地球温暖化の気候への影響
～気候変動の現状と将来予測～

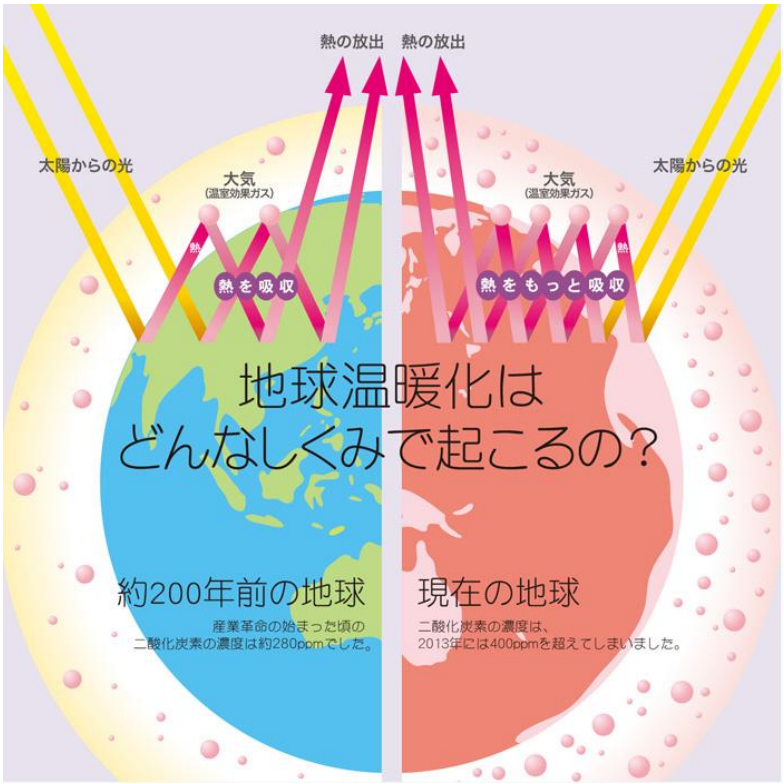
気象庁　大気海洋部気候情報課

気候情報調整官　平井雅之

概要

- 温室効果ガスの増加と気候変動
- これまでの気候の変化 ← 過去から現在の観測成果
- 将来の気候の予測 ← 将来の予測
- まとめ

温室効果と地球温暖化



工業化以前の地球　　温暖化した地球

出典：全国地球温暖化防止活動推進センター
Webサイト（https://www.jccca.org/）より

太陽からのエネルギーが地球を暖める一方、地球から赤外線が放出され温度が下がるかたちで、エネルギーがバランスしている。

（左）工業化以前の地球

- 大気中に含まれる水蒸気、二酸化炭素、メタンなどは、地球から出ていく赤外線の一部を吸収し地球の温度を押し上げる形でエネルギーがバランスする。（温室効果）
  - 温室効果が無い場合の地球の平均気温は氷点下19℃程度
  - 温室効果のために平均気温はおよそ14℃に保たれている。

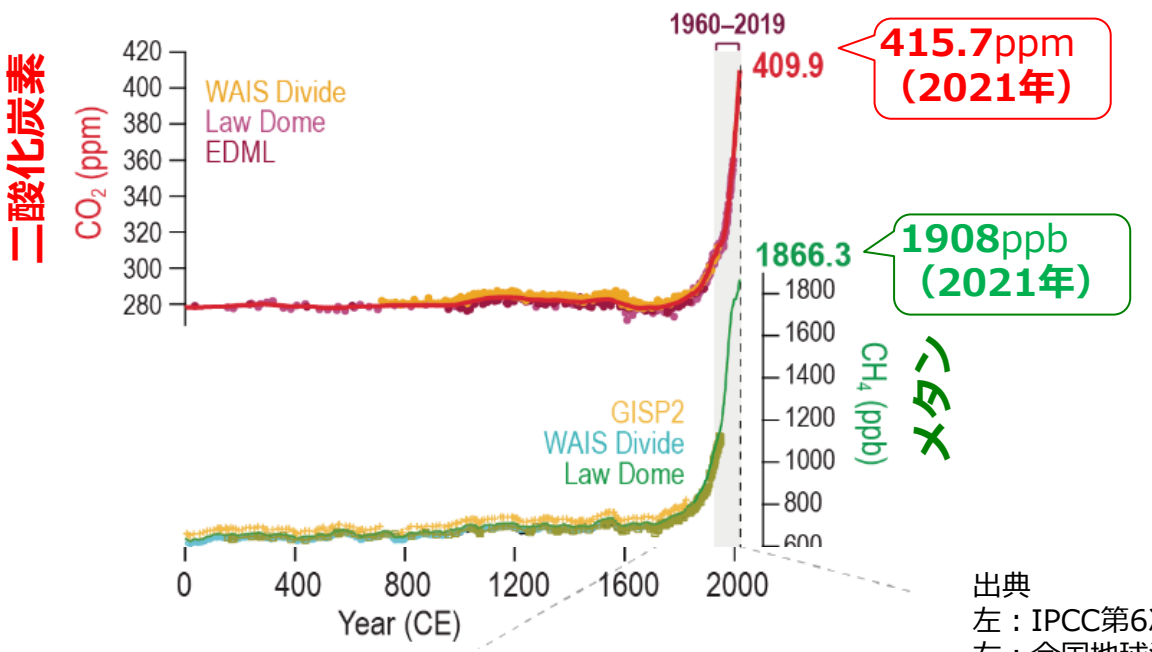
（右）温暖化した地球

- 18世紀半ばの産業革命以降、二酸化炭素、メタンなど主要な温室効果ガスの濃度が急激に増加。
- 増加した温室効果ガスによって、もっとたくさんの熱を吸収して地表面に再び放出され、地球の気温が上昇する。（地球温暖化）

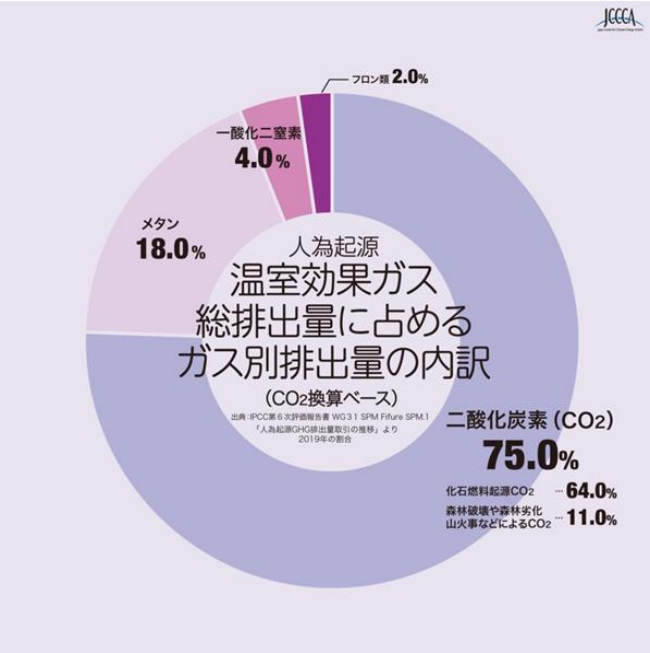
温室効果ガスの増加の現状

- 人為的な温室効果ガスの排出量は、19世紀後半から、急激に増加し続けている。
  - 2021年の大気中のCO_2濃度は415.7ppm（WMO 2022, 温室効果ガス年報）で、工業化以前（1750年頃、約278ppm）に比べて約49%増加。
- 大気中のCO_2濃度は少なくとも過去200万年間のどの時点よりも高い。
  <IPCC第6次評価報告書>

