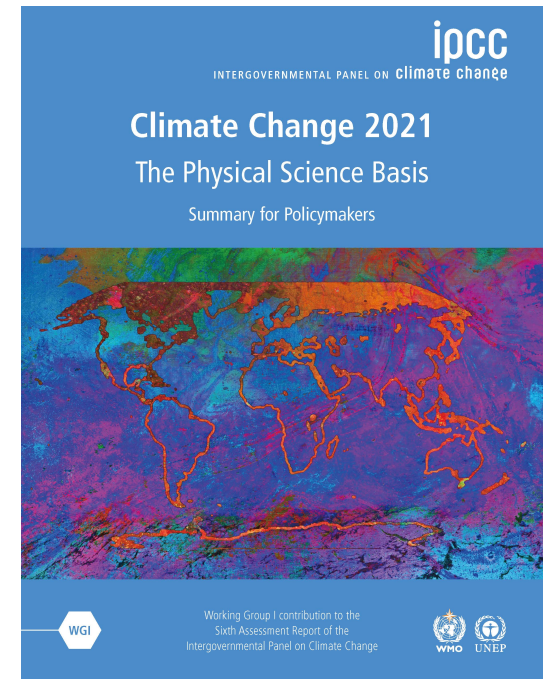


東京大学 先端科学技術研究センター
Research Center for Advanced Science and Technology
The University of Tokyo



気候変動への人為的影響

東京大学先端科学技術研究センター 准教授
小坂 優

IPCCシンポジウム2021 「気候変動を知る ～最新報告書が示すこれまでとこれから～」

第6次報告書における「気候変動への人為的影響」

It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land.
人類の影響が大気、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。

- 2013年の第5次報告書では
 - 気候システムの温暖化には疑う余地がない 観測された変化
 - 人類の影響が20世紀中期以降の温暖化の主要因であった可能性が極めて高い

変化の原因



- 最新の第6次報告書では、温暖化の原因について「疑う余地がない」と結論

気候変動をもたらす要因

人為起源の強制要素

- 温室効果ガス
(CO₂・メタンなど)
の排出



Photo by \>

- エアロゾル
(大気汚染物質)
の排出

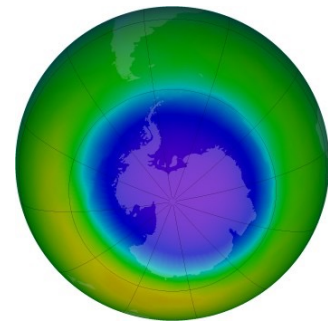


Photo by Ben Amstutz

- オゾン破壊物質の排出
- 土地の改変
など



Photo by Nick Buxton



0 100 200 300 400 500 600 700
Total Ozone (Dobson units)

