

地球温暖化に伴う 気候変動の現状と将来予測

高松地方気象台

第1次評価報告書（1990年）

「人為起源の温室効果ガスは気候変化を生じさせるおそれがある」

第2次評価報告書（1995年）

「識別可能な人為的影響が全球の気候に現れている」

第3次評価報告書（2001年）

「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」

第4次評価報告書（2007年）

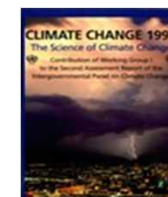
「気候システムの温暖化には疑う余地がない」

「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濃度の増加によってもたらされた可能性が非常に高い」

第5次評価報告書（2013～2014年）

「気候システムの温暖化には疑う余地がない」

「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支配的な原因であった可能性が極めて高い」



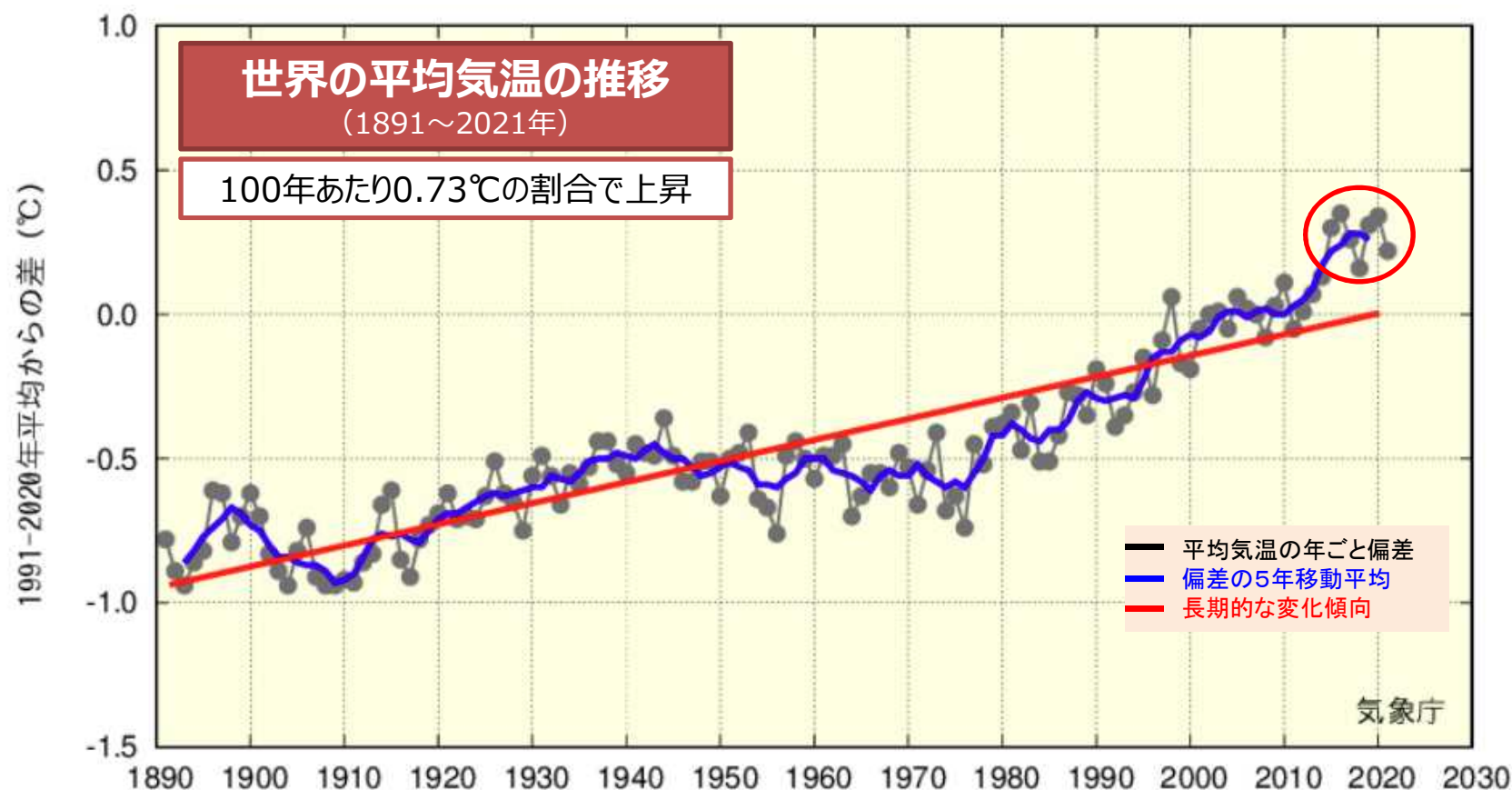
「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない。大気、海洋、雪氷圏及び生物圏において、広範囲かつ急速な変化が現れている。」

1. 地球温暖化の「いま」
 - 1-1. 地球温暖化とその要因
 - 1-2. 日本の気候の変化
 - 1-3. 異常気象

2. 地球温暖化の「これから」
 - 2-1. 世界の気候の将来予測
 - 2-2. 日本の気候の将来予測

1-1. 地球は温暖化している

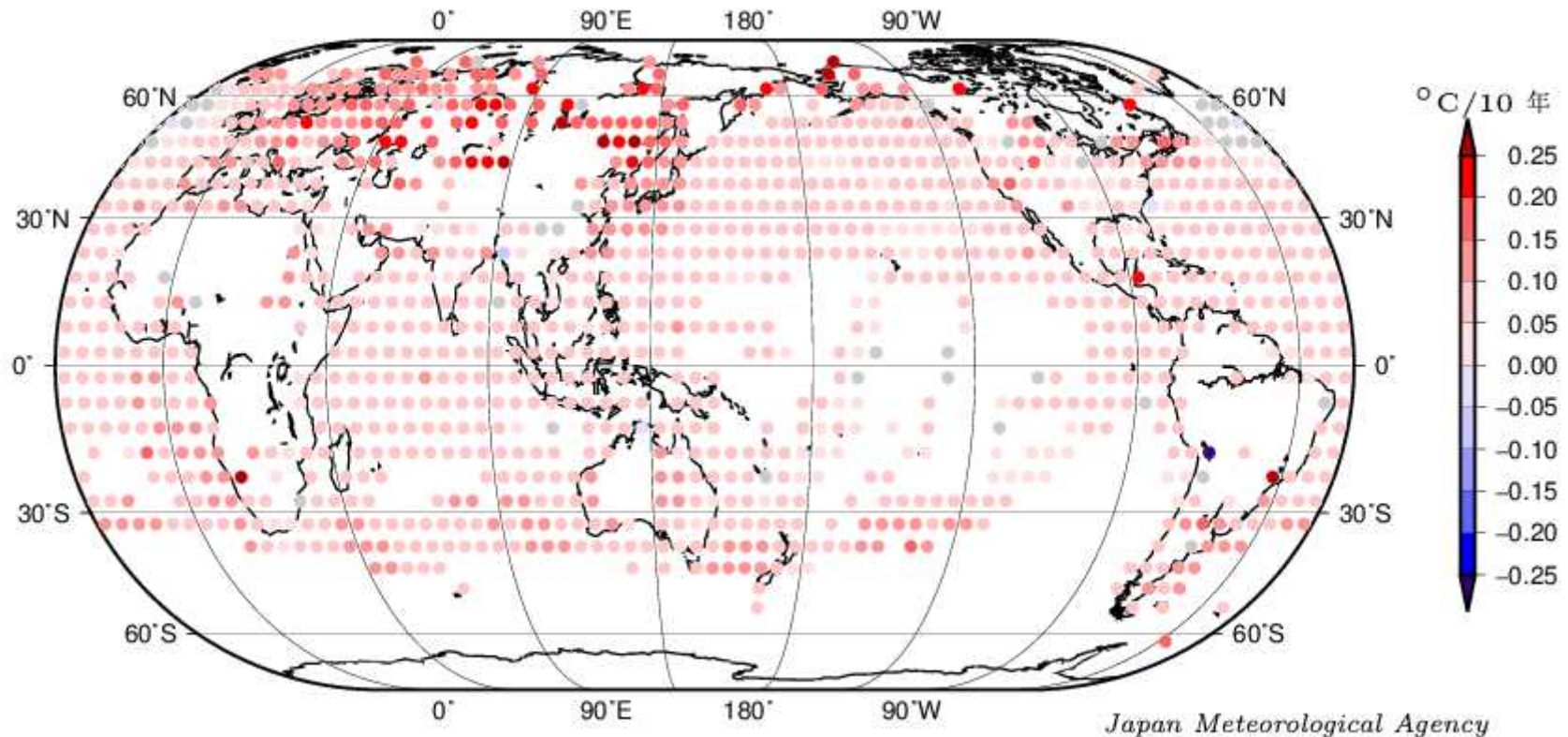
- 世界の年平均気温は、長期的には**100年あたり0.73℃の割合で上昇**。2021年は統計開始以降で第6位の高温。
- 人間活動の影響によって**既に工業化前より約1℃上昇している**。
(IPCC第6次評価報告書)



1-1. 地球は温暖化している

- ▶ 気温の長期変化傾向には、地域性があるが、多くの場所で気温は上昇。
気温上昇の割合は、海上より陸上が大きく、特に、**北半球の高緯度ほど大きい**。

世界の平均気温の長期変化傾向の分布 (1891-2021年)



図中の丸印は、 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 格子で平均した 1891-2021 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。

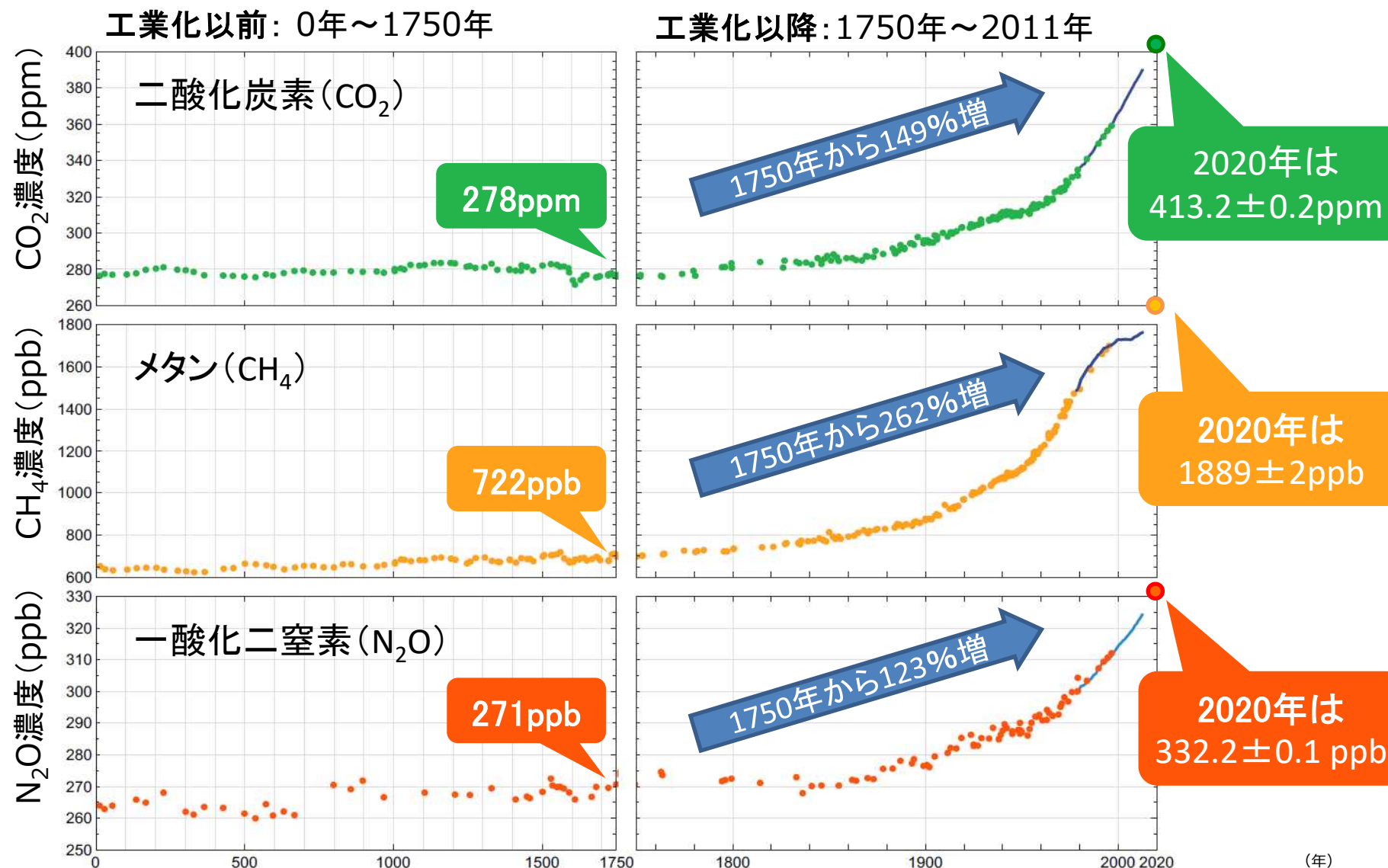
1-1. 温室効果とは？

- 大気にわずかに含まれる温室効果ガス（二酸化炭素など）は、太陽光で暖められた地表から放出された赤外線を吸収し、地表に向けて赤外線を放出。この戻ってきた赤外線が地表を再び暖める。
- これらの過程により、地表及び地表付近の大気を暖めることを「温室効果」という。