地球全体の大気中の温室効果ガスの濃度（二酸化炭素、メタン）



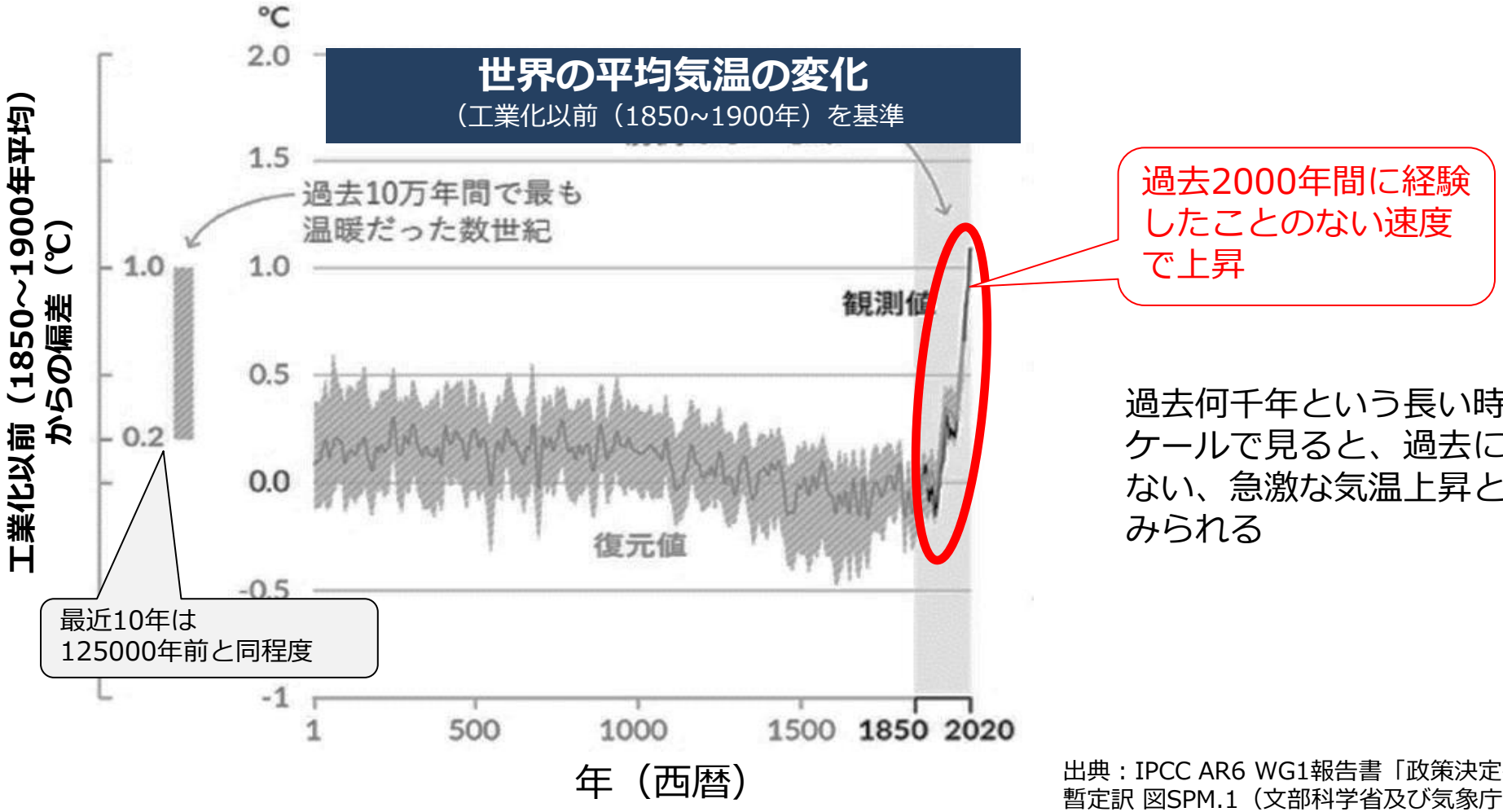
温室効果ガスの内訳（2019年）



出典
左：IPCC第6次評価報告書第1作業部会報告書 TS図9に加筆
右：全国地球温暖化防止活動推進センターWebサイト（https://www.jccca.org/）

19世紀後半以降、歴史的に見ても急激な気温上昇

- 世界平均気温は過去2000年間に経験したことのない速度で上昇。
- 最近10年の気温は、過去10万年で最も温暖だった約6500年前より温暖で、それより前の直近の温暖期は約12万5000年前の最終間氷期（地球の公転軌道と自転の傾きの変化による）までさかのぼる。



過去何千年という長い時間スケールで見ると、過去に例がない、急激な気温上昇としてみられる

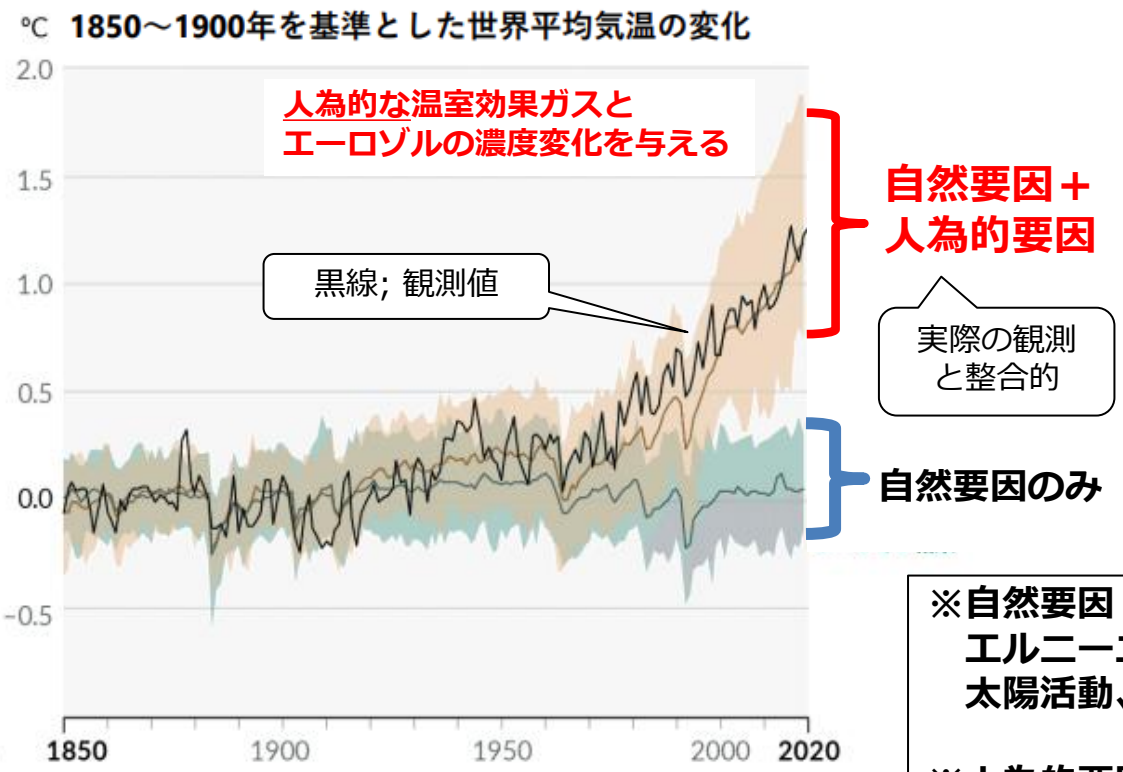
出典：IPCC AR6 WG1報告書「政策決定者向け要約」暫定訳 図SPM.1（文部科学省及び気象庁）に加筆

（IPCC第6次評価報告書）温室効果ガスの増加と地球温暖化

気象庁 Japan Meteorological Agency

- 「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない。」<IPCC第6次評価報告書>

観測とシミュレートされた気候変動の比較



出典：IPCC第6次評価報告書第1作業部会報告書 「政策決定者向け要約」暫定訳 図SPM.1（文部科学省及び気象庁）に加筆

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）

- 世界気象機関（WMO）及び国連環境計画（UNEP）により1988年に設立された政府間組織。2022年4月現在、195の国や地域が参加。
- 気候変動に関する最新の科学的知見を評価。科学的中立性を重視。政策的に中立であり、特定の政策の提案を行わない。
- 自ら研究を行うのではなく、世界中の科学者の協力の下、出版された文献に基づいて定期的に報告書を作成。
- 気候変動枠組条約（UNFCCC）をはじめとする国際交渉や、各国における国内政策のための基礎情報として、世界中の政策決定者が報告書を利用。

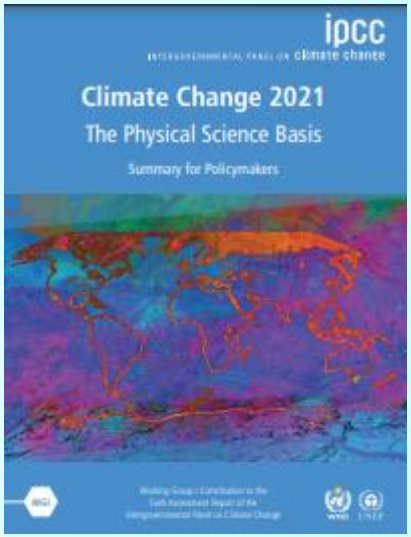
※自然要因
エルニーニョ現象などの海洋と大気の変動
太陽活動、火山活動

※人為的要因
温室効果ガス、エーロゾル

これまでの気候の変化　～過去から現在の観測成果～

“人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない。大気、海洋、雪氷圏及び生物圏において、広範囲かつ急速な変化が現れている。”

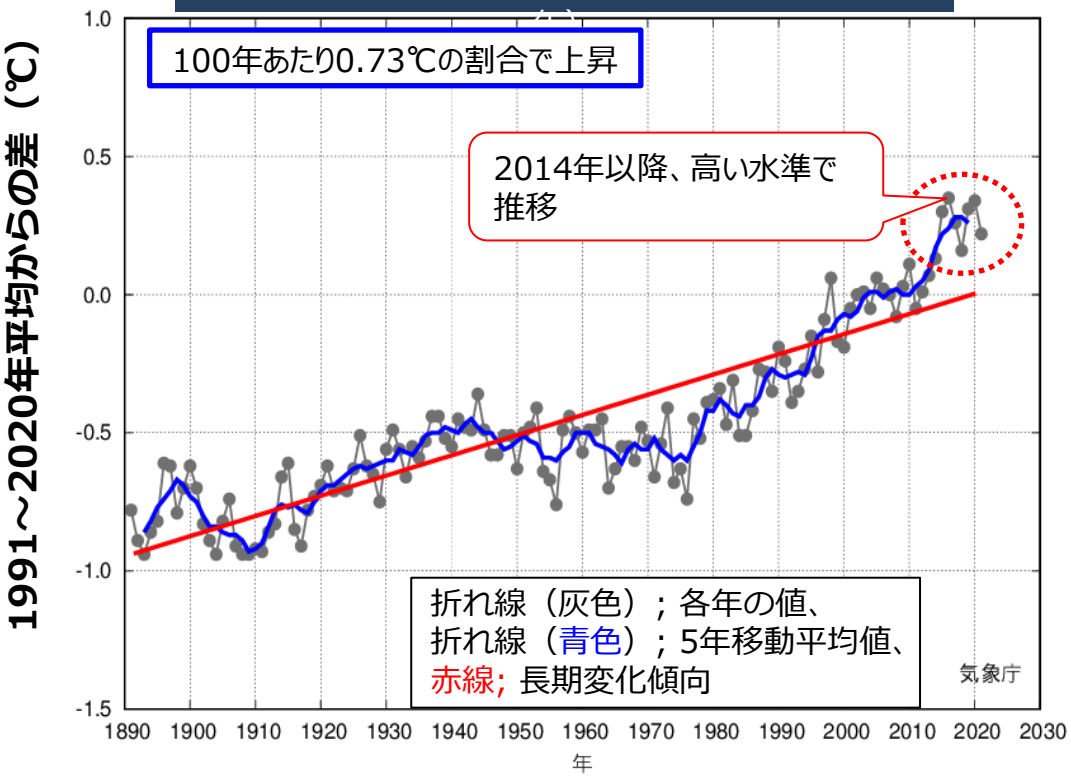
–気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書第1作業部会報告書（IPCC AR6/WG1）
政策決定者向け要約（SPM）　A.1



