.25°C (90%範囲)
あるので、近未来に特定の年が+1.5°Cを越えることはあり得る⇒それは温暖化レベルが+1.5°Cを超えたことを意味しない

SPM Table 1, TS Cross-Section Box Fig 1, Ch4 Fig 4.11

AR5以降なにが分かったかーSPMからー



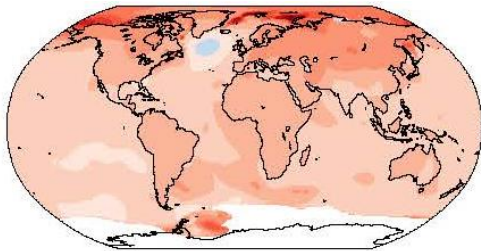
Our Possible Climate Futures

Many changes in the climate system become larger in direct relation to increasing global warming. They include increases in the frequency and intensity of hot extremes, marine heatwaves, and heavy precipitation, agricultural and ecological droughts in some regions, proportion of intense tropical cyclones as well as reductions in Arctic sea ice, snow cover and permafrost.

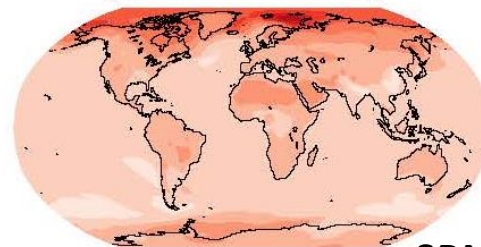
熱波、豪雨、干ばつ、強い台風、北極海氷・積雪・永久凍土などの損失といった気候システムの変化の多くは温暖化の進行とともに大きくなる。

全球が1°C温暖化した時の気温変化

観測
データ



CMIP6
モデル

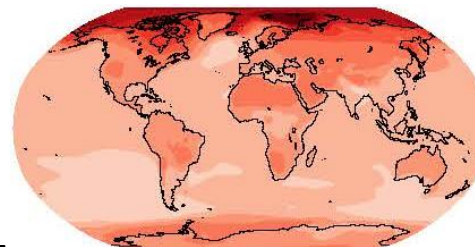


SPM Fig 5

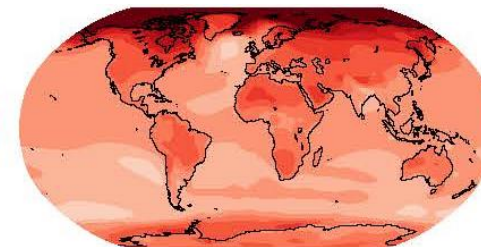
温暖化のパターン（北極温暖化増幅、陸の昇温など）
は温暖化のレベルによらずおよそ共通している

異なる温暖化レベルでの気温変化

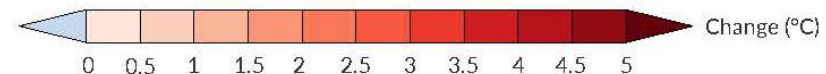
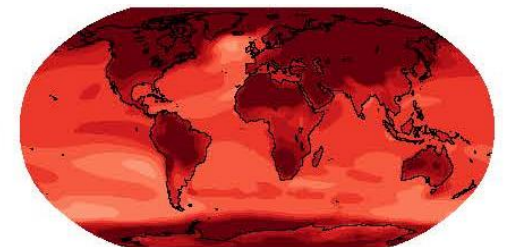
+1.5°C