From: ozonewatch.gsfc.nasa.gov

自然起源の強制要素

- 太陽の明るさ
の変動



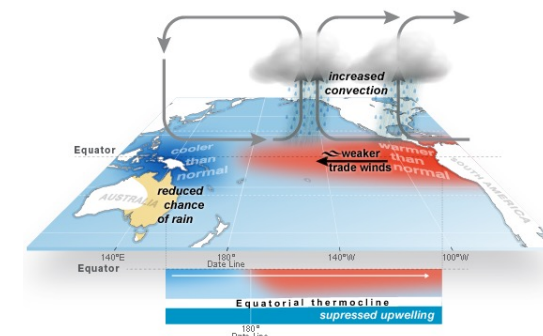
- 火山噴火



Photo by rpphotos

強制力によらない変動

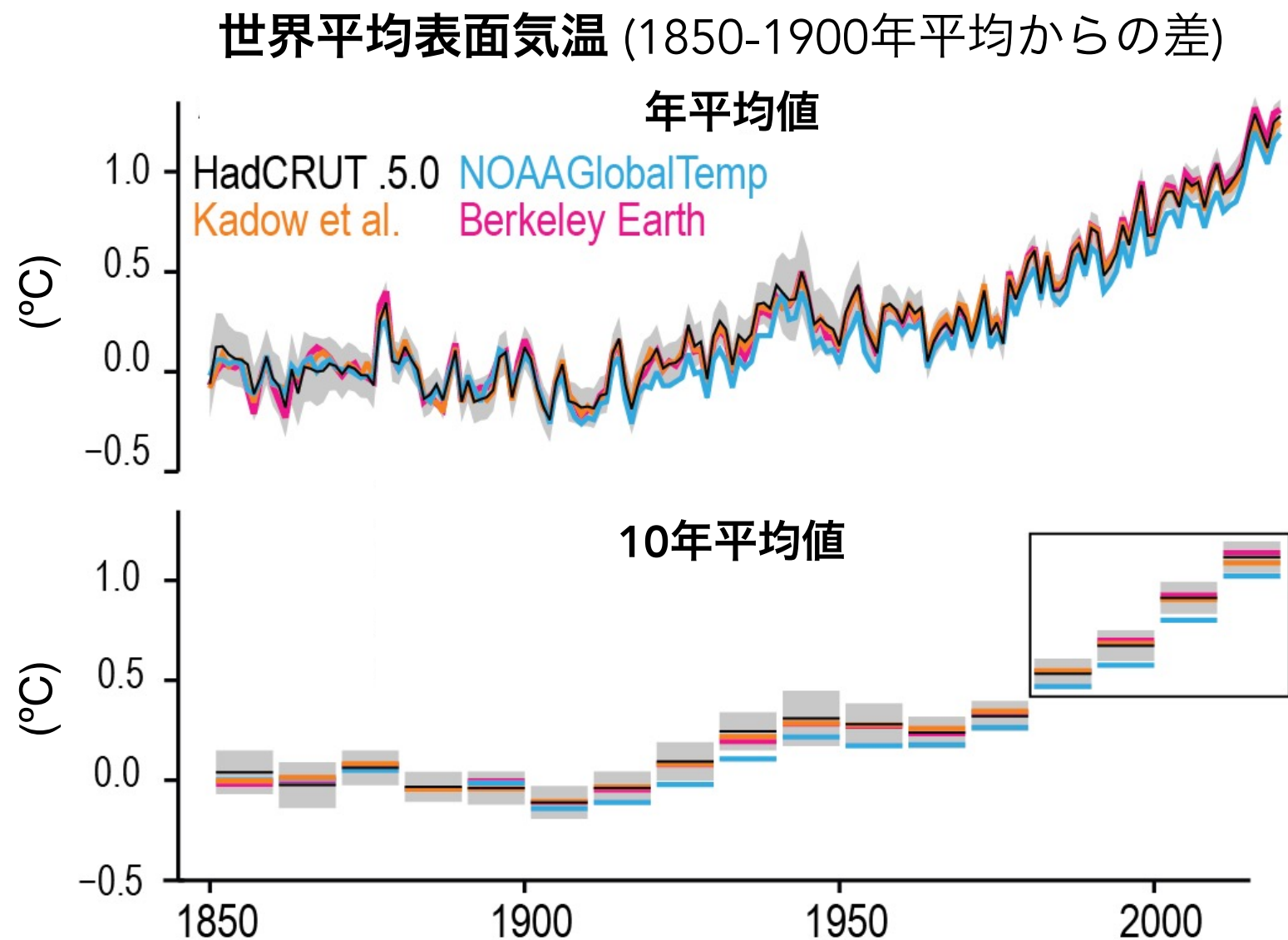
- 自然変動
(正確には内部変動)
エルニーニョ現象
など



From: bom.gov.au

© Commonwealth of Australia 2013.