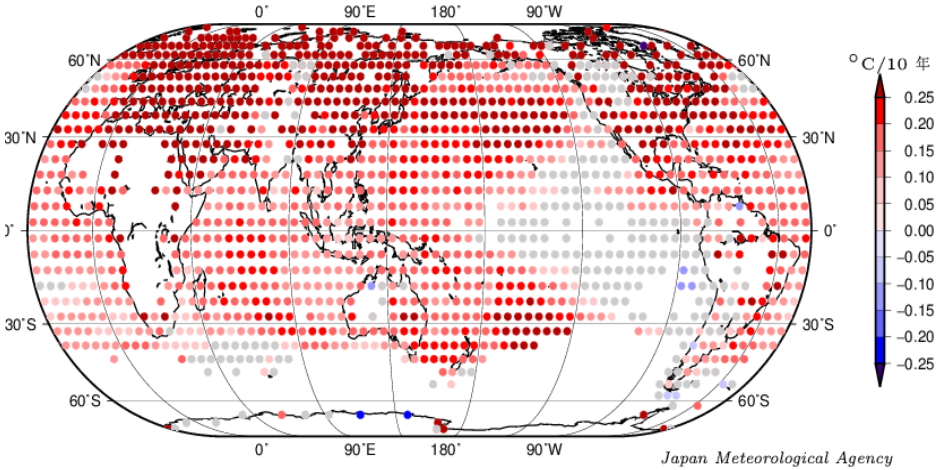
世界の年平均気温のこれまでの変化

- 世界の平均気温は、人間の影響によって既に工業化以前より約1℃上昇している。
- 1970年以降、少なくとも過去2000年間にわたり、他のどの50年間にも経験したことのない速度で上昇。（IPCC第6次評価報告書）
- 最近8年（2014～2021年）で、統計開始以来の高温の記録1位～8位を占めている。

世界の平均気温の推移（1891～2021年）



年平均気温の長期変化傾向（1979～2021年）



図中の丸印は、5°x 5° 格子で平均した 1979-2021 年の長期変化傾向（10 年あたり）を示す。
灰色は、信頼度 90 %で統計的に有意でない格子を示す。

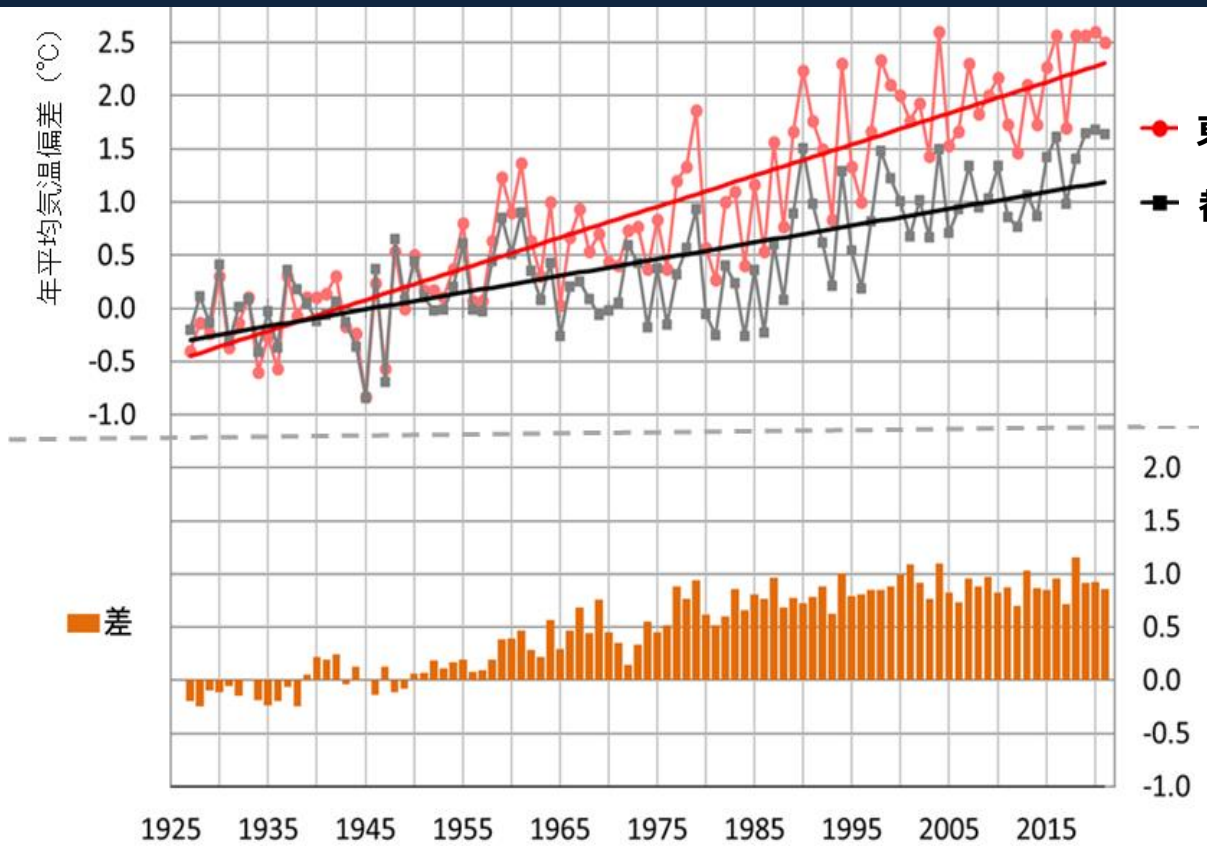
緯度・経度5度に区切った領域ごとに区切り、10年当たりの長期変化傾向を示す。
（統計がない領域は空白で示す。）

気象庁HP「世界の年平均気温」https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html

地球温暖化×都市化（都市域では気温上昇が一段と大きい）

- **都市部の気温は**、地球温暖化と都市化の影響の両方の影響が重なり、**全国平均を上回る割合で上昇**。
- 大都市で気温上昇の程度が大きいという状況は、1950年代後半から1970年頃にかけて急速に明瞭となり、現在に至っている。

大都市と都市化の小さい地点における年平均気温偏差（1927年～）



東京・名古屋・大阪の3都市平均

都市化の影響が比較的小さい15地点の平均
（網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、多度津、宮崎、名瀬、石垣島）

【メモ】〇年平均気温の上昇の割合

東京　**2.6℃**／100年（1876～2021年）
大阪　**2.0℃**／100年（1883～2021年）
名古屋　**2.2℃**／100年（1891～2021年）
都市化の影響の小さい15地点
　　1.28℃／100年（1898～2021年）