1-1. 大気中の温室効果ガス(CO₂、CH₄、N₂O)の濃度の増加

カラーのプロットデータは氷床コアなどの測定結果、近年における実線は直接的な大気の測定結果



出典 : IPCC(2013), AR5 WG1 Fig 6.11、WMO温室効果ガス年報第17号 (2021)

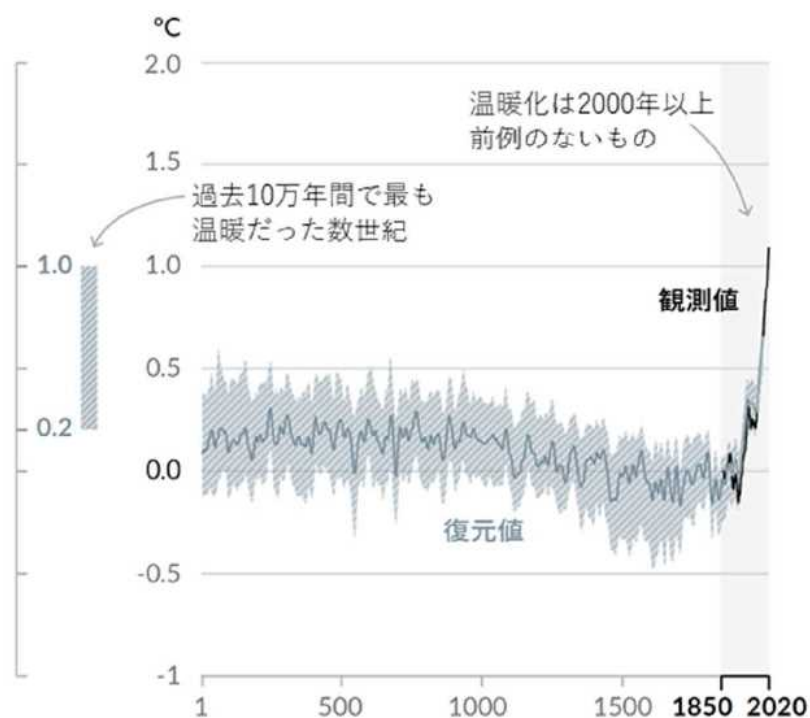
1-1. 近年の気候変動は人間活動が影響している

- 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。
- 人間の影響は、少なくとも過去2000年間に前例のない速度で、気候を温暖化させてきた。

1850～1900年を基準とした世界平均気温の変化

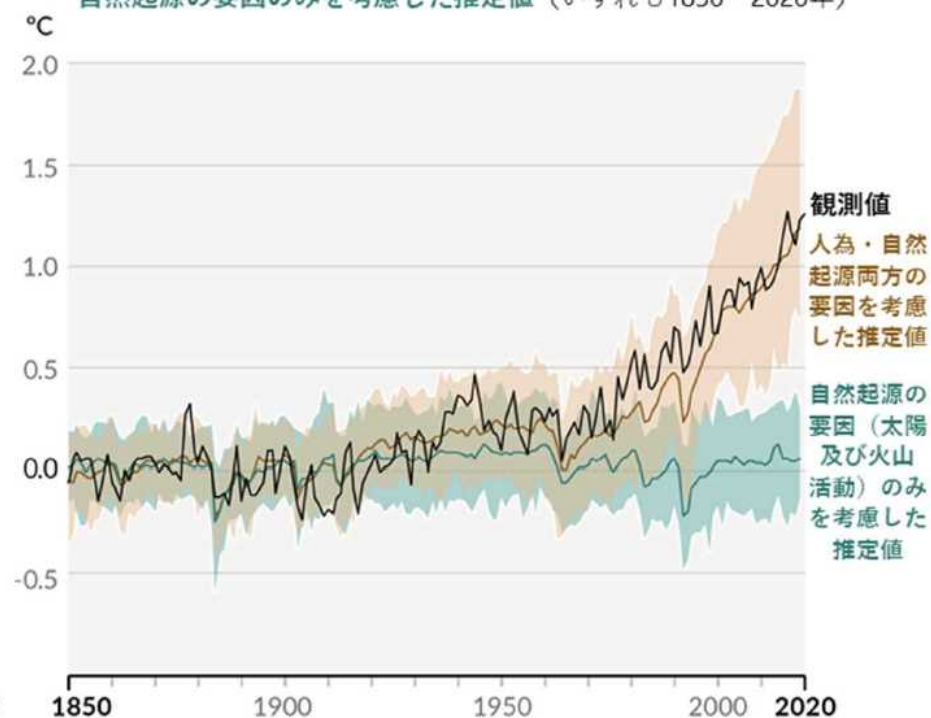
a) 世界平均気温（10年平均）の変化

復元値（1～2000年）及び観測値（1850～2020年）



b) 世界平均気温（年平均）の変化

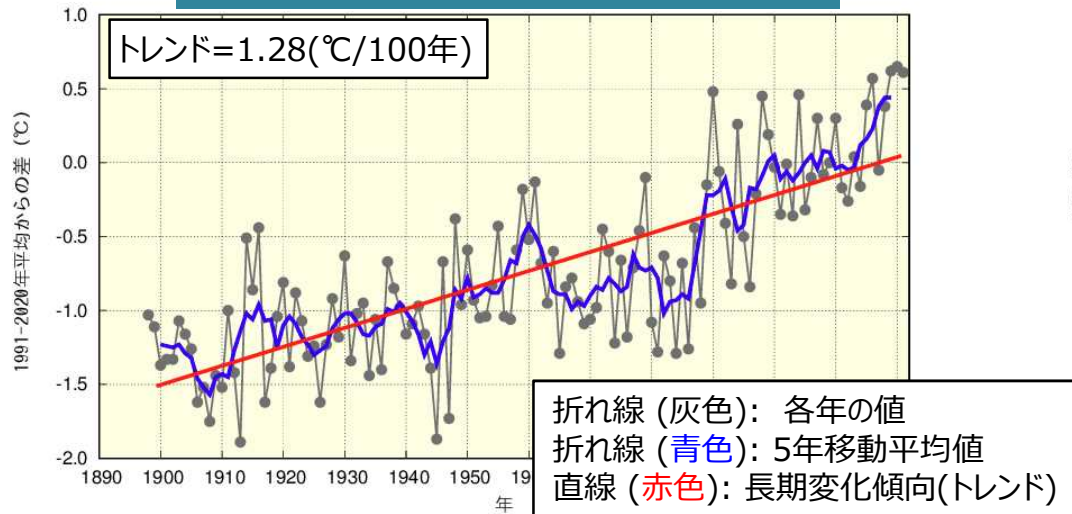
観測値並びに人為・自然起源両方の要因を考慮した推定値及び自然起源の要因のみを考慮した推定値（いずれも1850～2020年）



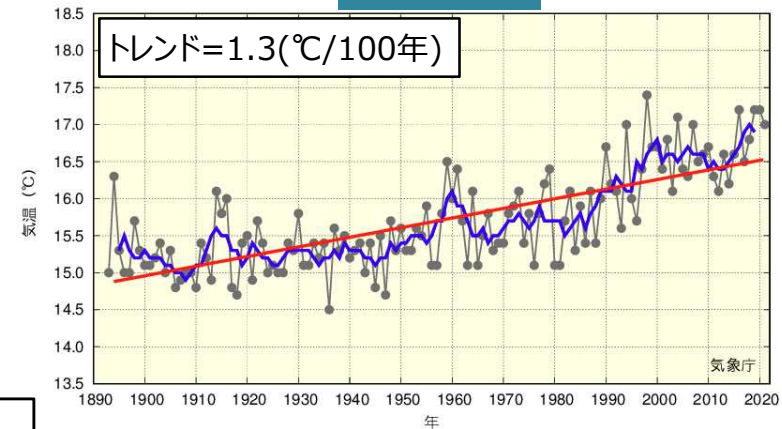
1-2. 日本での気温の変化傾向

- 日本の年平均気温は、100年あたり約**1.3℃**の割合で長期的に上昇。
- 多度津では100年あたり約**1.3℃**、高松では100年あたり約**3.6℃**の割合で長期的に上昇。
- 高松では、観測期間が短いのに加え、都市化の影響も加わり上昇率が大きい。