+2°C



+4°C

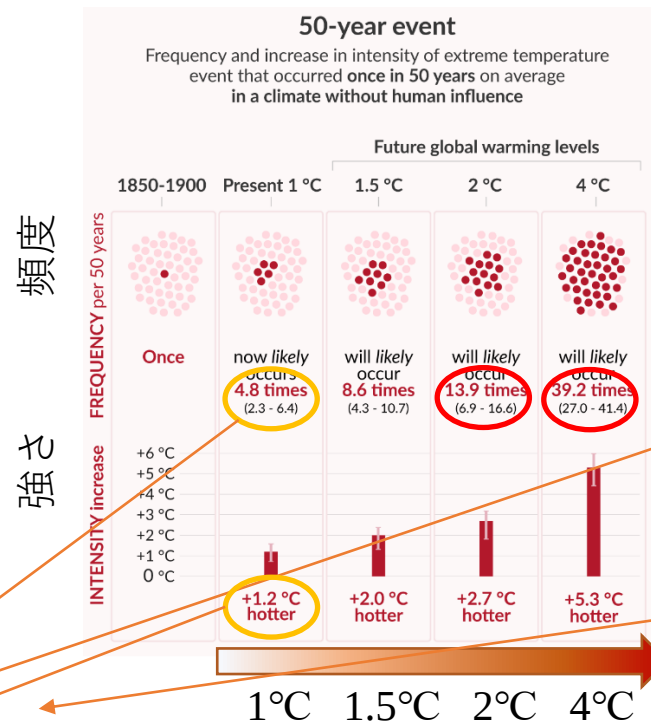


AR5以降なにが分かったかーSPMからー



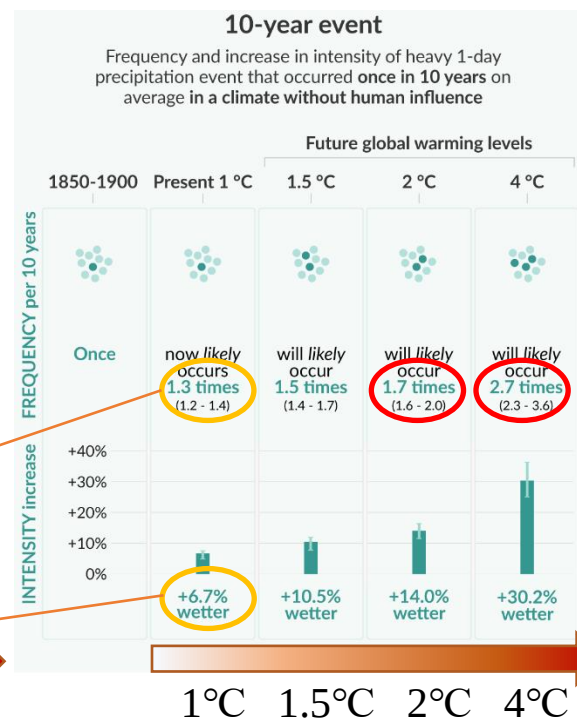
Our Possible Climate Futures

50年に一度の猛暑



人間活動の影響は、
現在の温暖化レベル
でも既に現れている

10年に一度の豪雨



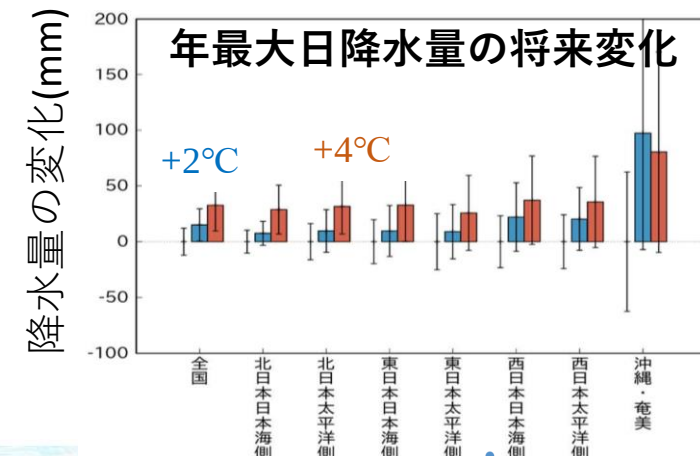
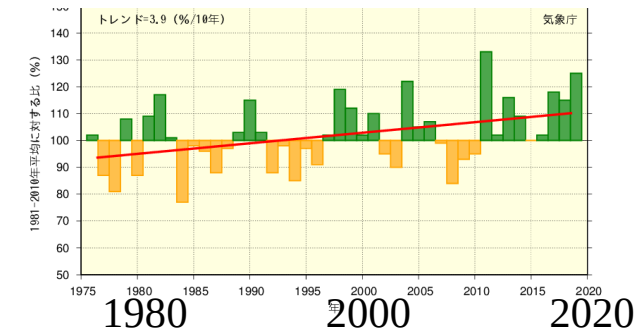
温暖化レベル