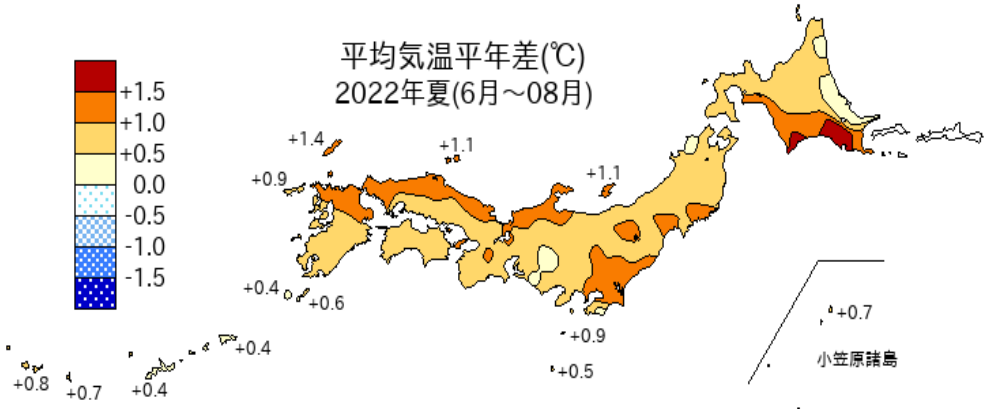
「平均気温」の1℃の変動は大きい

- 日々の気温では、「1℃」の変動は大きいと感じないのではないでしょうか？
- 一方、季節や年の平均的な状態に着目すると、「平均気温」の1℃の違いは大きい。

↑　日々の気温と季節や年の平均気温では、変動の大きさが違うことに留意！

例えば、夏の平均気温の高い記録に着目すると…

2022年の夏（6～8月）の平均気温



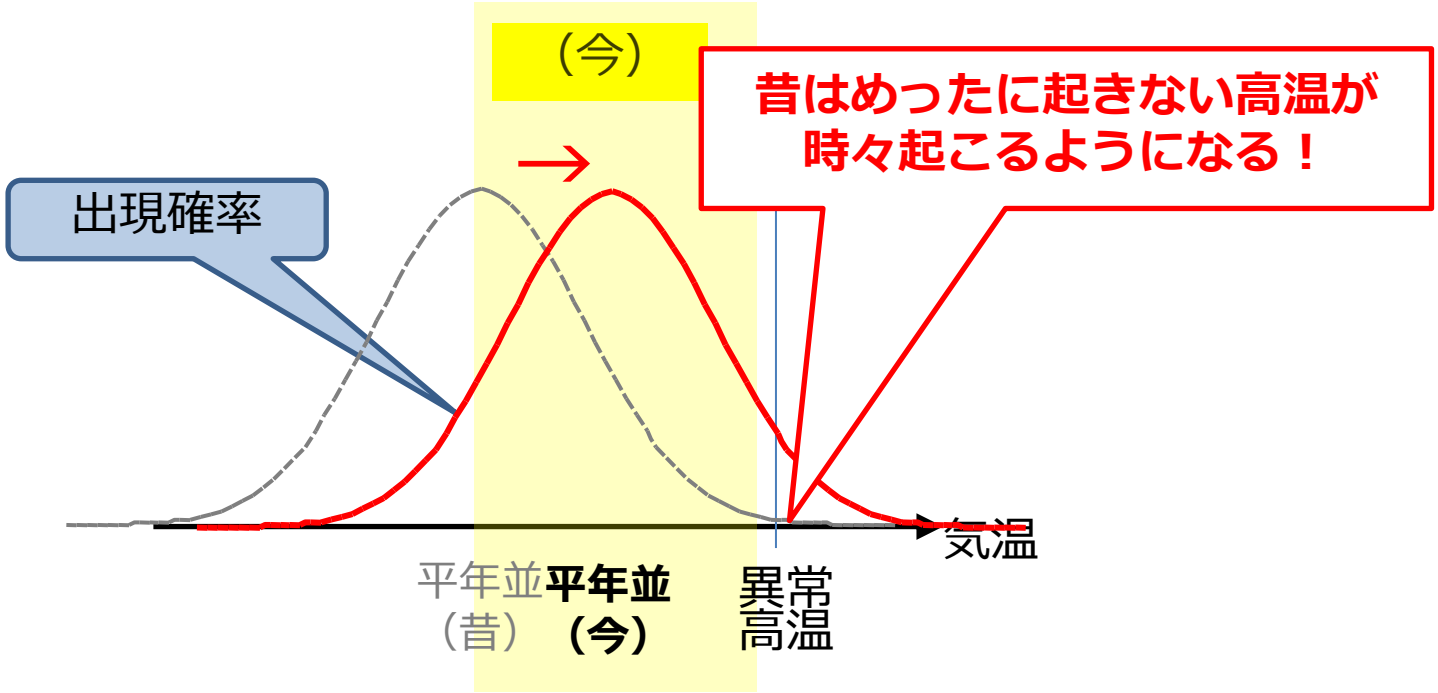
東日本の夏（6～8月）の平均気温の順位表

順位	東日本 年　（平年差）
1位	2018年（+1.3℃）
2位	2010年（+1.1℃）
3位タイ	**2022年（+0.9℃）** 1994年（+0.9℃）

- 統計開始は1946年
- 平年値の統計期間は1991～2020年

地球温暖化の進行で異常気象の起こりやすさが上がる

○極端な気象現象は、その時点の大気の流れなどの自然変動により、地球温暖化の影響に関わらず、いつの時代も起こる。
○しかし、**地球温暖化の進行により、異常気象の「起こりやすさ」の度合いが押し上がる**ことがポイント。

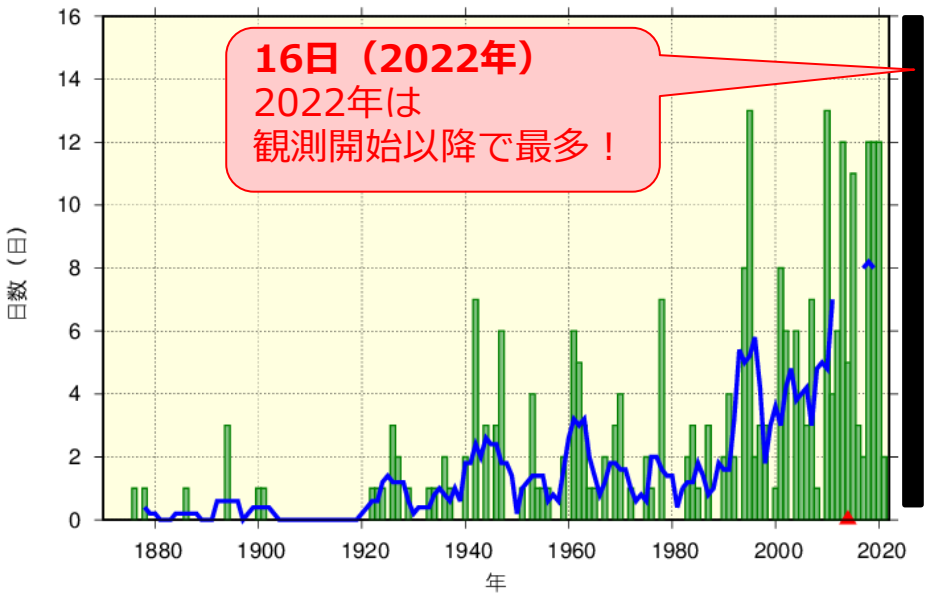


気温の出現確率のイメージ

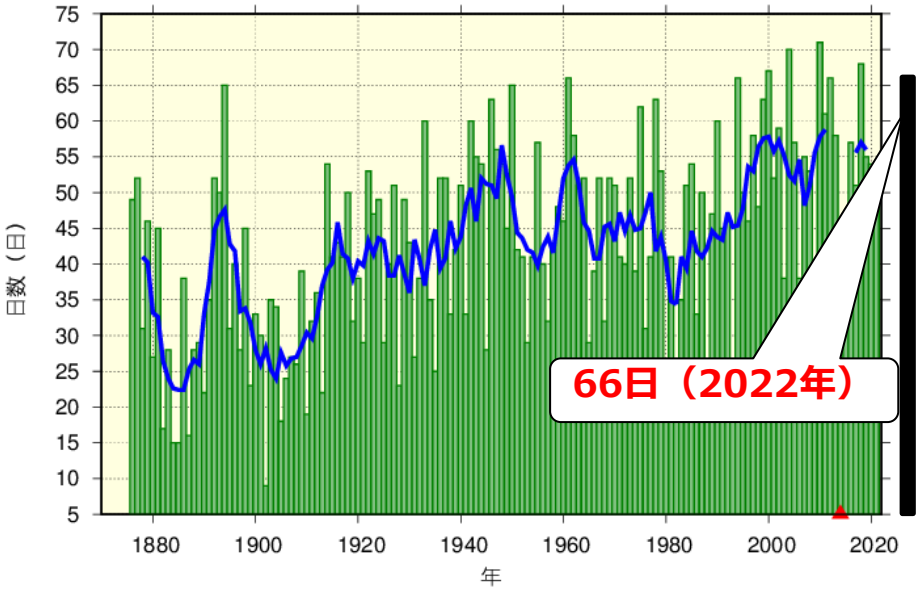
東京における極端な高温のこれまでの変化

■ 真夏日、猛暑日、熱帯夜（図略）など、極端な高温の発生頻度は長期的に上昇。
　✓ 2022年の東京の猛暑日日数は、1876年の観測開始以降で最多

東京の年間猛暑日日数
（1876~2021年）



東京の年間真夏日日数
（1876~2021年）



観測場所の移転（▲）
青線は5年移動平均を示す。

【メモ】　○猛暑日; 日最高気温35℃以上の日数
　　○真夏日; 日最高気温30℃以上の日数

日本の雨の降り方の変化①（1901年～）

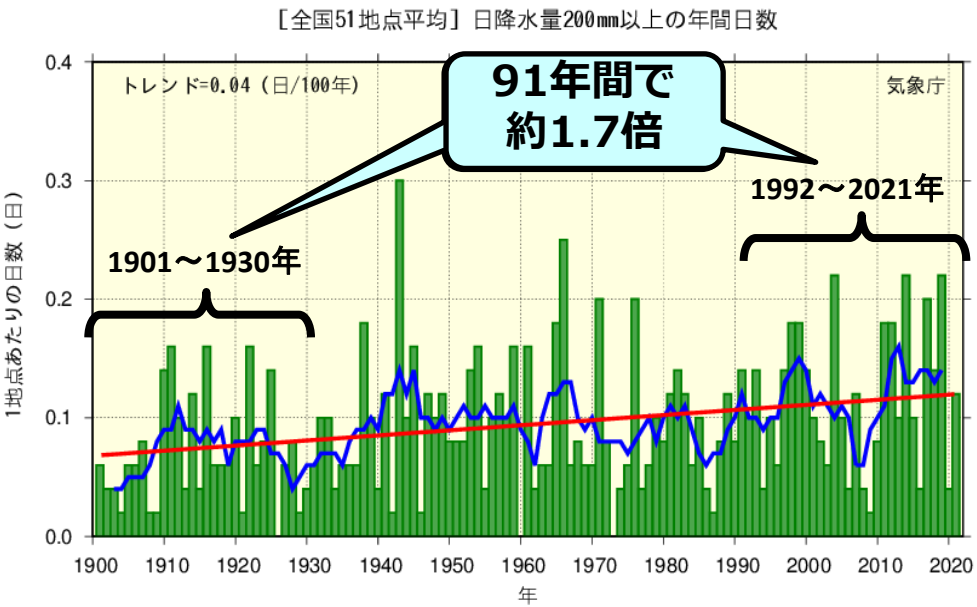
長期間観測している気象官署（全国51地点）により、雨の降り方の推移をみると、…

- 日降水量200mm以上の大雨の年間日数は増加している。91年間（※）で約1.7倍に増加。
- 一方、雨の降る日の年間日数は、91年間（※）で約1割減少している。