世界平均表面気温の上昇



- 地球全体 (陸域 + 海域) に渡る表面気温の平均値

→ 地球温暖化の指標

- 19世紀後半 (1850-1900年) の平均を基準

工業化前の気候
の近似値

- 2011-2020年の温暖化レベルは
+1.09 °C

Figure 2.11

世界平均表面気温の上昇とその要因

- 世界の50以上の気候モデルによるシミュレーション
- 気候モデルに対し、外部条件として
 - 自然起源 + 人為起源の強制要素
 - 自然起源 の強制要素のみを与えたシミュレーション
- 人為起源の強制要素を与えなければ観測された変動は捉えられない

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

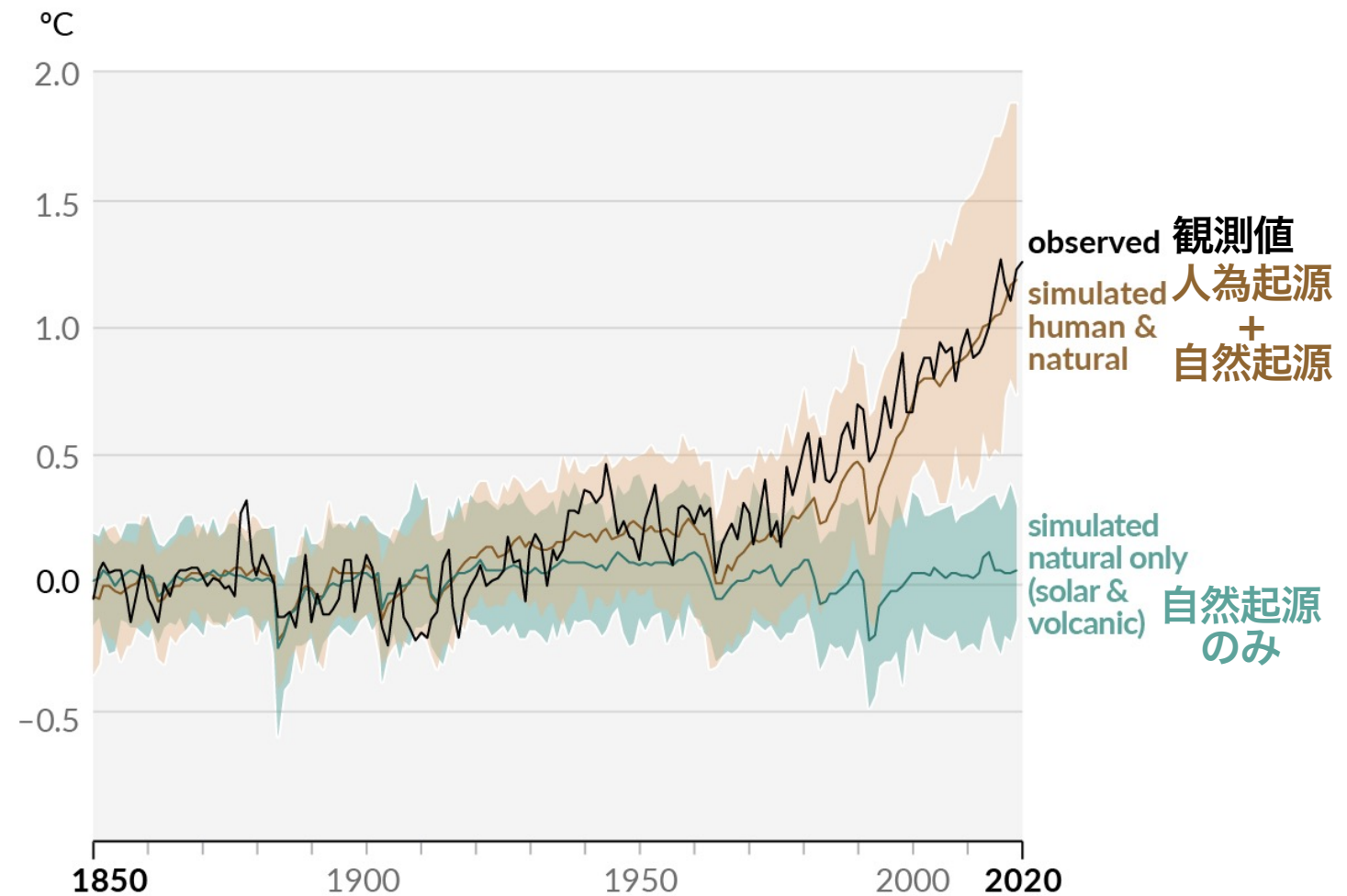


Figure SPM.1

世界平均表面気温の上昇とその要因

- 1850-1900年平均を基準として...
- 観測された2010-2019年の温暖化: **1.06°C**
不確実性幅: [0.88 - 1.21°C]
- vs
- 気候モデルで推定した人為起源温暖化: **1.07°C**
不確実性幅: [0.8 - 1.3°C]