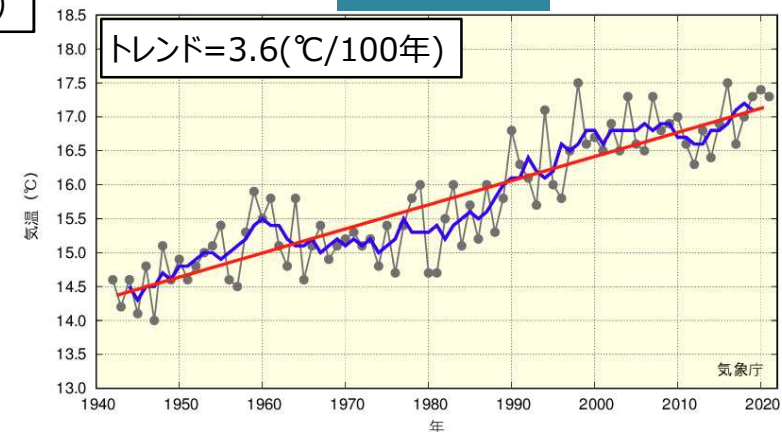
日本（国内15地点平均）



多度津



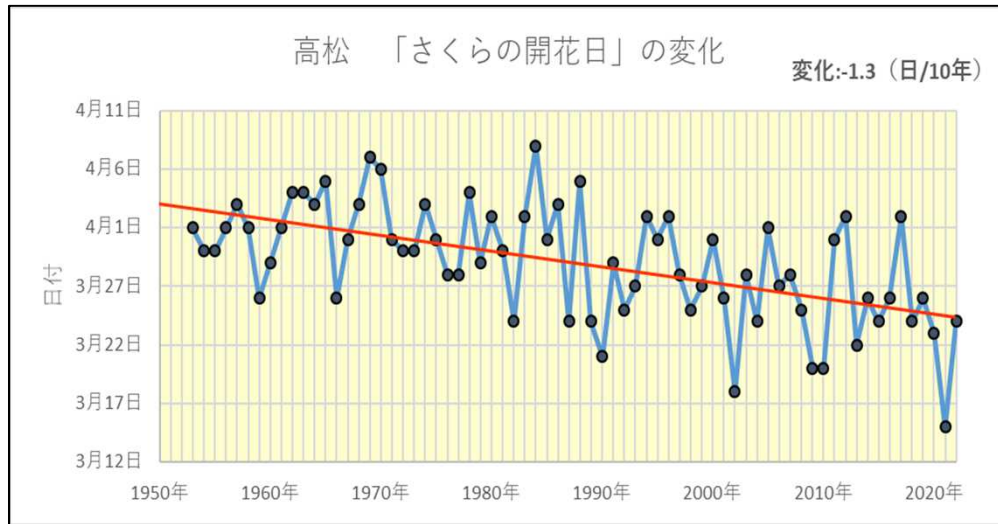
高松



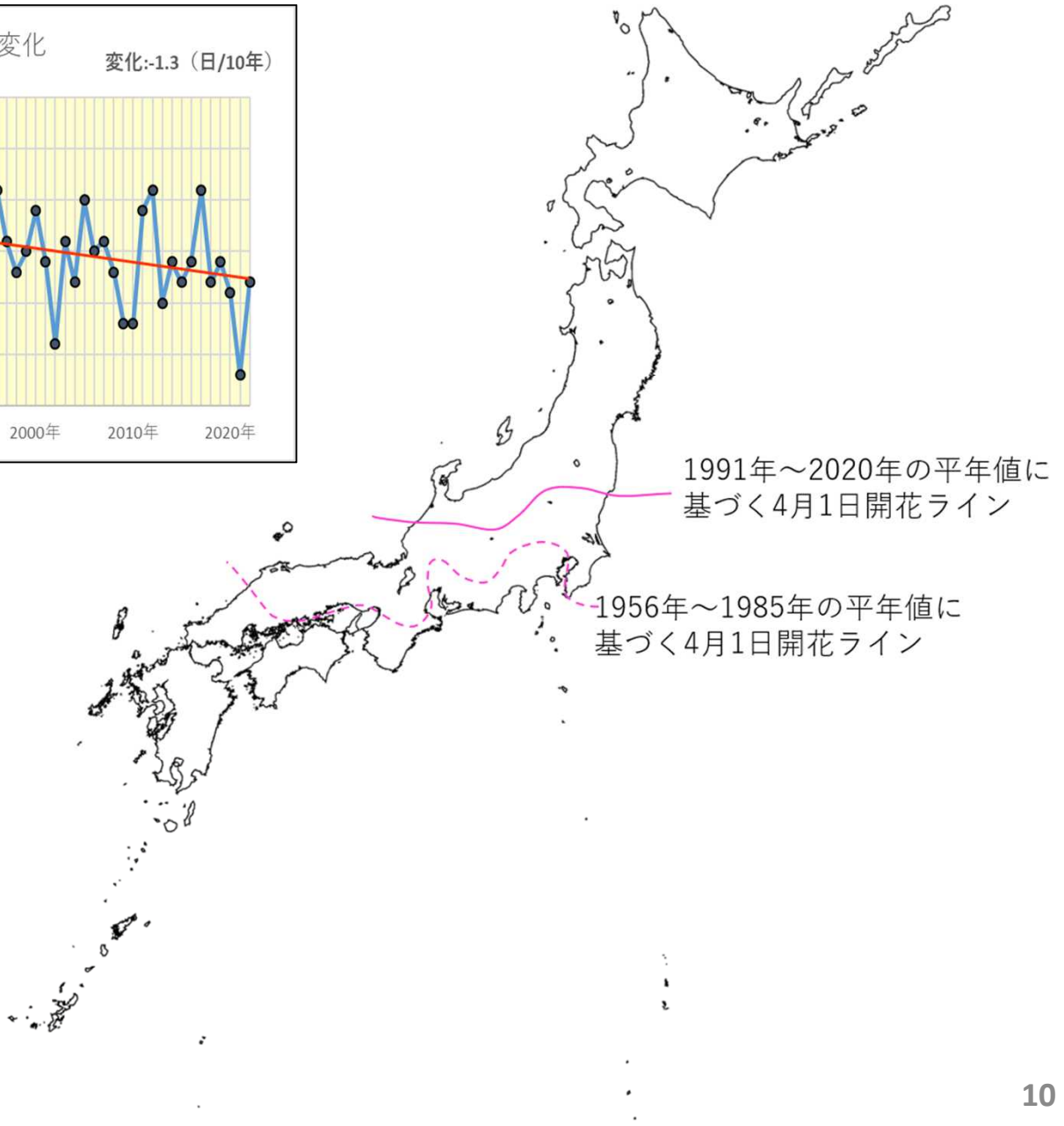
都市化の影響が比較的小さい
国内15観測地点(※)の観測データ
(1898-2020年)に基づく。

※国内15観測地点：
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

1-2. さくらの開花日の変化



さくら (ソメイヨシノ) の
4月1日の開花ラインの変化

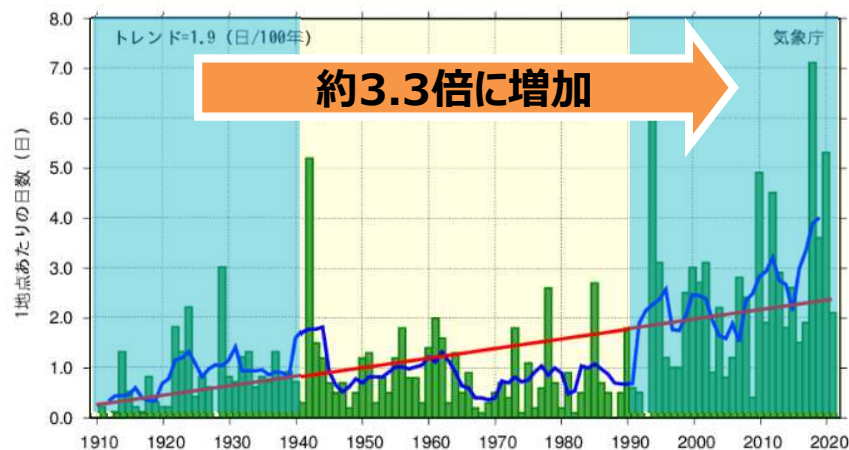


1-2. 日本での猛暑日、熱帯夜の日数変化

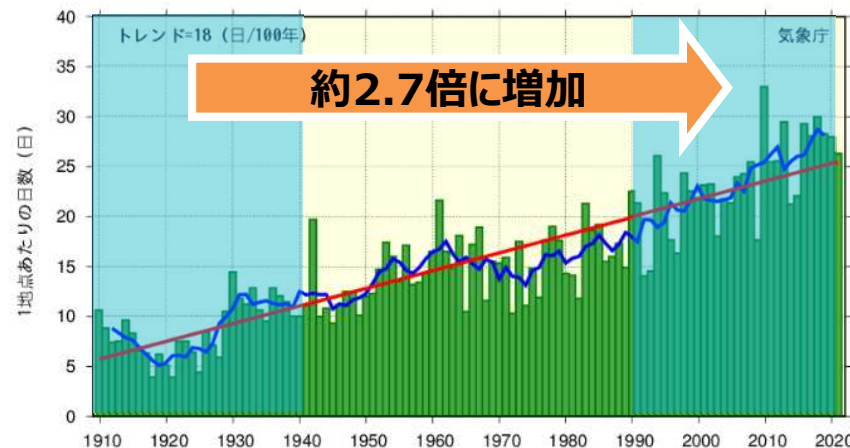
- 日本での猛暑日の日数は、統計期間の最初の30年間（1910～1939年）と最近の30年間（1992～2021年）の約80年間で約3.3倍、熱帯夜日数も約2.7倍に増加している。
- 多度津でも、長期的に増加している。

日本(国内13地点平均)

猛暑日
年間日数



熱帯夜
年間日数



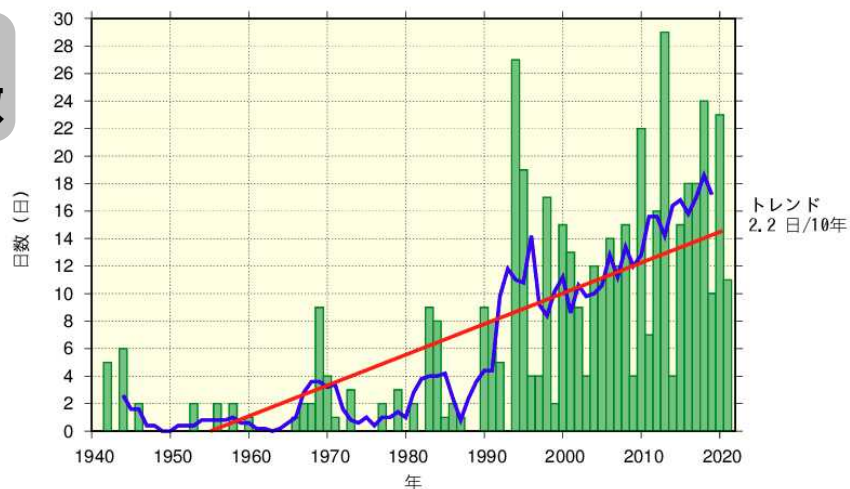
1910～2021年のデータに基づく

1-2. 日本での猛暑日、熱帯夜の日数変化

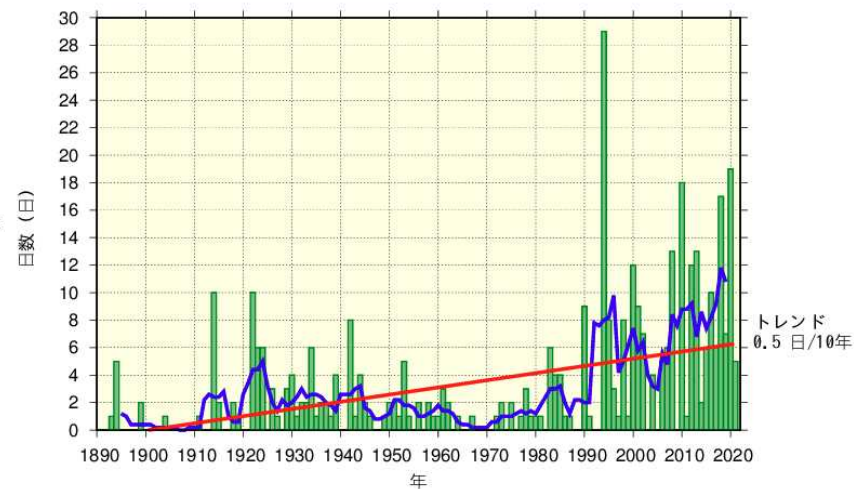
➤ 高松、多度津でも、長期的に増加している。

高松

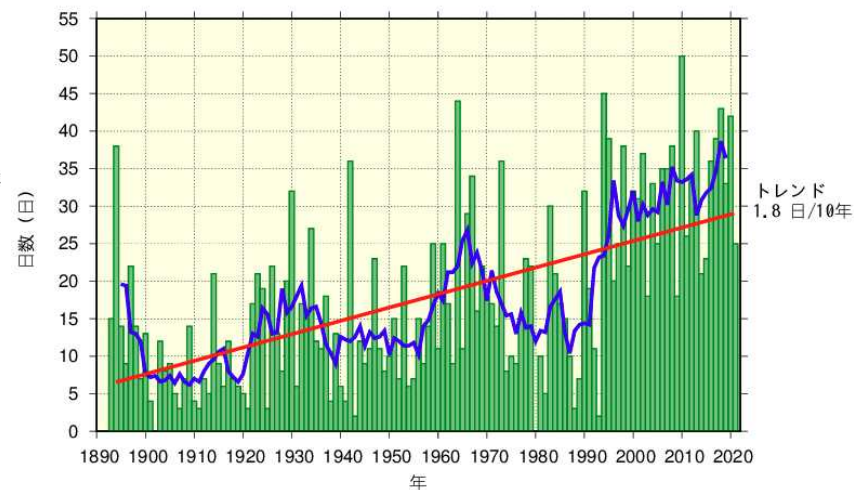
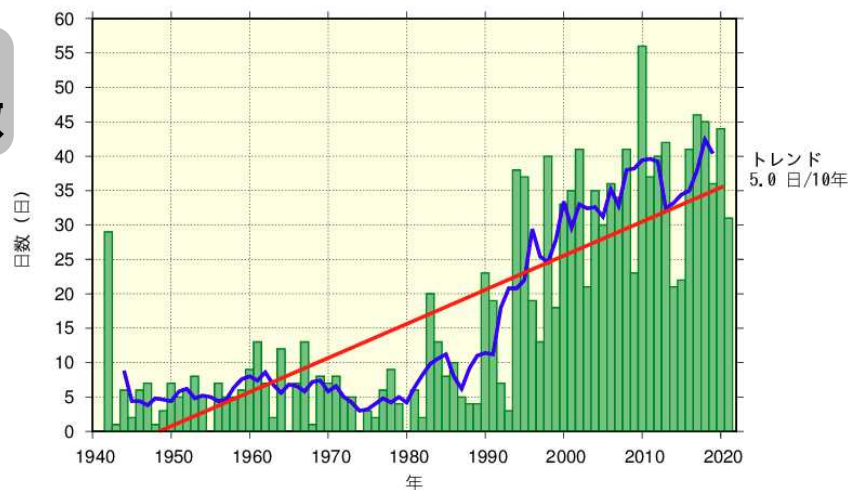
猛暑日
年間日数