⇒大雨の発生頻度は増加している一方、雨の降らない日も増加**（雨の降り方の極端化）**

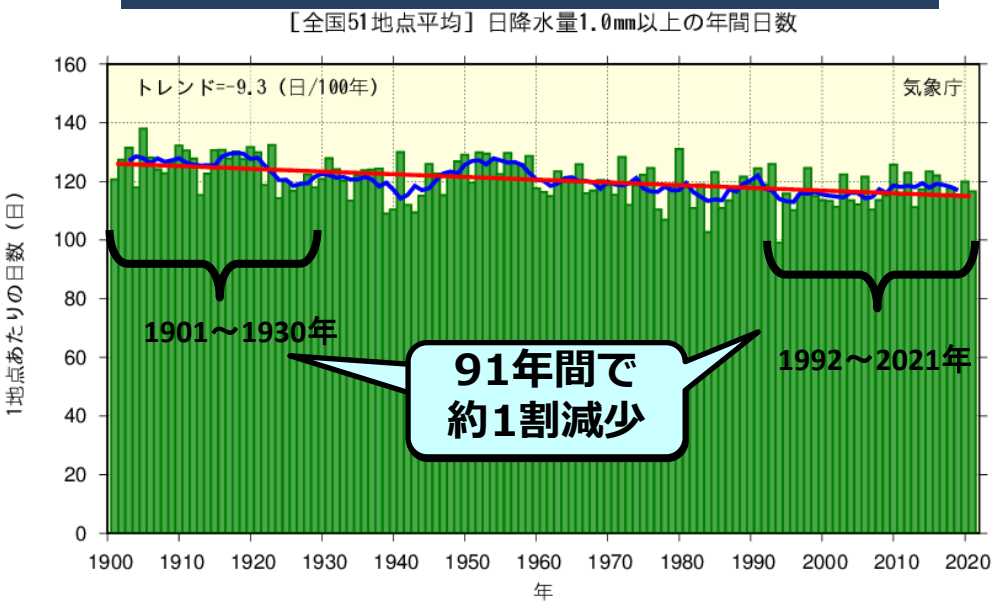
※　最近30年間（1992～2021年）と統計期間の最初の30年間（1901～1930年）の比較

日降水量200mm以上の大雨の年間日数（1901年～）



棒グラフ：各年の年間発生回数（1地点当たりに換算）
赤線：長期変化傾向、青線：5年移動平均値

降水日数（日降水量1mm以上）の年間日数（1901年～）



出典：気象庁HP（大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化）
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html

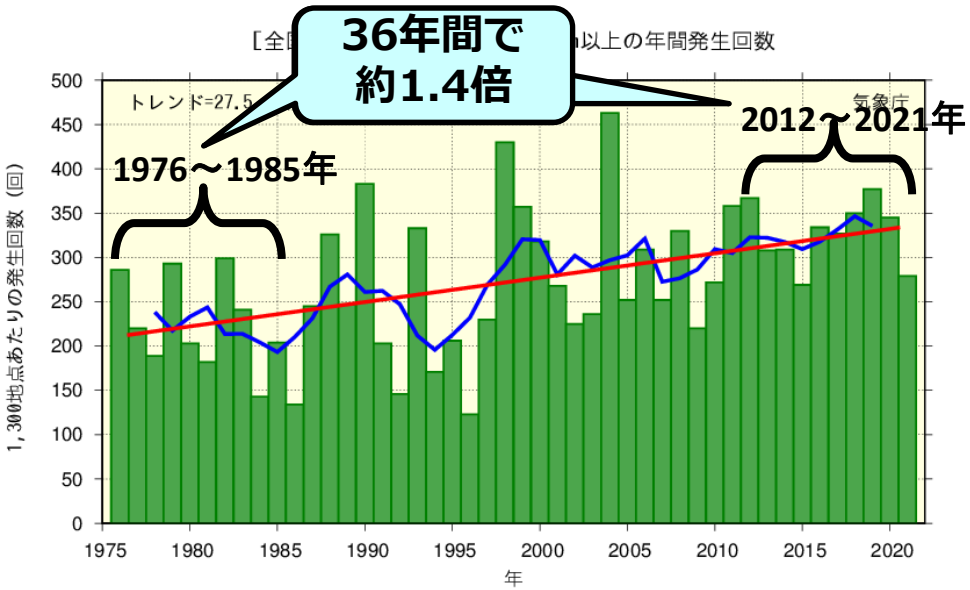
日本の雨の降り方の変化②（1976年～）

より密に設置されているアメダス（全国約1300地点）により、最近40年程度の雨の降り方の推移をみると、…

- 日降水量200mmや1時間降水量50mmの非常に激しい雨などの発生頻度は増加傾向

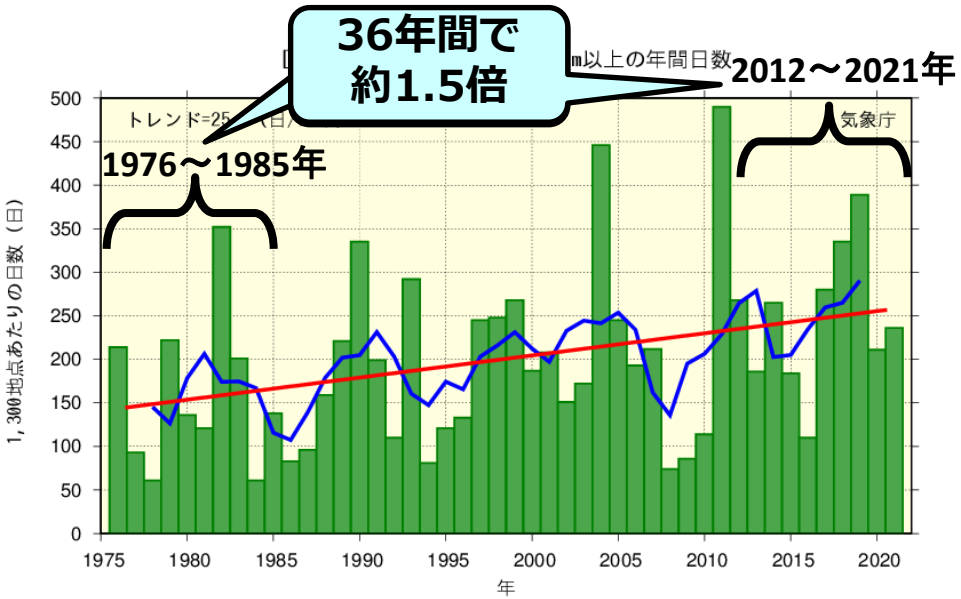
（より確実に評価するためには今後のさらなるデータの蓄積が必要。）

1時間降水量50mm以上の非常に激しい雨の年間日数（1976年～）



棒グラフ：各年の年間発生回数 （1300地点当たりに換算）
赤線：長期変化傾向、青線：5年移動平均値

日降水量200mm以上の大雨の年間日数（1976年～）

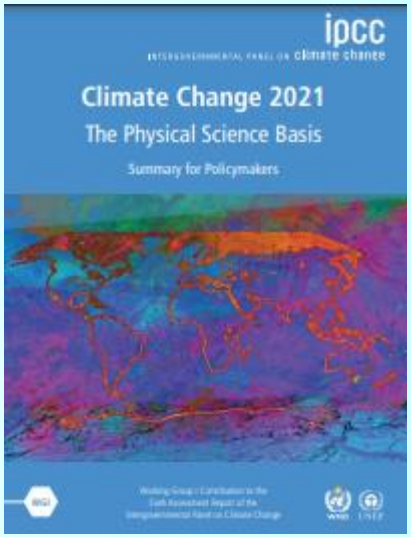


出典：気象庁HP（大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化）
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html

気候の将来予測

“地球温暖化が更に進行するにつれ、極端現象の頻度と強度に予測される 変化が大きくなる”

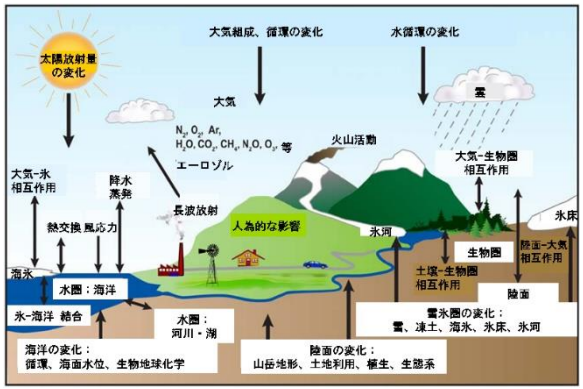
–気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書第1作業部会報告書（IPCC AR6/WG1）
政策決定者向け要約（SPM）　図SPM.6



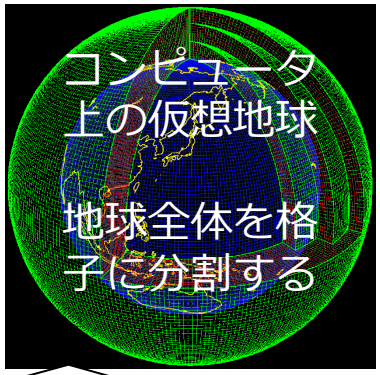
気候変動の将来予測の方法

- 将来気候を予測するために「気候モデル」による数値予測を行う。
  - コンピュータ上の仮想の地球（モデル）に、温室効果ガスの将来の見通し（シナリオ）を与え、将来の大気と海洋に多雨する応答を予測計算する。
  - 原理は天気予報に用いる数値予報と同じだが、（日々の天気ではなく）気候がどうなるかに着目する点が異なる。
- 日本付近の詳細な評価を効率的に行うため、地球全体の予測結果を基に、日本付近を高分解能で表せるモデルで計算する。