SPM Fig 6

統合テーマCで実施された日本の
猛暑・豪雨の変化予測の結果は、
「日本の気候変動2020」にまと
められています



年最大日降水量は既に増加している



AR5以降なにが分かったかーSPMからー

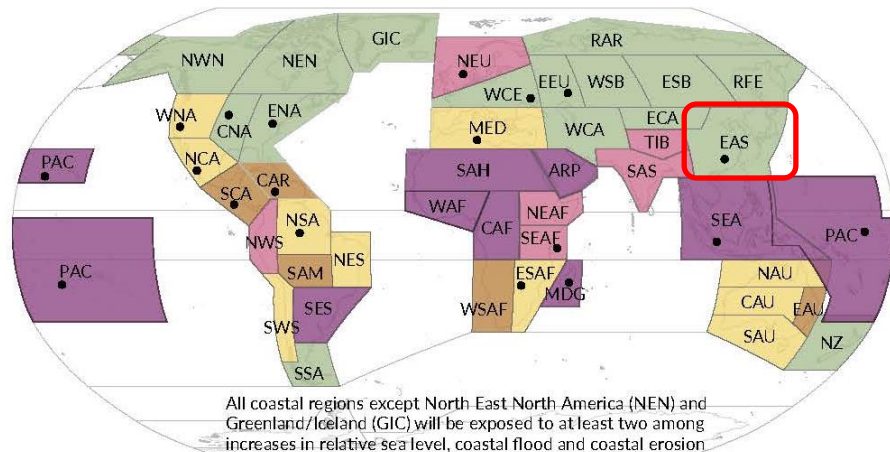


Climate Information for Risk Assessment & Regional Adaptation

With further global warming, every region is projected to increasingly experience concurrent and multiple changes in climatic impact-drivers. Changes in several climatic impact-drivers would be more widespread at 2°C compared to 1.5°C global warming and even more widespread and/or pronounced for higher warming levels.

温暖化が進めば、すべての地域で複数の気候的な影響駆動要因（CIDs）がさらに変化する。いくつかのCIDsは、1.5°Cよりも2°C昇温した時の方が、変化がより広範に生じる。

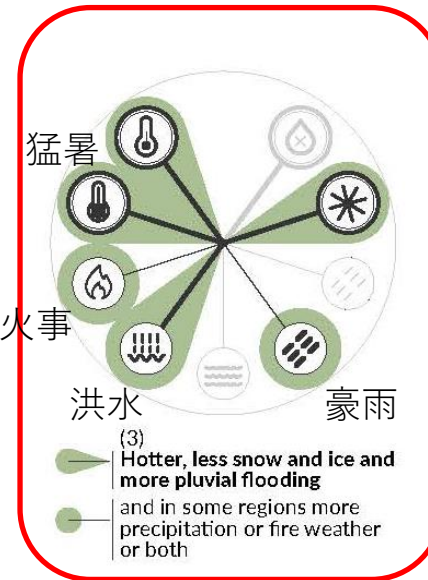
CIDの組み合わせによるクラスター分類（2°C昇温時）



All coastal regions except North East North America (NEN) and Greenland/Iceland (GIC) will be exposed to at least two among increases in relative sea level, coastal flood and coastal erosion

- 1) Hotter and drier
- 2) Hotter and drier and in some regions wetter extremes
- 3) Hotter and wetter extremes and in some regions more precipitation or fire weather
- 4) Hotter and wetter and in some regions more flooding
- 5) Hotter and in some regions wetter extremes or more precipitation
- 6) Increase in Tropical cyclones intensity or Severe winds

TS Fig TS.22



詳細な気候変化シナリオは国ごとに作るしかない

⇒ 高薮氏、森氏の講演へ

CID = 社会や生態系に影響する物理気候の状態（平均気候や極端気象）の総称



AR5以降なにが分かったかーSPMからー



Limiting Climate Change

Limiting human-induced global warming to a specific level requires limiting cumulative CO₂ emissions, reaching at least net zero CO₂ emissions, along with strong reductions in other greenhouse gas emissions.