多度津



熱帯夜
年間日数



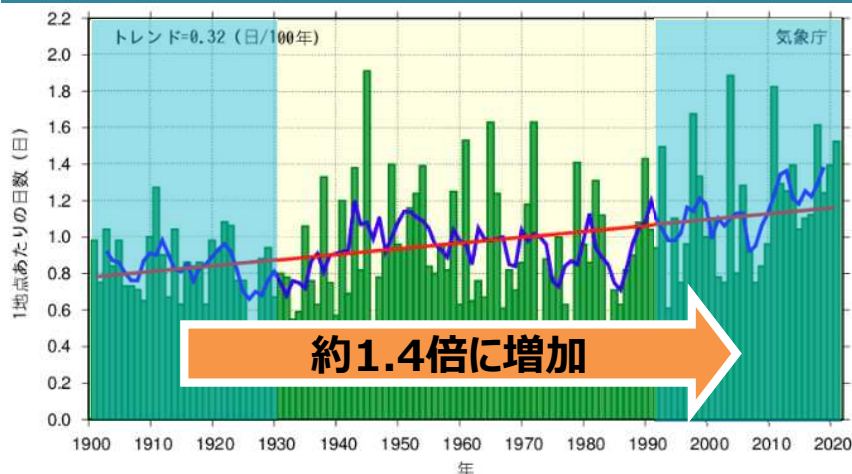
1942～2021年のデータに基づく

1893～2021年のデータに基づく

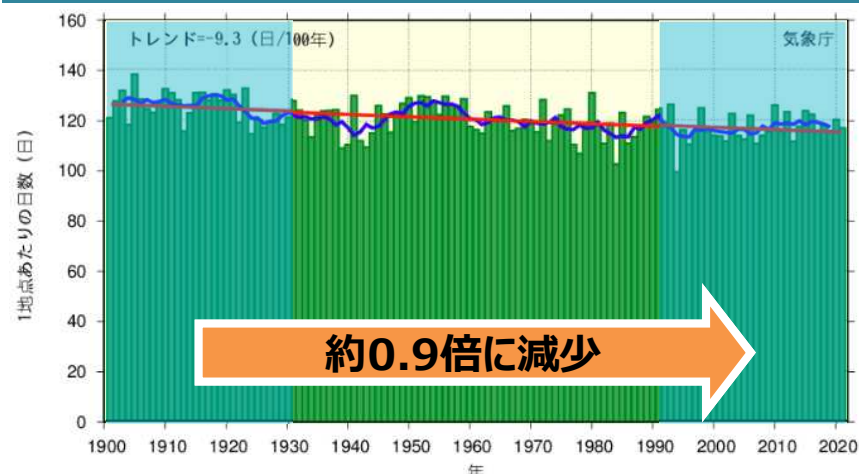
1-2. 日本での雨の降り方の変化

- 大雨の日数は、統計期間の最初の30年間（1901～1930年）と最近の30年間（1992～2021年）の約90年間に、**約1.4倍**に増加し、一方で雨の降る日数は**約0.9倍**に減少している。
- アメダスで見ると、短時間強雨の日数は、最初の10年間（1976～1985年）と最近の10年間（2012～2021年）では、**約1.4倍**に増加している。

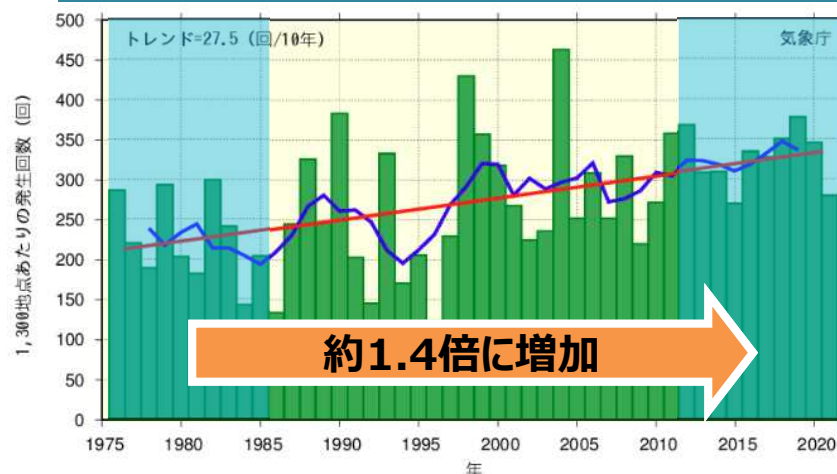
日降水量100mm以上の年間日数（日本）



雨の降る日(日降水量1mm以上)の年間日数（日本）

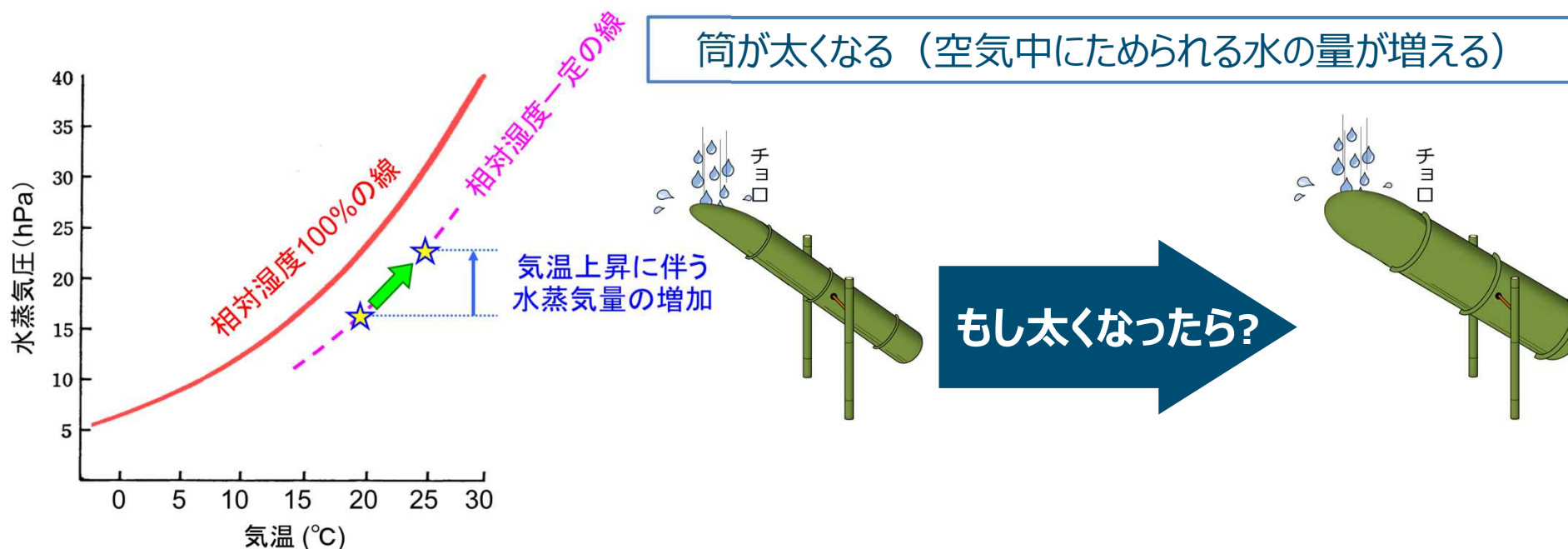


1時間降水量50mm以上の年間日数（日本）



1-2. 温暖化によって何故雨の降り方が変わるのか

- 極端な降水は、大気中の水蒸気量と直結している。
- 気温が1℃上がると、空気が含むことのできる最大の水蒸気量（飽和水蒸気量）が約7%増加する。



※図は藤部氏（首都大学東京）提供

※ 地球温暖化が進んでも、
相対湿度はあまり変わら
ないと考えられています。

傾くまでに時間がかかる→雨の降る日の減少
傾いたときにこぼれる水の量が増える→大雨の増加

- 一般に、過去に経験した現象から大きく外れた現象のこと。
 - 大雨や強風等の激しい数時間の現象から数か月も続く干ばつ、極端な冷夏・暖冬なども含む。
 - 気象災害も異常気象に含む場合がある。
- 気象庁では、原則として「ある場所（地域）・ある時期（週、月、季節等）において30年に1回以下の頻度で発生する現象」を異常気象としている。

1-3.近年の日本の異常気象 ～2018年夏の記録的猛暑～

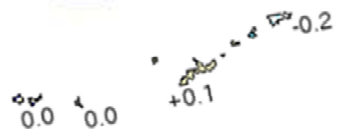
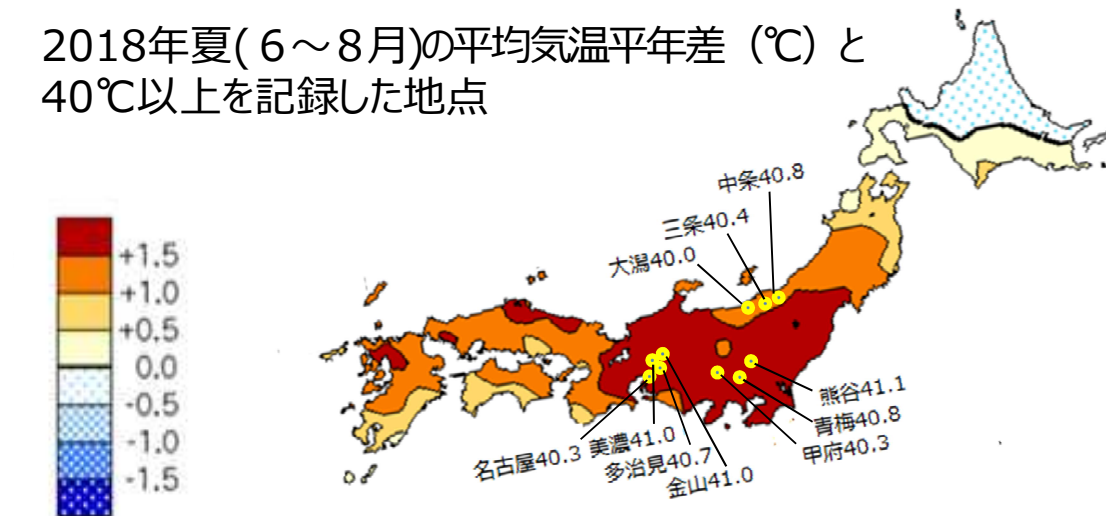
- 平均気温：東日本では、7月（平年差+2.8℃）、6～8月（同+1.7℃）となり、それぞれ統計開始以来1位の高温となった。
- 熊谷で日最高気温の歴代全国1位を更新（41.1℃）のほか、全国927地点のうち202地点で日最高気温の記録を更新（タイを含む）。

熊谷で観測史上最高の41.1℃を記録（7月23日）

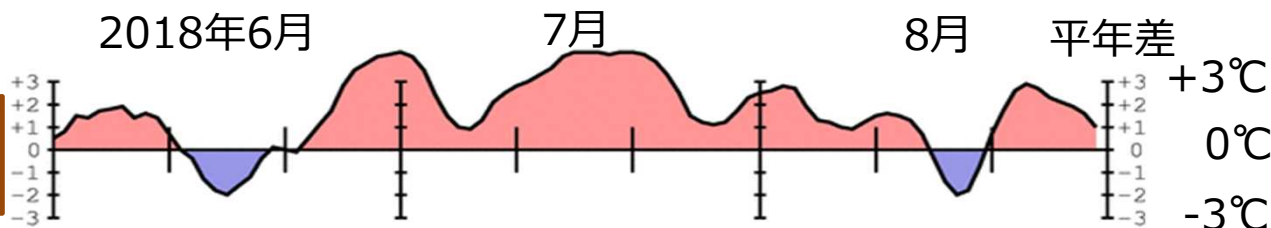
熱中症による救急搬送が、過去最多

2018年夏(6～8月)の平均気温平年差(℃)と40℃以上を記録した地点

熱中症による救急搬送人員数の年別推移(6～9月; 2010～2018年) **2018年 92,710人**



東日本の夏の気温偏差 (5日移動平均)

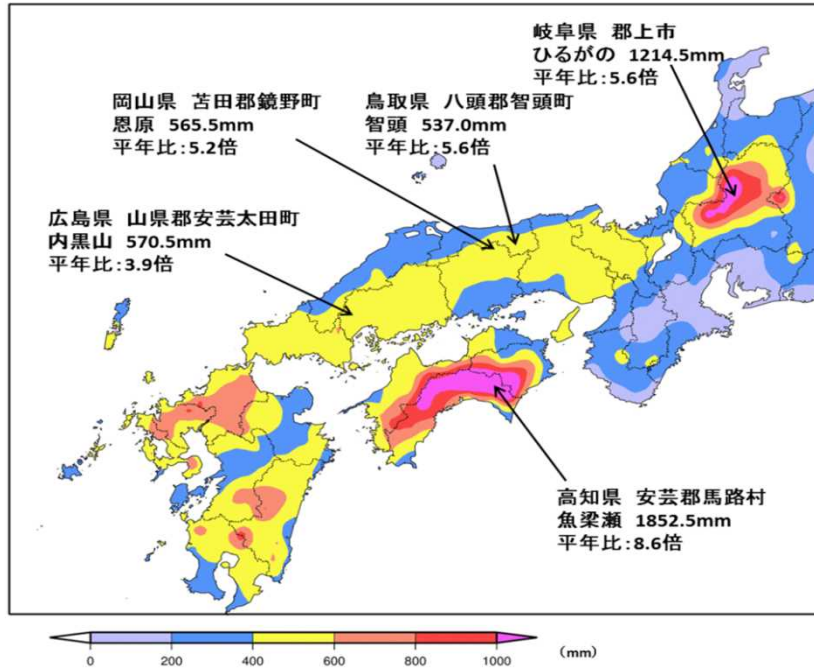


東日本の7月、夏(6～8月): **高温1位** (1946年以降)