3通りの手法

**この期間の世界平均表面気温の上昇は
実質的に全て人為起源**

※ 第5次報告書では1951年からの温暖化に対する要因分析のみ
今回の第6次報告書で、19世紀後半以降の温暖化に

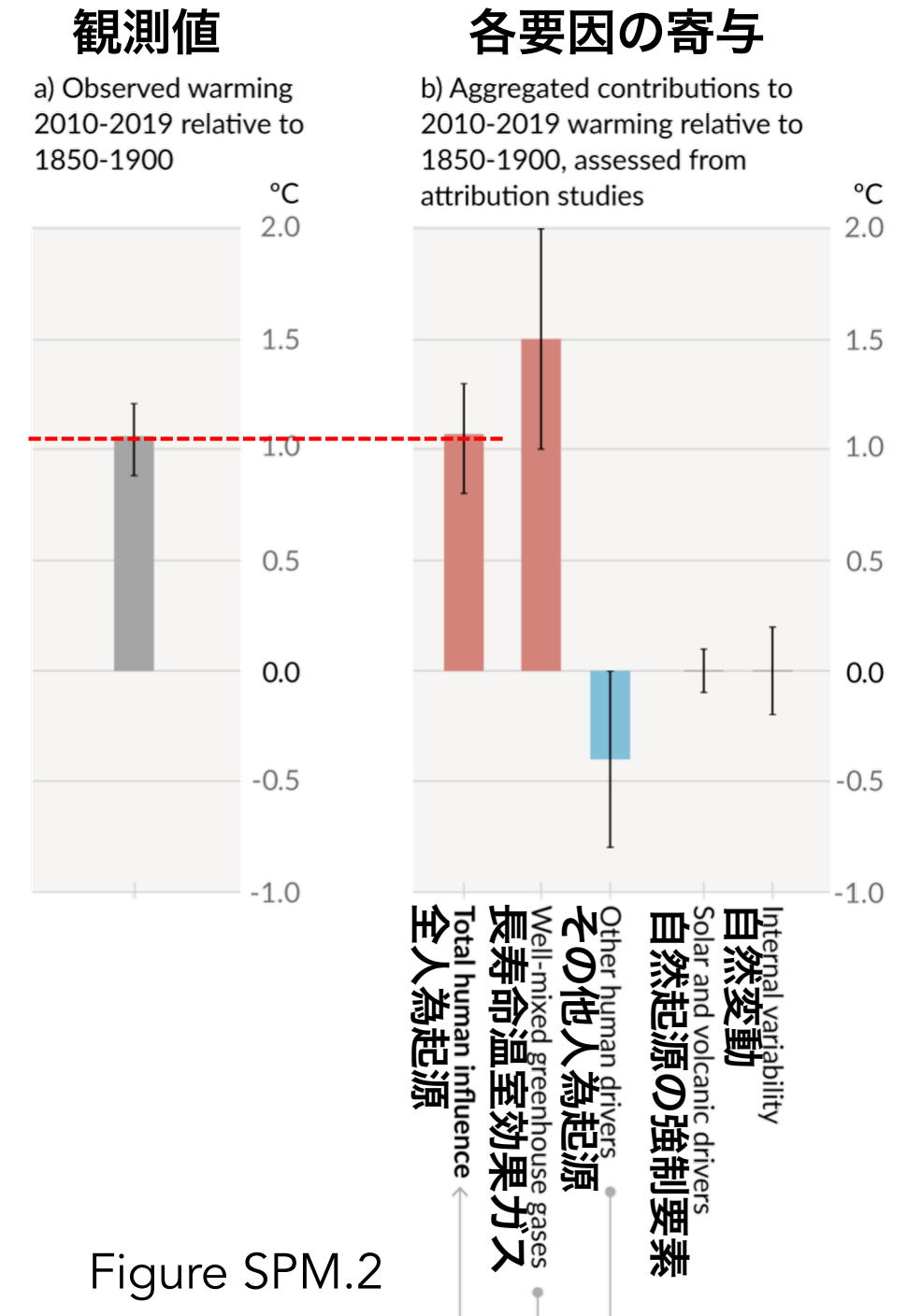


Figure SPM.2

世界平均表面気温の上昇とその要因

- 気候モデルで推定した人為起源温暖化: **1.07°C**
不確実性幅: [0.8 - 1.3°C]