気候システムの理解



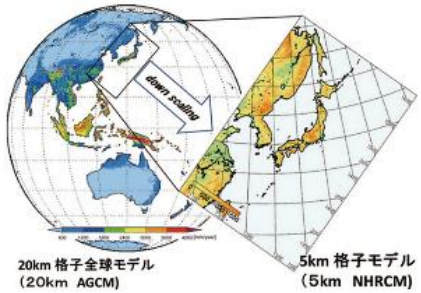
気候モデル



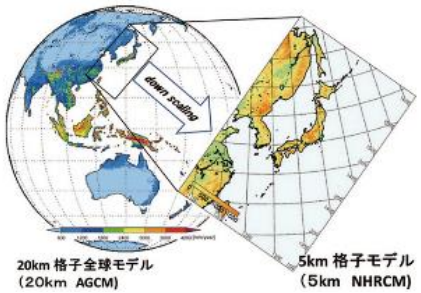
気候システムを構成する大気、海洋、陸面、氷床等の中で起こる動きや変化を物理の法則に従って定式化。
大気・海洋・陸面の変動を表す物理学の方程式を基にして、コンピュータプログラムを作る。

地球全体の気候の予測 ⇨ 日本付近を拡大して再計算

排出量が多い場合



排出量が少ない場合



将来予測のための温室効果ガス排出シナリオ

気象庁 Japan Meteorological Agency

シナリオ	シナリオの概要	近い RCP シナリオ
排出量少 SSP1-1.9	持続可能な発展の下で、工業化前を基準とする 21 世紀末までの昇温（中央値）を概ね（わずかに超えることはあるものの）約 1.5°C以下に抑える気候政策を導入。21 世紀半ばに CO_2 排出正味ゼロの見込み。	該当なし
SSP1-2.6	持続可能な発展の下で、工業化前を基準とする昇温（中央値）を 2°C 未満に抑える気候政策を導入。21 世紀後半に CO_2 排出正味ゼロの見込み。	RCP2.6
SSP2-4.5	中道的な発展の下で気候政策を導入。2030 年までの各国の「自国決定貢献（NDC）」を集計した排出量の上限にほぼ位置する。工業化前を基準とする 21 世紀末までの昇温は約 2.7°C（最良推定値）。	RCP4.5（2050 年までは RCP6.0 にも近い）
SSP3-7.0	地域対立的な発展の下で気候政策を導入しない中～高位参照シナリオ。エーロゾルなど CO_2 以外の排出が多い。	RCP6.0 と RCP8.5 の間
SSP5-8.5 排出量大	化石燃料依存型の発展の下で気候政策を導入しない高位参照シナリオ。	RCP8.5

●2℃上昇シナリオ

➡パリ協定の2℃目標が達成された世界

●4℃上昇シナリオ

➡追加的な緩和策を取らなかった世界

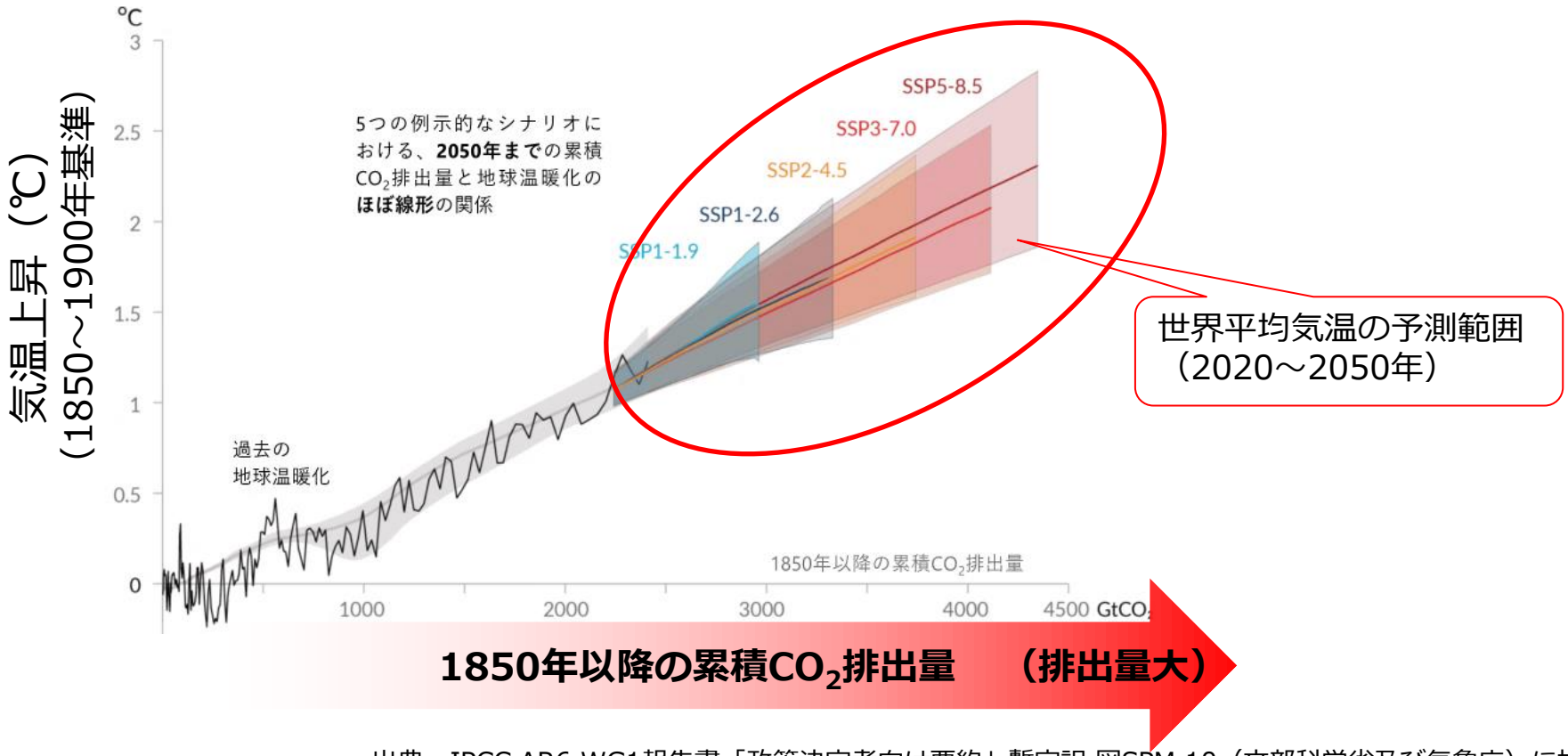
出典：令和3年8月9日気象庁報道発表　気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書第1作業部会報告書（自然科学的根拠）の公表について、別添3（参考資料）
https://www.jma.go.jp/jma/press/2108/09a/ipcc_ar6_wg1_a3.pdf

※2, 4℃上昇は、21世紀末における工業化以前（1850～1900年平均）からの世界平均気温の上昇

気温上昇は累積CO_2排出量とほぼ比例する

- 世界の平均気温の上昇は、累積CO_2排出量とほぼ比例して決まる。
- 将来の気候は今後の温室効果ガスの排出程度（シナリオ）により変わる。
- 世界の平均気温は、排出量が非常に少ないシナリオにおいても、少なくとも今世紀半ばまでは上昇を続ける予測となっている。

累積CO_2と世界平均気温の上昇（1850～1900年基準）



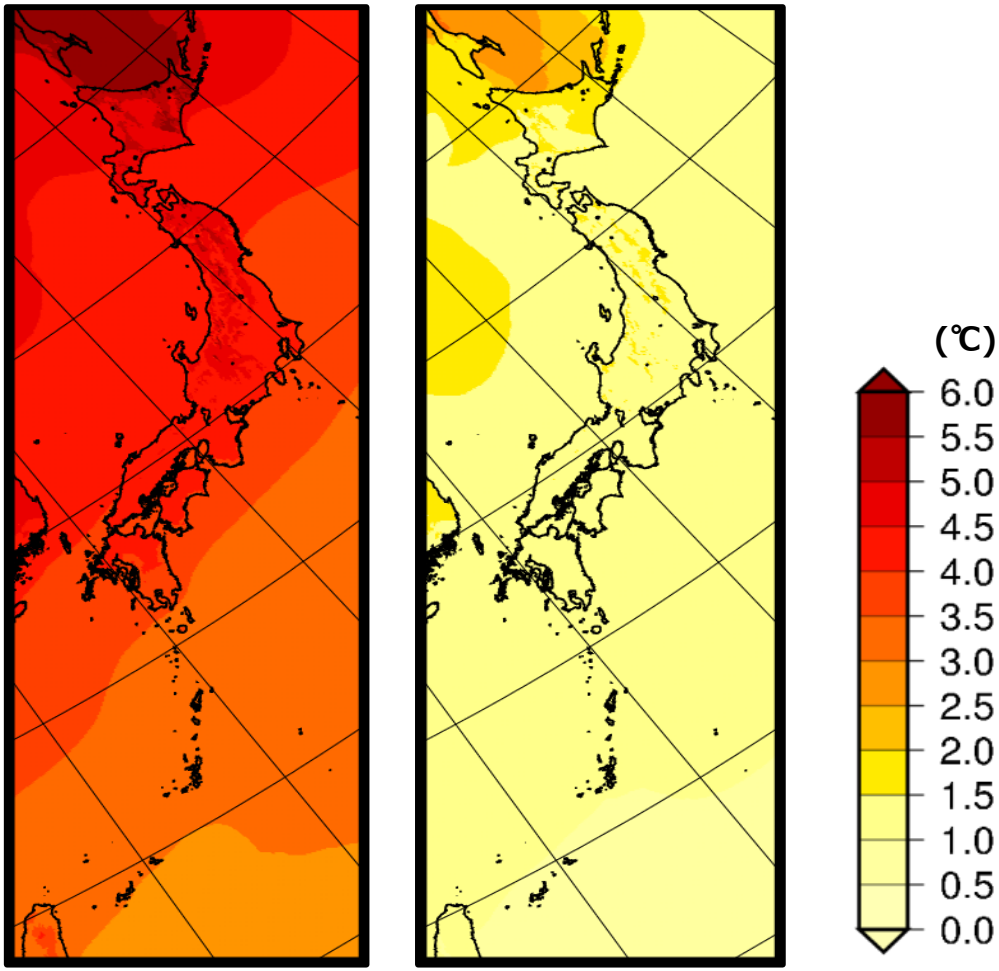
出典：IPCC AR6 WG1報告書「政策決定者向け要約」暫定訳 図SPM.10（文部科学省及び気象庁）に加筆