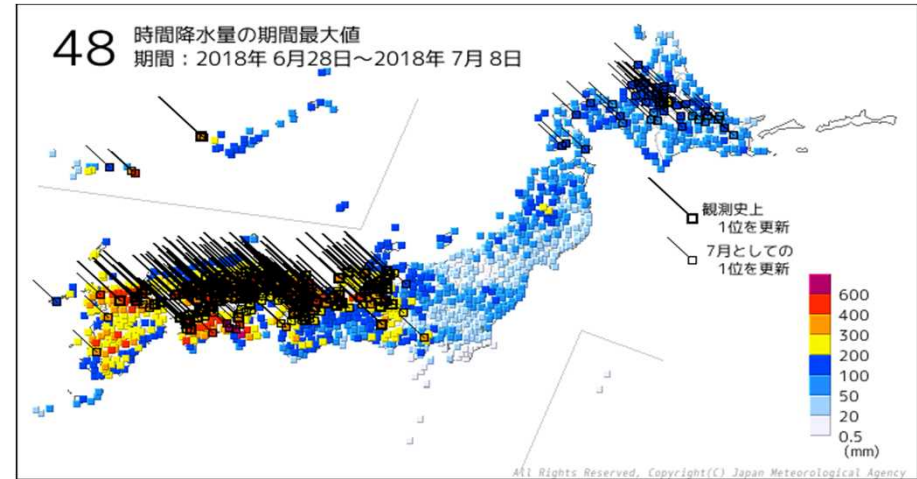
総務省消防庁資料に基づく

1-3.近年の日本の異常気象 ～平成30年7月豪雨～

■ 6月28日から7月8日までの総降水量（アメダス） 同期間の降水量平年比

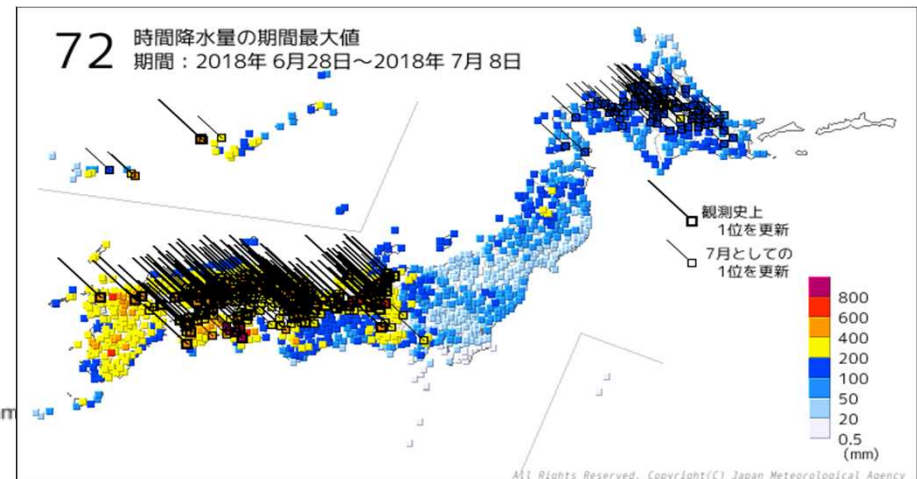


■ 6月28日から7月8日までに観測された最大48時間雨量（アメダス）



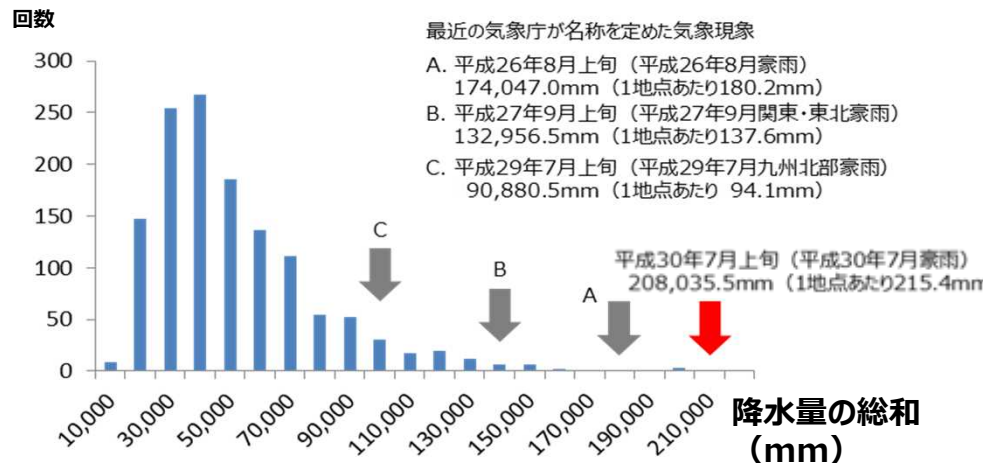
観測史上 1 位を更新した地点数：124地点
 7月としての 1 位を更新した地点数：239地点

■ 6月28日から7月8日までに観測された最大72時間雨量（アメダス）

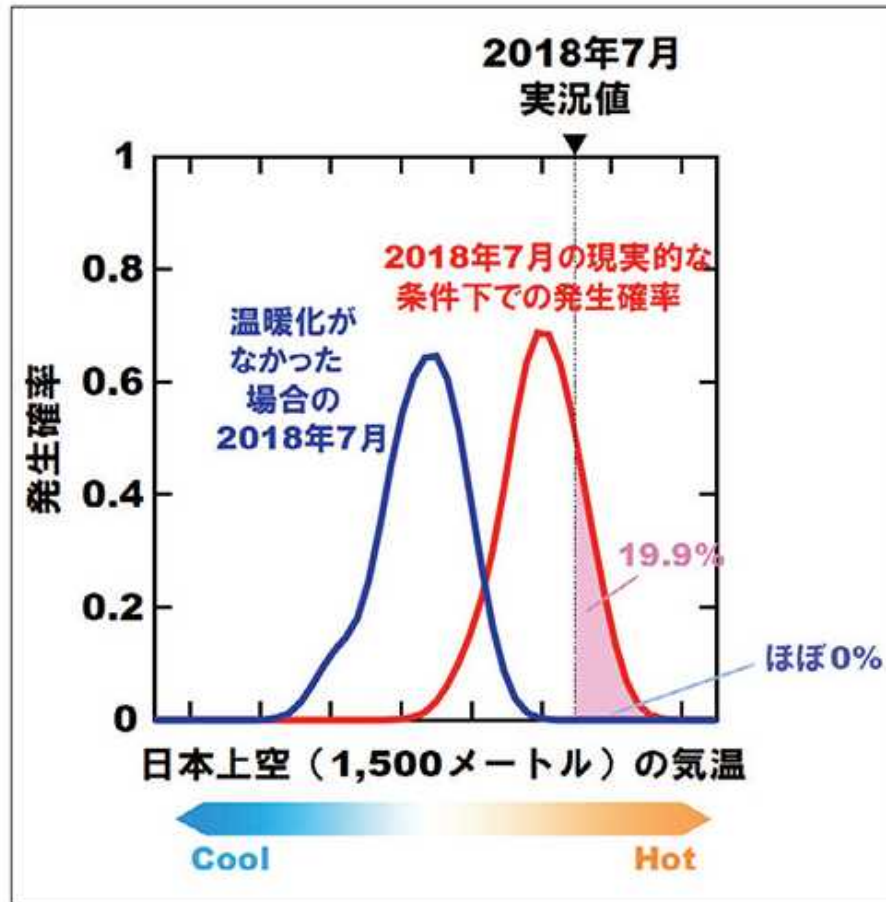


観測史上 1 位を更新した地点数：122地点
 7月としての 1 位を更新した地点数：264地点

■ 全国のアメダス地点（966地点）で観測された降水量の総和 （1982年1月上旬から2018年7月上旬における各旬の値の度数分布）



平成 30 年 7 月の気温の発生確率



平成 30 年 7 月の日本域上空 1500 メートル付近の気温の確率密度分布。赤線は現実の条件下におけるモデル実験、青線は地球温暖化が起きなかった想定でのモデル実験。

2018年夏の記録的猛暑

現実の世界では、このような猛暑の発生確率は約20%と見積もられましたが、地球温暖化が起きなかったと仮定した世界では、その発生確率がほぼ0%となり、人間活動による地球温暖化がなければこのような猛暑は起こり得なかったことが示されました。

(気象業務はいま 2019 トピックスから抜粋)

東日本と西日本で平均した降水量の時間変化



東経 129 ～ 142 度、北緯 30 ～ 37.5 度の陸上で平均した積算降水量（線）と 1 時間降水量（陰影）の時間変化。黒線は通常のシミュレーション、青線は気温上昇がなかったと仮定したシミュレーション。細線は設定を微調整した 20 個の計算、太線はその平均。緑陰影は観測、灰陰影が通常のシミュレーションの 1 時間降水量。

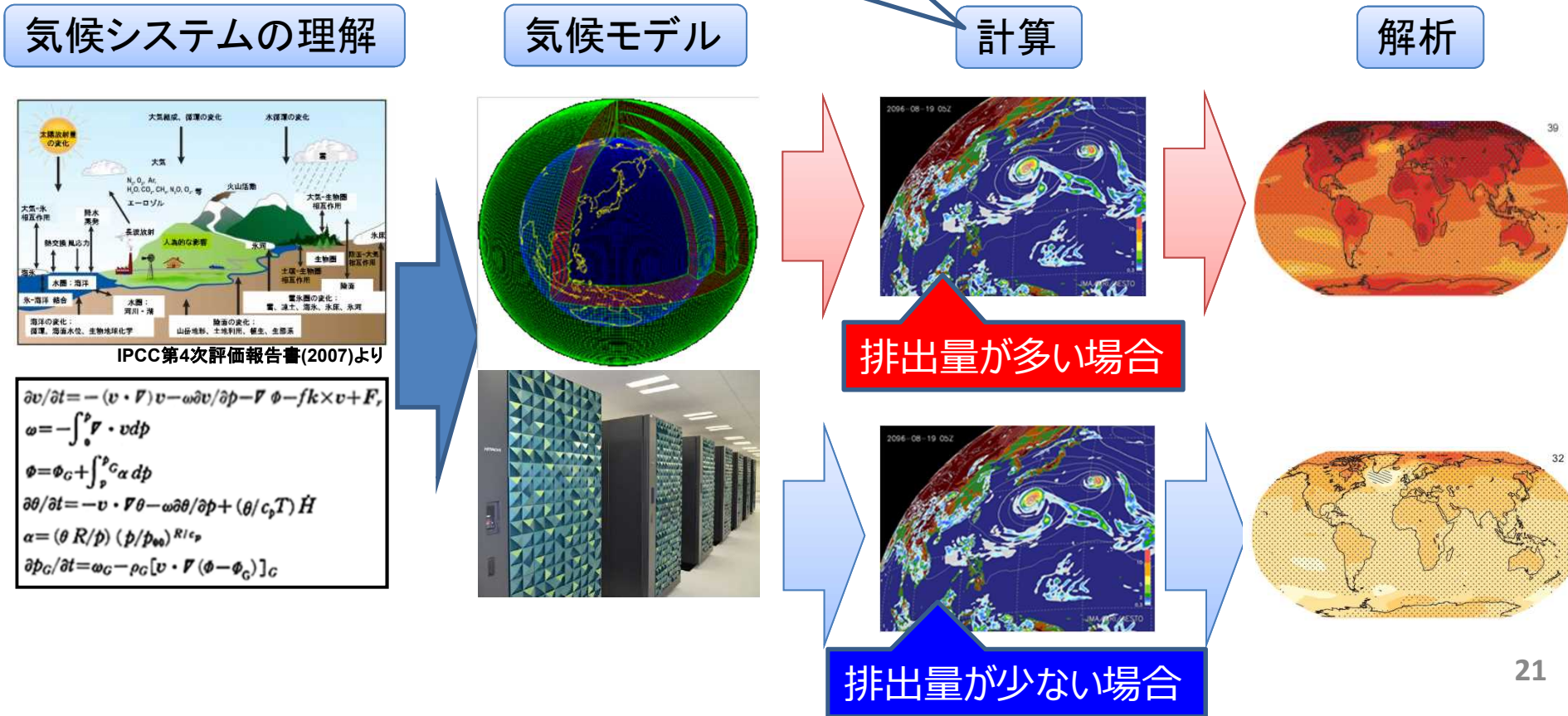
平成30年7月豪雨
 気温上昇がない仮定の場合では6.5%程度降水量が減少しました。6.5%と聞くと小さいと感じるかもしれませんが、無視できる数字ではありません。今回の豪雨では全国125地点で48時間積算降水量の記録を更新しました。もし、近年の気温上昇による降水量の増加分がなければ、記録を更新した地点は100地点を下回っていた可能性があります。
 （気象業務はいま 2019 トピックスから抜粋）