自然科学的観点からは、人間活動が引き起こす温暖化をあるレベルでとどめるには、CO₂以外の温室効果ガスの排出を強力に減らすこととともに、CO₂ 累積排出量を止めることーすなわち正味でCO₂の排出をゼロにすることーが求められる。

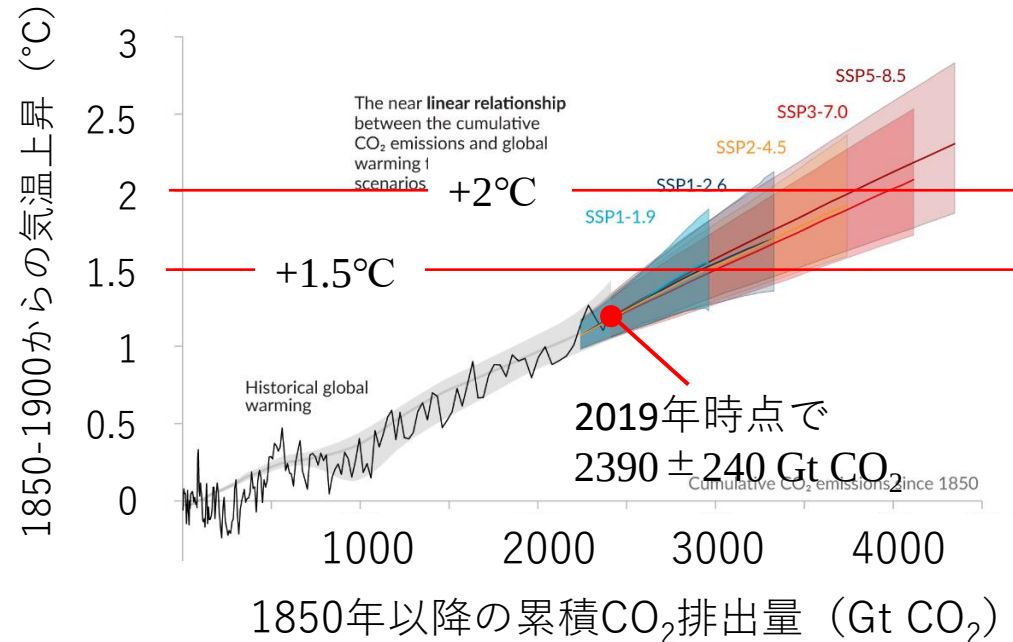
TCRE（累積炭素排出に対する過渡気候応答）の有効性を確認、さらにAR5, SR1.5の炭素予算推定を更新

	TCRE (1000PgCあたり)
AR5	0.8~2.5°C
AR6	1.0~2.3°C



TOUGOU

統合テーマBの研究が重要な貢献



温暖化レベルごとに許容される排出量（シナリオによらない）

温暖化レベル	剰余炭素予算(Gt CO ₂)
1.5°C	500** [300-900]
2°C	1350 [900-2300]

** SR1.5では580 Gt CO₂

⇒ 河宮氏の講演へ

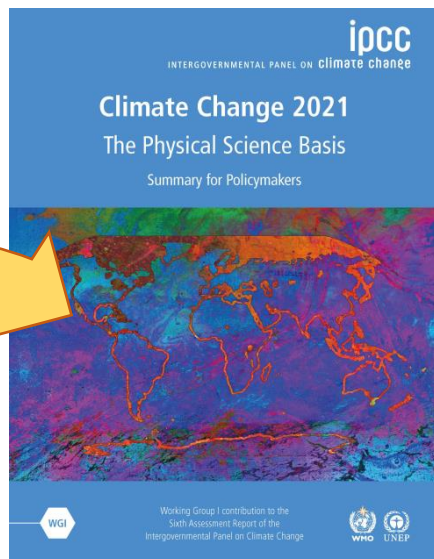
IPCC WGI AR6 —どこまできたか—

この30年で、気候変化をより理解したか？ — YES !!

最初のIPCCレポート(1990)



最新IPCCレポート(2021)



- 今回のレポートは、温暖化のサイエンスが成熟してきたことを示す成果
- 今の気候がどうなっており、将来どうなっていくかを「温暖化レベル」で整理、異常気象に対する人間活動の影響など確信度が高まった
- カーボンニュートラルに向けて科学的根拠（なぜそれを目指す必要があるか）を強化、今後のエネルギー政策の転換を後押し

レポートはすべて以下から取得可能
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

ありがとうございました