気温の将来変化の予測（東京都） 21世紀末－20世紀末

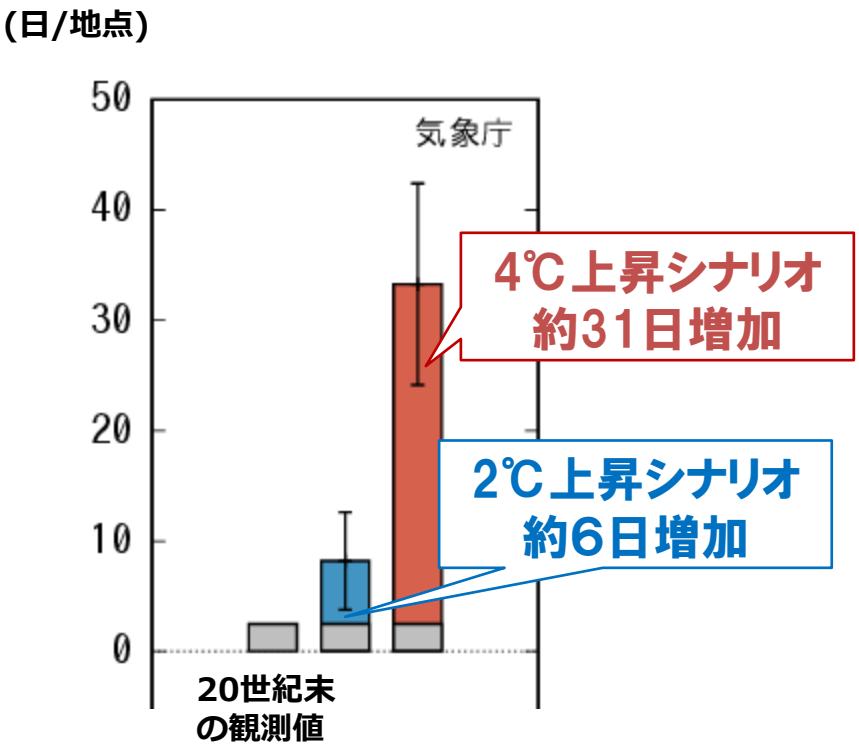
年平均気温の将来変化の予測
（21世紀末－20世紀末）

4℃上昇シナリオ
（RCP8.5）

2℃上昇シナリオ
（RCP2.6）



東京都における
猛暑日（日最高気温35℃以上）の
年間日数の将来変化の予測
(21世紀末－20世紀末)



気象庁の気候予測モデルでで予測した21世紀末（2076～2095年）の気候から気候モデルで再現した20世紀末（1980～1999年）の比較

雨の将来変化の予測　21世紀末－20世紀末

- 「地球温暖化の進行に伴い、大雨は多くの地域で強く、より頻繁になる可能性が非常に高い。」　（IPCC第6次評価報告書）
- パリ協定にて合意された２℃目標が達成された状況を仮定した場合であっても、極端な大雨の発生頻度は増加する予測となっている。

	2℃上昇シナリオ	4℃上昇シナリオ
1時間50㎜以上の非常に激しい雨の年間日数	**約1.6倍に増加**	**約2.3倍に増加**
日降水量200mm以上の大雨の年間日数	**約1.5倍に増加**	**約2.3倍に増加**
年降水量	有意な変化は予測されていない	有意な変化は予測されていない
年間の無降水日数	有意な変化は予測されていない	年間で**約8.2日増加**

気象庁の気候予測モデルでで予測した21世紀末（2076～2095年）の気候から気候モデルで再現した20世紀末（1980～1999年）の比較

台風のこれまでの変化と将来予測

● これまでの変化

世界の強い熱帯低気圧（※1)の割合は増加している可能性が高く、北西太平洋域の熱帯低気圧がその強度のピークに達する緯度が北に遷移している可能性が高い。

（※1　1分間平均風速50m/s以上（カテゴリー３以上）。
原訳は「強い」だが、気象庁の階級の「強い」より更に強い基準であることに留意。）

● 将来予測

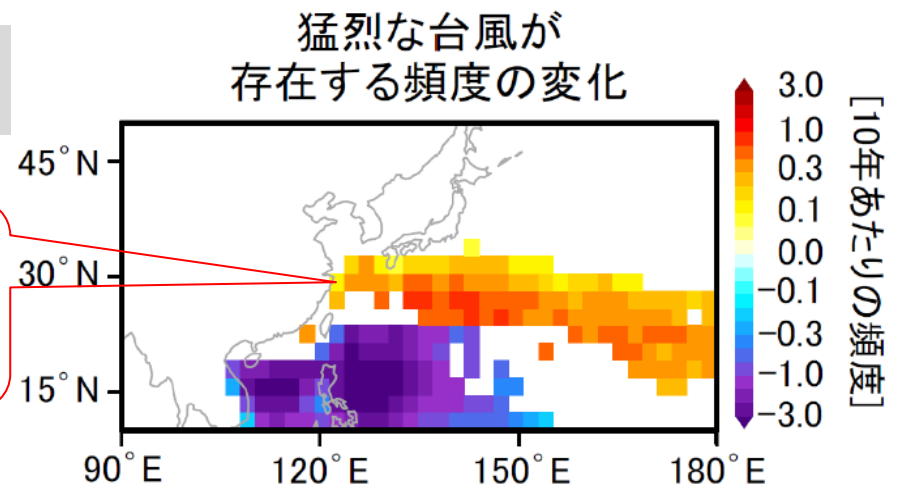
地球温暖化の進行に伴い、地球規模では、非常に強い熱帯低気圧（※2）の割合と最も強い熱帯低気圧（カテゴリー4～5）のピーク時の風速は増加すると予測されている（確信度が高い）

（※２　1分間平均風速58m/s以上（カテゴリー4以上）。
原訳は「非常に強い」だが、気象庁の階級の「非常に強い」より更に強い基準であることに留意。）

（IPCC第6次評価報告書 「政策決定者向け要約」暫定訳 ）

4℃上昇シナリオ（RCP8.5）

将来、日本の南海上で、非常に発達した熱帯低気圧の存在頻度が増加する予測。



※　本研究では、1分間最大風速58m/s以上

出典：平成29年10月26日
気象研究所・気象業務支援センター報道発表資料

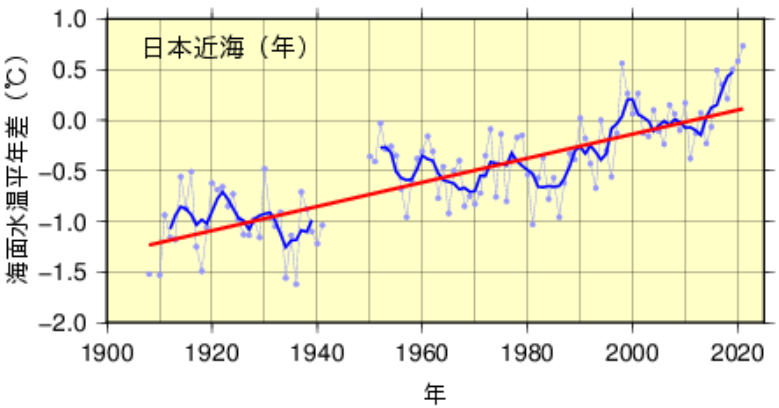
最後に、海面水温と海面水位のことも
少しお話しします。

日本周辺の海面水温のこれまでの変化と将来予測

これまでの変化

- 日本近海における、2021年までのおよそ100年間にわたる海域平均海面水温（年平均）の上昇率は、+1.19℃/100年。
- この上昇率は、世界全体で平均した海面水温の上昇率（+0.56℃/100年）よりも大きい。

日本沿岸の年平均海面水温の変化
（1906～2021年）



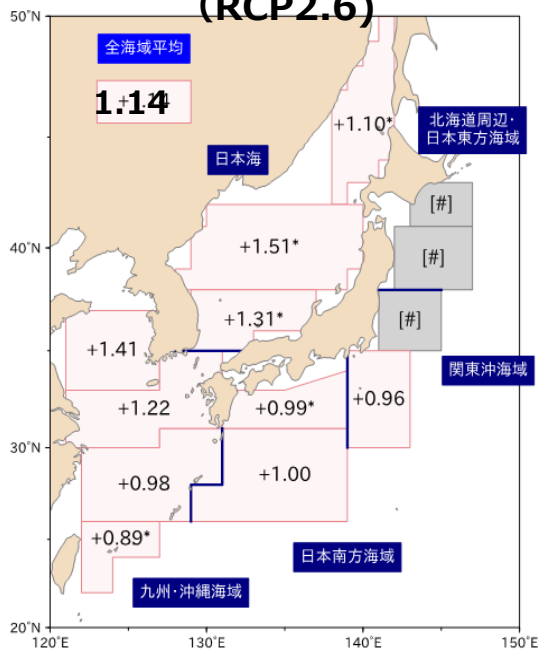
青丸は各年の平年差を、青の太い実線は5年移動平均値
赤線：長期変化傾向

出典; 気象庁HP「海面水温の長期変化傾向（日本近海）」
https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html