- ◆ 地球は温暖化しており、人間活動の影響により世界の平均気温は既に工業化前より約1°C上昇している。
- ◆ 近年、世界でも日本でも異常気象が頻発している。
- ◆ 長期的にみると、猛暑や大雨等の頻度は増加傾向に、降水日数は減少傾向にある。
- ◆ こうした気象の変化は多くの分野に影響を与え、災害リスクが増したり、経済的損失が大きくなることが懸念される。

2-1. 将来の気候をどう予測するか？

- ▶ 日々の天気予報と原理は同じ。
- ▶ ただし、特定の日の天気を予測するのではなく、何十年かの平均的な状態（平均気温や大雨の発生回数など）を予測する。
- ▶ さらに人間活動（温室効果ガス排出量や土地利用など）次第で未来が変わってくるため、いくつかのシナリオに基づいた予測を行う。

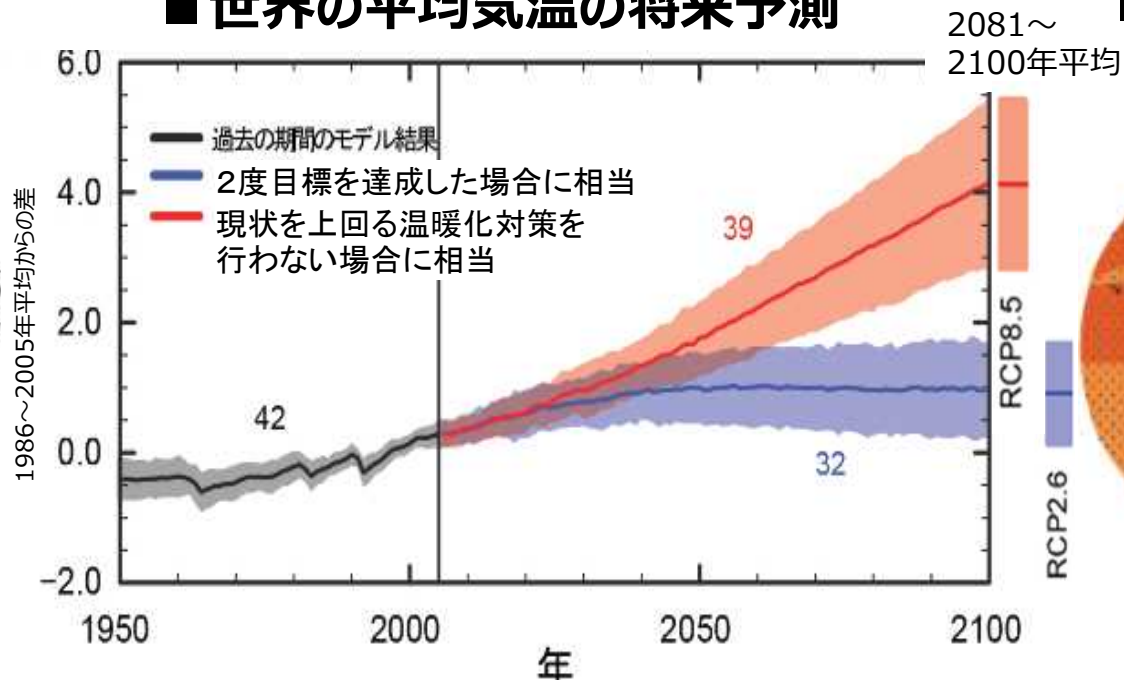
天気予報と同じ原理



2-1. 地球温暖化の将来予測(気温)

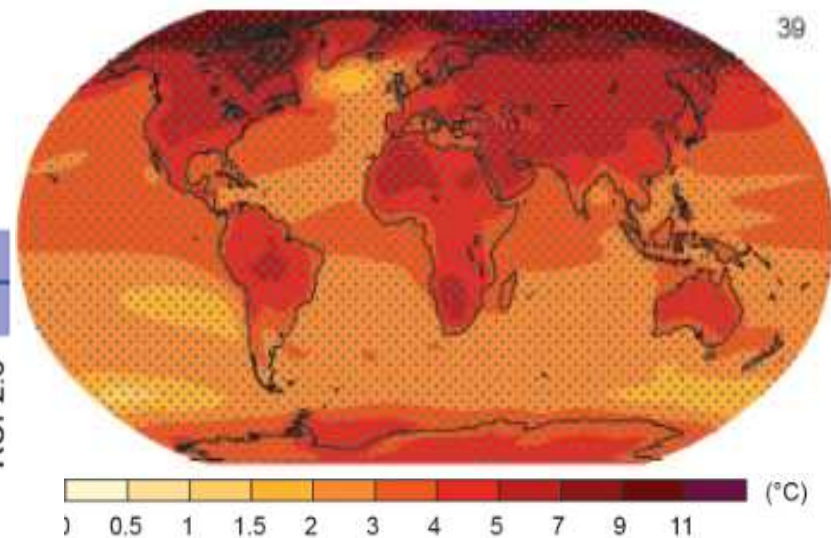
- 21世紀末の世界平均地上気温は、1986～2005年平均と比べて、以下のような可能性が高い。(IPCC第5次評価報告書)
RCP2.6シナリオ (2度目標を達成した場合に相当) で0.3～1.7℃上昇、
RCP8.5シナリオ (現状を上回る温暖化対策を行わない場合に相当) で2.6～4.8℃上昇。
- 現在の進行速度で増加し続けると、2030年から2052年の間に1.5℃に達する可能性が高い。(IPCC1.5度特別報告書)
- 気温の上昇は、海上よりも陸上で大きい。また北極域は世界平均より早く温暖化する。(IPCC第5次評価報告書)

■ 世界の平均気温の将来予測



■ 世界の平均気温の将来予測分布

最も高程度の温室効果ガス排出を想定した場合。
1986～2005年平均と2081～2100年平均の差。

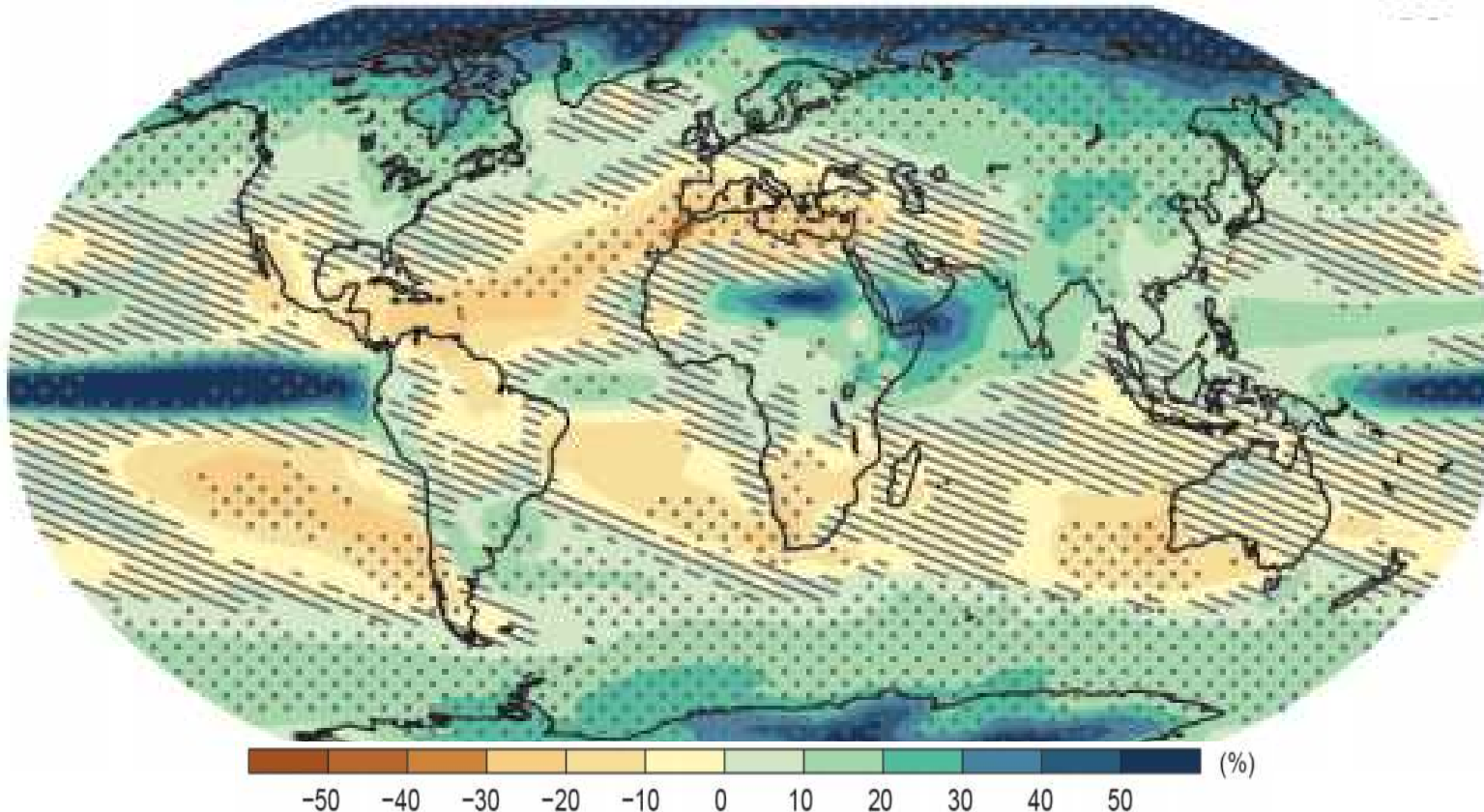


2-1. 地球温暖化の将来予測(降水量)

- 21世紀末の世界の年平均降水量は、1986～2005年平均と比べて、
 - 高緯度域及び太平洋赤道域において、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。
 - 多くの中緯度の湿潤地域では、年平均降水量が増加する可能性が高い。
 - 中緯度陸域の大部分と湿潤な熱帯地域では、極端な降水がより強く、頻繁になる可能性が非常に高い。
(IPCC第5次評価報告書)

世界の年平均降水量変化の将来予測分布

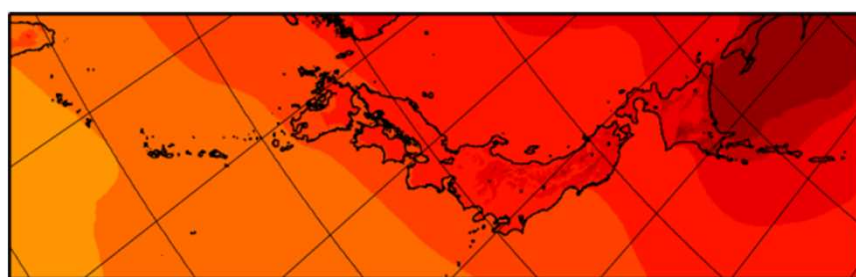
最も高程度の温室効果ガス排出を想定した場合。1986～2005年平均と2081～2100年平均の差。



2-2.日本における将来予測(年平均気温)

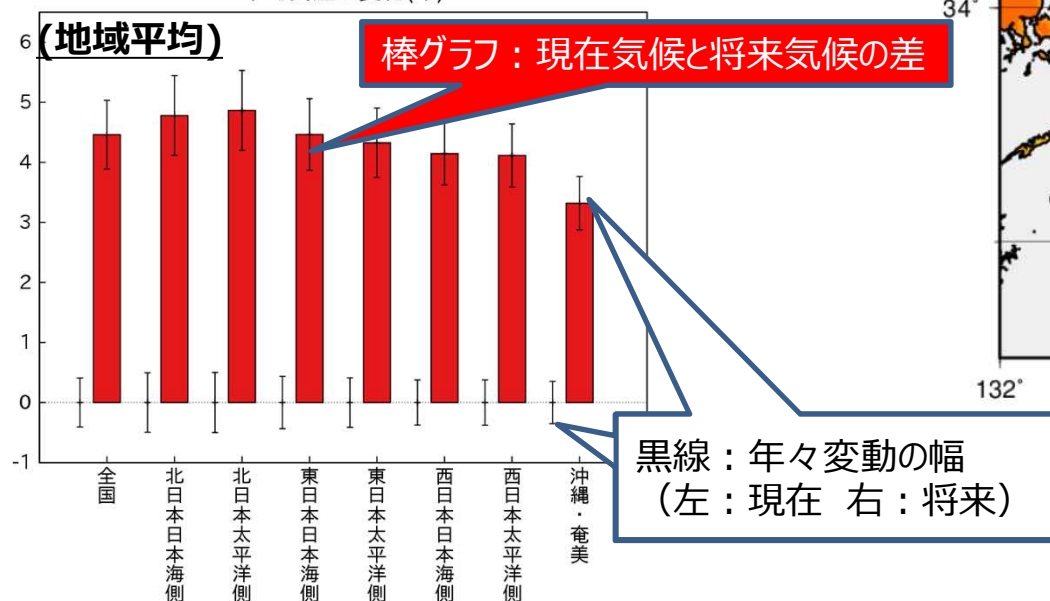
- 年平均気温は、全国平均で約**4.5°C**、四国地方*では約**4.0°C**上昇。
- ⇒ **国民生活や生態系等へ広く影響**

年平均気温の将来変化 (21世紀末-20世紀末)



平均気温の変化(年)

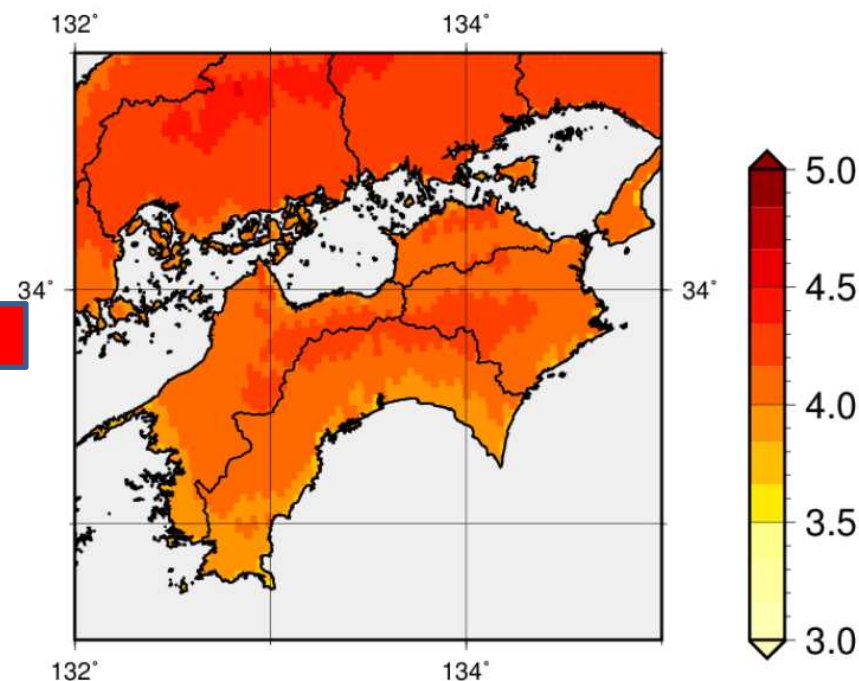
(地域平均)



棒グラフ：現在気候と将来気候の差

黒線：年々変動の幅
(左：現在 右：将来)

四国地方における年平均気温の将来変化 (21世紀末-20世紀末)



20世紀末：1980～1999年の平均
21世紀末：2076～2095年の平均
RCP8.5に基づく予測

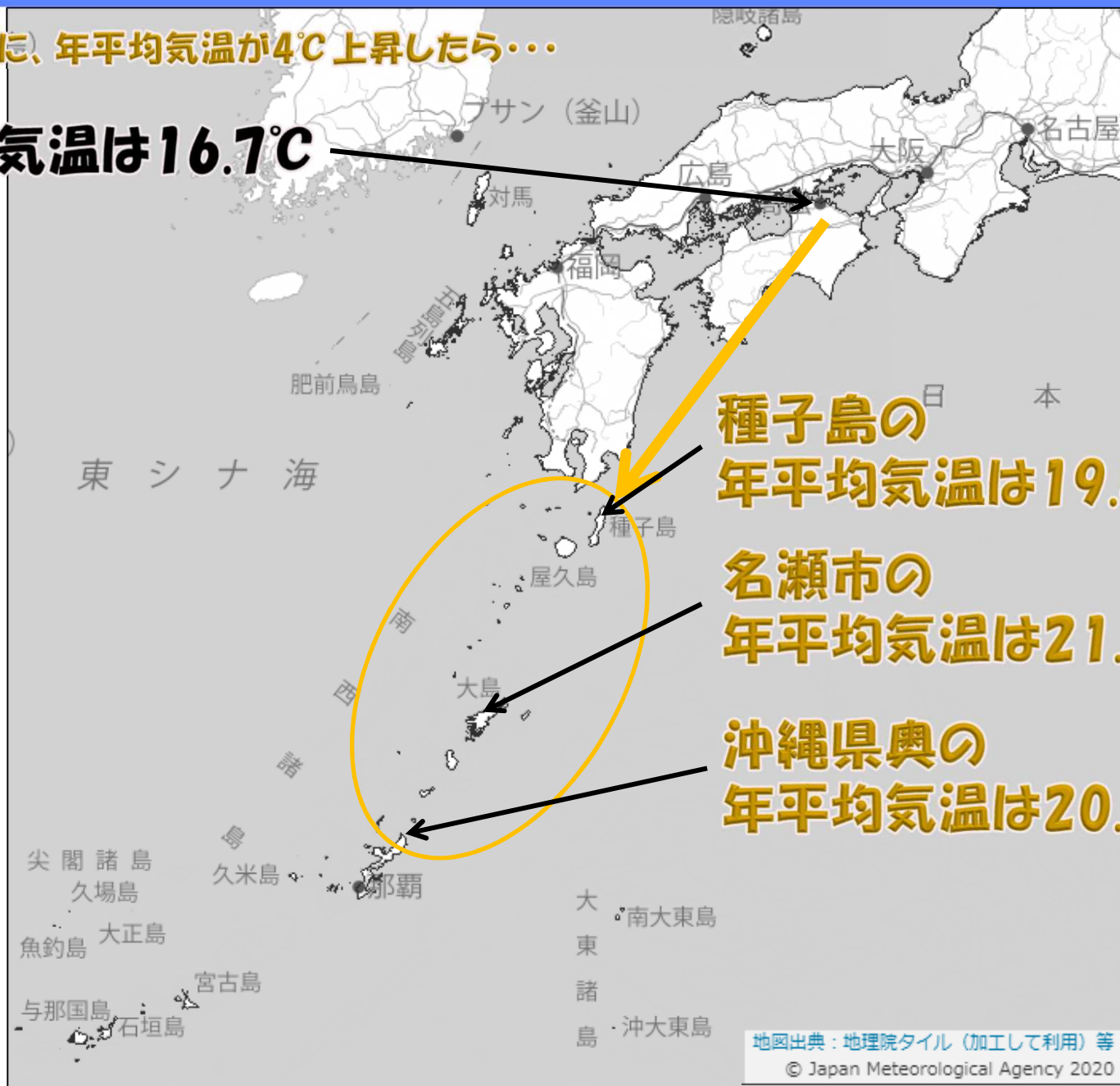
四国地方では約4.0℃上昇？(20世紀末と21世紀末の差)

例えば、あくまで単純に、年平均気温が4℃上昇したら...

高松の年平均気温は16.7℃

今、なにもしないと

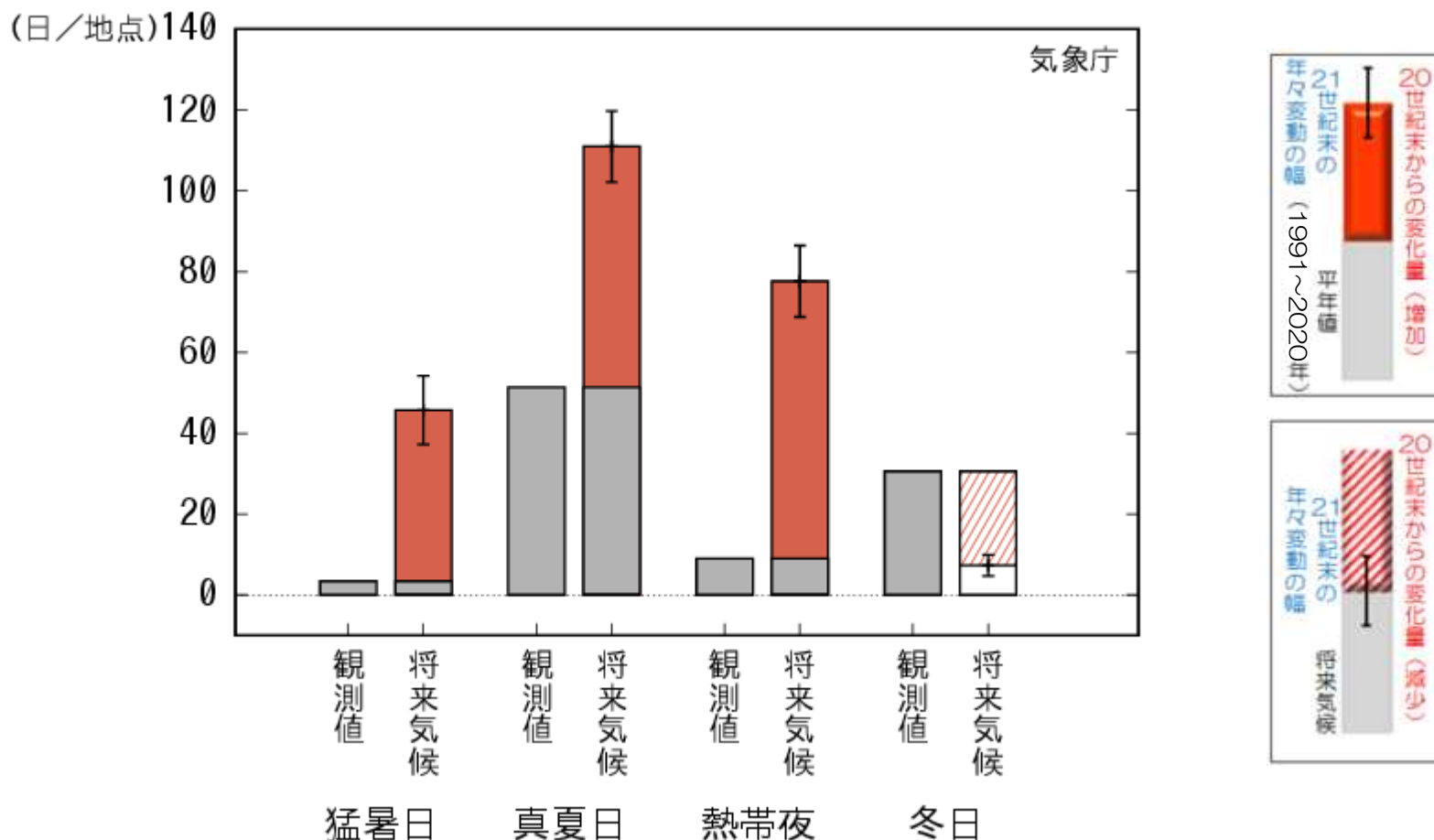
地球の気温は
どんどん上昇し、
今世紀末までには
香川県では約4℃
上昇する。



2-2.日本における将来予測(極端な気温の日数)

- 香川県では、平年では数日ほどしか発生しない猛暑日が年間**40日**以上増加し、冬日は大幅に減少する。
 - 真夏日は約**60日**増加。現在の平年値と比べるとほぼ**2倍**の日数に相当。
- ⇒産業・生態系など広い分野への大きな影響、熱中症等の健康被害の増大

香川県における気温階級別日数の将来変化

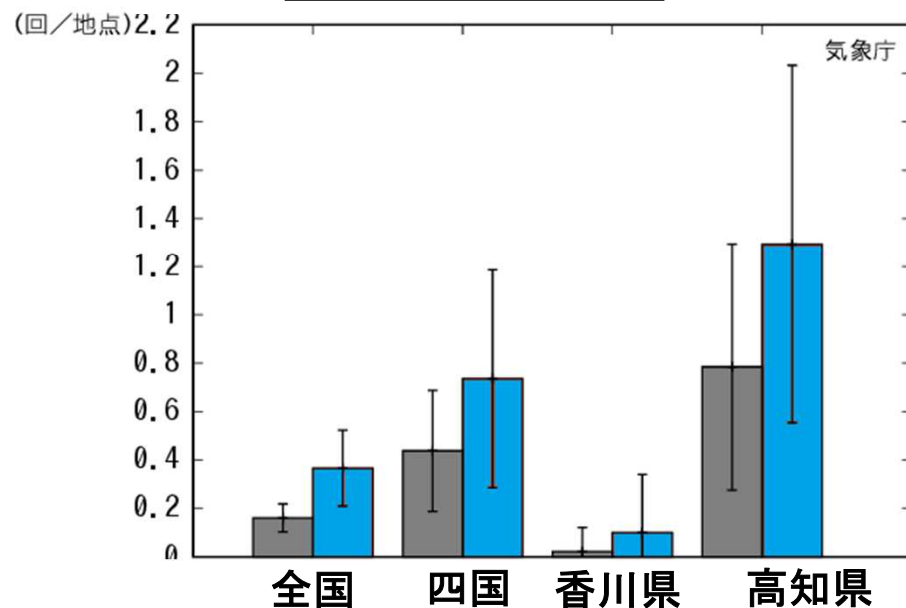


2-2.日本における将来予測(大雨、短時間強雨の頻度)