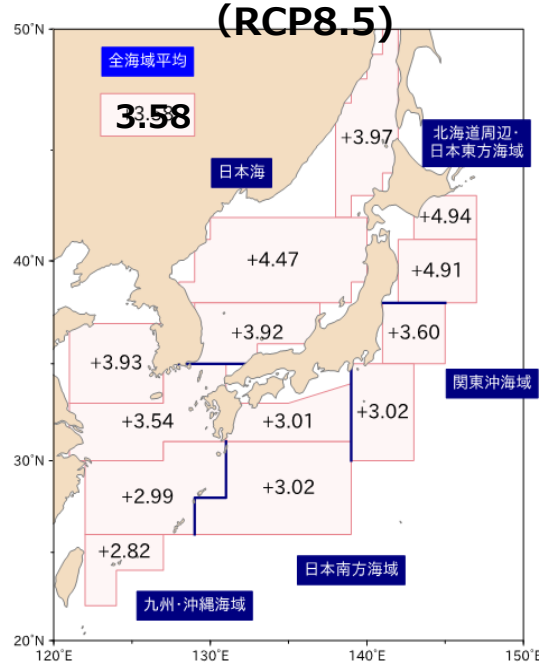
将来予測

- いずれの温室効果ガスの排出シナリオにおいても、21世紀末の日本近海の平均海面水温は上昇すると予測（確信度が高い）。
  - 2℃上昇シナリオで1.1±0.6℃
  - 4℃上昇シナリオで3.6±1.3℃

2℃上昇シナリオ（RCP2.6）



4℃上昇シナリオ（RCP8.5）



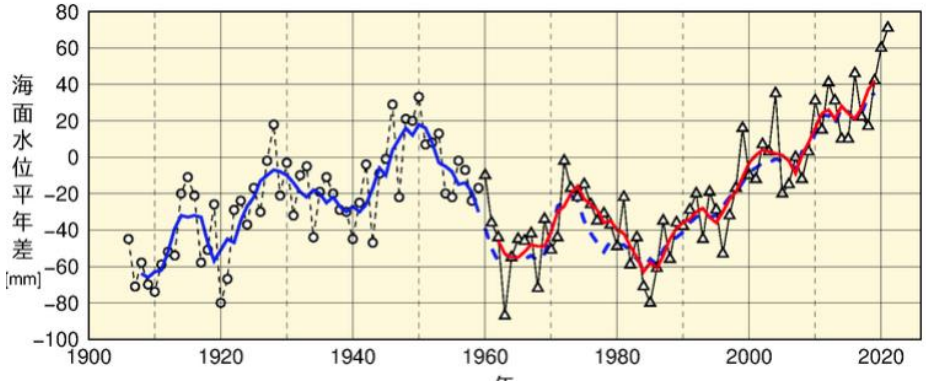
出典; 文部科学省・気象庁 2020,「日本の気候変動2020」図9.2.2

日本周辺の海面水位のこれまでの変化と将来予測

これまでの変化

- 1906～2021年の期間では有意な上昇傾向はみられないものの、1980年代以降、上昇傾向が見られる。

日本沿岸の年平均海面水位の変化
（1906～2021年）



出典; 気象庁HP「日本沿岸の海面水位の長期変化傾向」
https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/a_1/sl_trend/sl_trend.html

将来予測

- 20世紀末と比べた21世紀末の日本沿岸の平均海面水位は上昇すると予測（確信度が高い）。
- 日本沿岸の平均海面水位は世界平均とほぼ同じ。
  - 2℃上昇シナリオで約0.39m上昇
  - 4℃上昇シナリオで約0.71m上昇

2℃上昇シナリオ（RCP2.6）　　**4℃上昇シナリオ（RCP8.5）**

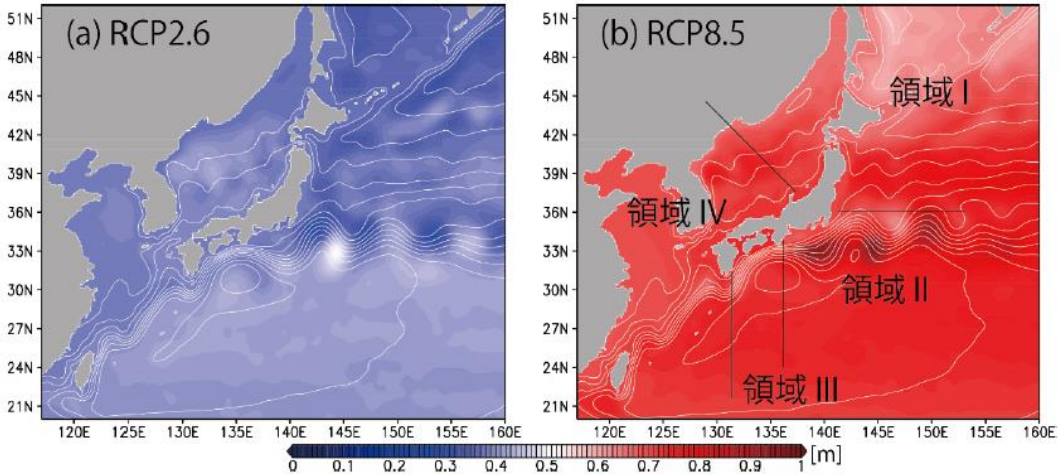


図 10.2.3　SI-CAT 海洋モデルによる

出典; 文部科学省・気象庁 2020,「日本の気候変動2020」図10.2.3

さいごに

気象庁では気候変動の現状や予測に関する情報を提供しています

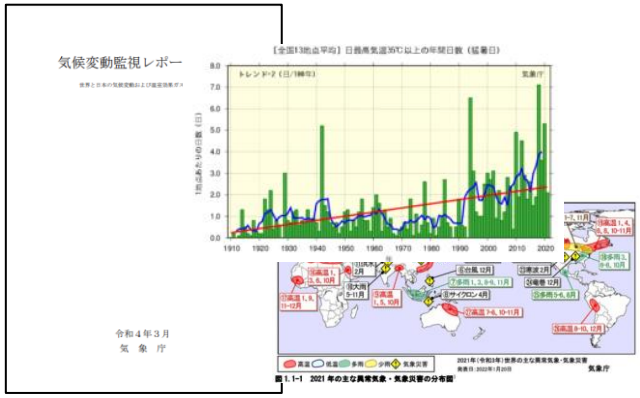
気象庁
Japan Meteorological Agency

- **リーフレット「東京都の気候変動」**
  （東京管区気象台）
  - 東京都県の気温や大雨等のこれまでの変化や21世紀末の予測を簡潔にまとめたリーフレット

東京都の気候変動 | 検索

- **気候変動監視レポート2021**
  （気象庁Webページ）
  - 日本と世界の大気、海洋等の観測及び監視結果に基づいた最新の科学的な知見をとりまとめた年次報告。

気候変動監視レポート | 検索



- **日本の気候変動2020**
  （文部科学省・気象庁）
  - 日本の気候変動の現状や予測、要因などの科学的知見をまとめた資料

日本の気候変動2020 | 検索

- **IPCC第6次評価報告書**（気象庁HP）
  - IPCCが公表している世界の気候変動に関する最新の報告書

将来予測まとめ

文部科学省 MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN　気象庁 Japan Meteorological Agency

21世紀末の日本は、20世紀末と比べ…

※ 黄色は2°C上昇シナリオ（RCP2.6）、
紫色は4°C上昇シナリオ（RCP8.5）による予測

年平均気温が約1.4°C/約4.5°C上昇

猛暑日や熱帯夜はますます増加し、
冬日は減少する。

海面水温が約1.14°C/約3.58°C上昇

温まりやすい陸地に近いことや暖流の影響で、
予測される上昇量は世界平均よりも大きい。

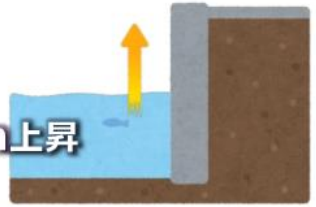
降雪・積雪は減少

雪ではなく雨が降る。
ただし大雪のリスクが
低下するとは限らない。

激しい雨が増える

日降水量の年最大値は
約12%（約15 mm）/ 約27%（約33 mm）増加
50 mm/h以上の雨の頻度は 約1.6倍/約2.3倍に増加

沿岸の海面水位が約0.39 m/約0.71 m上昇



3月のオホーツク海海氷面積は約28%/約70%減少

【参考】4°C上昇シナリオ（RCP8.5）では、
21世紀半ばには夏季に北極海の海氷が
ほとんど融解すると予測されている。

強い台風の割合が増加
台風に伴う雨と風は強まる

日本南方や沖縄周辺においても世界平均と同程度の速度で海洋酸性化が進行

13

※ この資料において「将来予測」は、特段の説明がない限り、日本全国について、21世紀末時点の予測を20世紀末又は現在と比較したもの。

まとめ

- 世界、日本の気候は変化してきている。
- 科学者たちは温暖化への人間の影響について「疑う余地がない」と言い切った。
- 私たちは気候の大きな変化の中にあり、この先も続く。
- これまでに経験したことのないような極端な気象現象への対応が求められている。

　世界各国が一丸となって気候変動対策に取り組む中、我が国においても各省庁、地方公共団体、民間企業等が連携して、地球温暖化の進行を抑える取組や気候変動の対策に取り組んでいます。
　気象庁でも、日本及び世界の異常気象と気候変動を監視・予測の情報発信や顕著な気象現象の予測精度向上に引き続き努めてまいります。

おわり

ありがとうございました