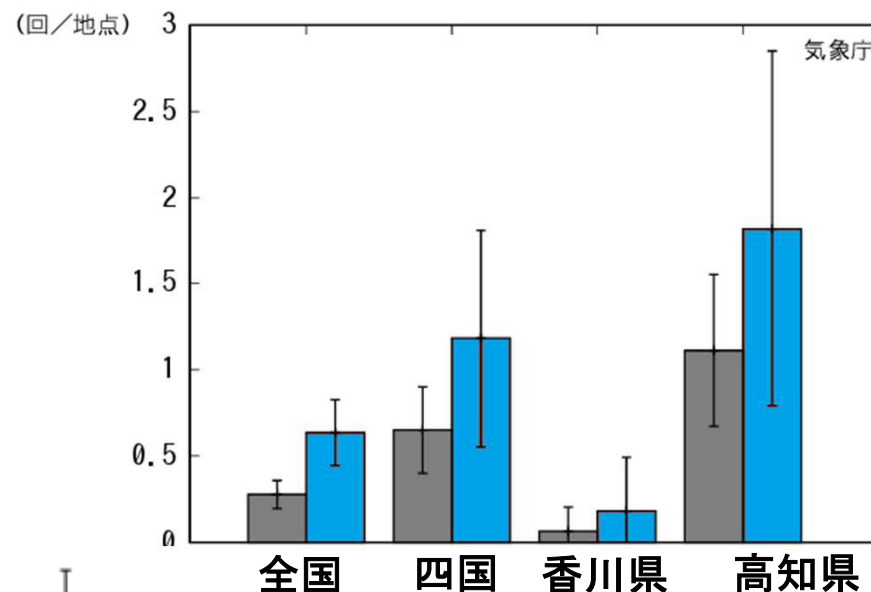
- 四国地方では日降水量200mm以上の大雨の発生頻度は**1.5倍以上**に増加。
- 四国地方では1時間降水量50mm以上の短時間強雨の発生頻度は**1.8倍以上**に増加。

⇒ **自然災害リスクの増大**

大雨（日降水量200mm以上）の
発生日数の将来変化



短時間強雨（1時間降水量50mm以上）の
発生回数の将来変化

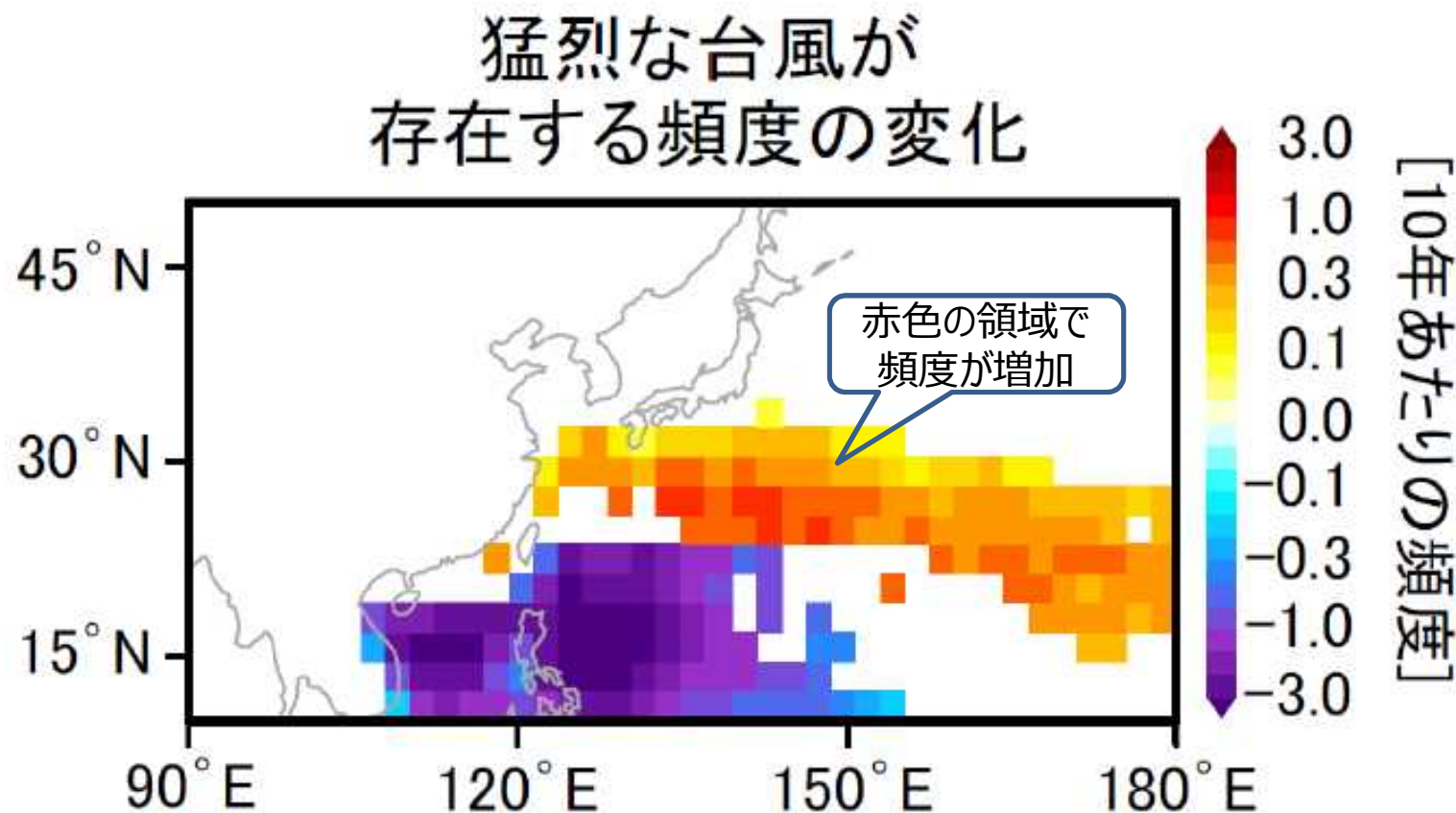


現在気候（1980-1999年）
の平均発生回数

将来気候（2076-2095年）
の平均発生回数
（RCP8.5シナリオに基づく予測）

2-2. 台風の将来予測（研究事例）

- 世界全体の熱帯低気圧の発生数は減少または基本的に変わらず、個々の熱帯低気圧の最大風速や降水量は増加する可能性が高い。北西太平洋では強い台風が増える可能性がどちらかと言えば高い。（IPCC第5次評価報告書）
- 最も高程度の温室効果ガス排出が続く場合、21世紀末には日本の南海上に猛烈な台風が存在する頻度が増加する可能性が高い（気象研究所等の研究成果）。





日本の気候変動2020

— 大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書 —

文部科学省 気象庁

2°C上昇シナリオと4°C上昇シナリオ



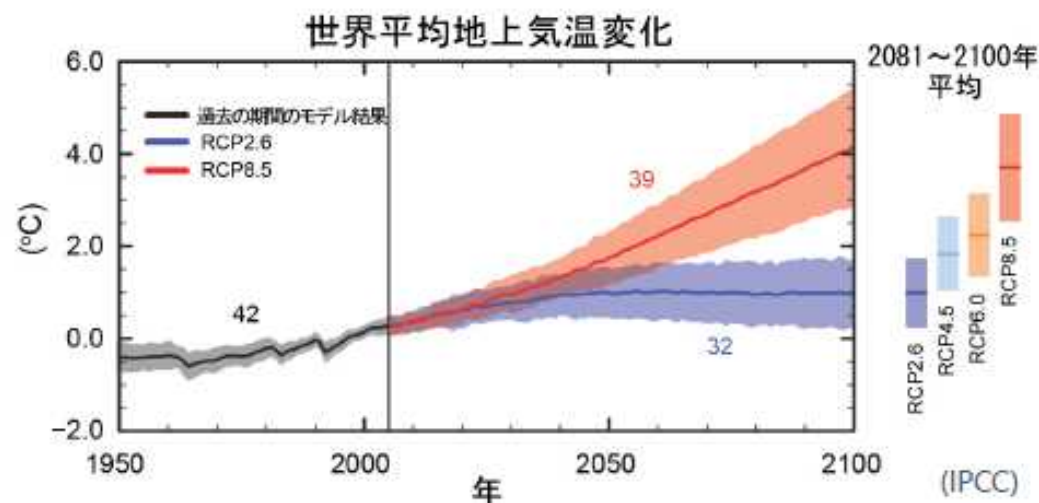
文部科学省
MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY/JAPAN



気象庁
Japan Meteorological Agency

- 将来の気候は、主に、IPCC第5次評価報告書でも用いられた**2°C上昇シナリオ (RCP2.6)** 及び**4°C上昇シナリオ (RCP8.5)** に基づき予測。
- **2°C上昇シナリオ (RCP2.6)** は、21世紀末※の世界平均気温が、工業化以前と比べて0.9～2.3°C（20世紀末※と比べて0.3～1.7°C）上昇する可能性の高いシナリオ。
➔ **パリ協定の2°C目標が達成された世界** であり得る気候の状態に相当。
- **4°C上昇シナリオ (RCP8.5)** は、21世紀末※の世界平均気温が、工業化以前と比べて3.2～5.4°C（20世紀末※と比べて2.6～4.8°C）上昇する可能性の高いシナリオ。
➔ **現時点を超える追加的な緩和策を取らなかった世界** であり得る気候の状態に相当。

※ 20世紀末：1986～2005年の平均、21世紀末：2081～2100年の平均



将来予測まとめ

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

海面水温が約1.14°C/約3.58°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。



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

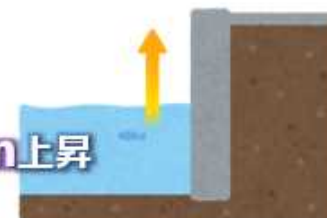
雪ではなく雨が降る。
ただし大雪のリスクが
低下するとは限らない。



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水面積は
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水が
ほとんど融解すると予測されている。



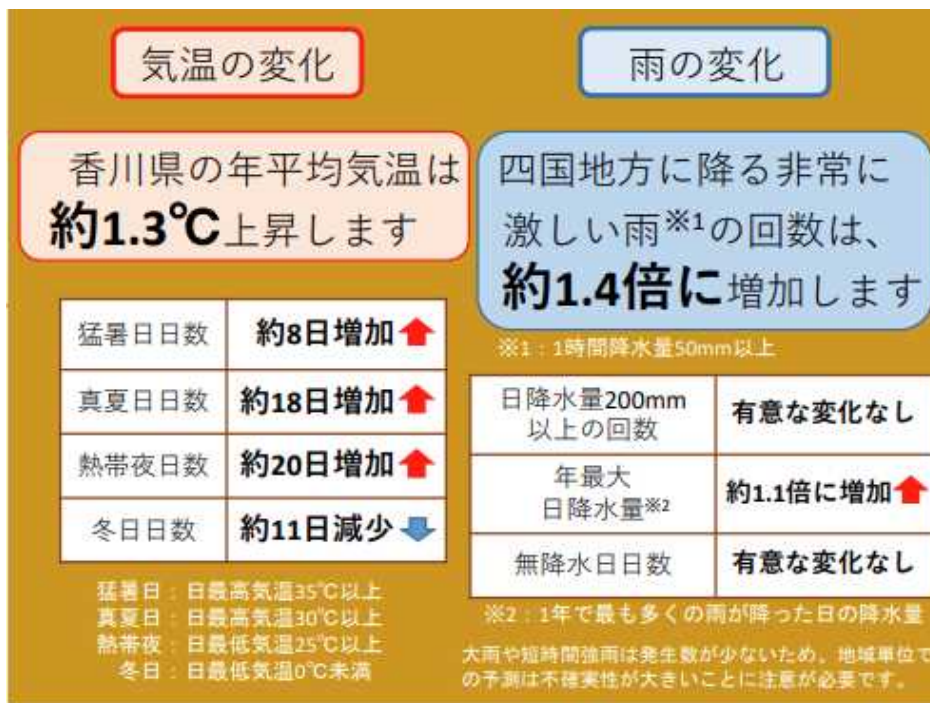
強い台風の割合が増加
台風に伴う雨と風は強まる

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



※ 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である。

2°C上昇シナリオによる予測



4°C上昇シナリオによる予測



21世紀末(2076～2095年の平均)の予測を20世紀末(1980～1999年の平均)と比較したものです。

- ◆ 世界の気温は今後も上昇を続け、温暖化対策を実施したとしても、現在からの更なる上昇は避けられない。
- ◆ 温暖化に伴い、降水の極端化や高潮等の極端な海面水位リスクが高まる。
- ◆ 日本においても、大雨の増加等、雨の降り方の変化が予測されている。
- ◆ 温暖化により、日本の南海上に猛烈な台風が存在する頻度が増加するという研究もある。

高まり続ける「気候変動リスク」への対応が求められる