内訳

- 温室効果ガス: +1.0 - 2.0 °C
- その他人為起源: -0.8 - 0.0 °C

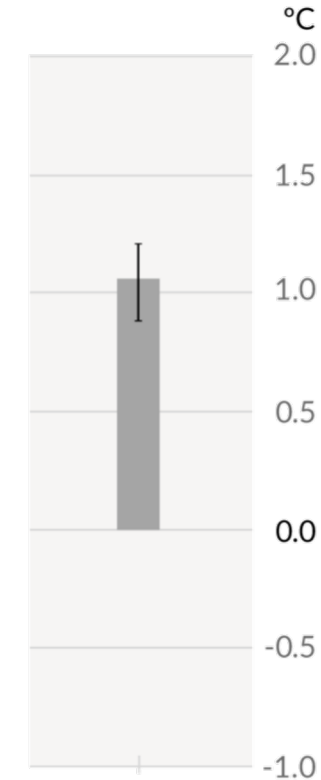
VS

- 自然起源強制要素: -0.1 - 0.1 °C
- 自然変動: -0.2 - 0.2 °C

- 人為起源の**温室効果ガス増加** → **温暖化**に寄与
- 主に**エアロゾル**による**寒冷化影響**が一部相殺
- 自然起源の強制要素の影響や、強制されない自然変動の寄与の推定値はゼロ

観測値

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



各要因の寄与

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

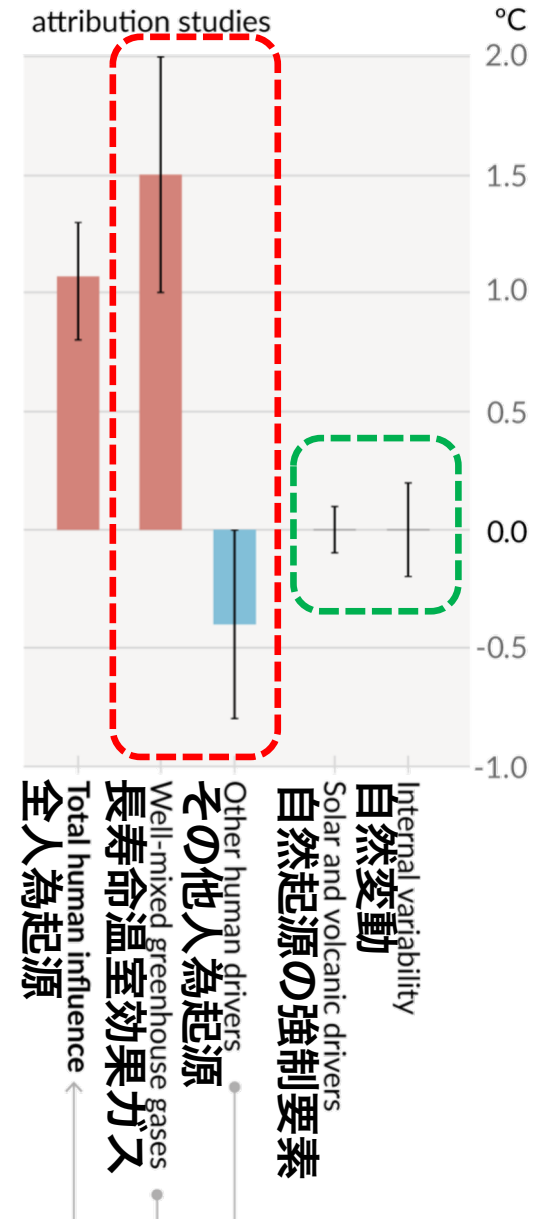
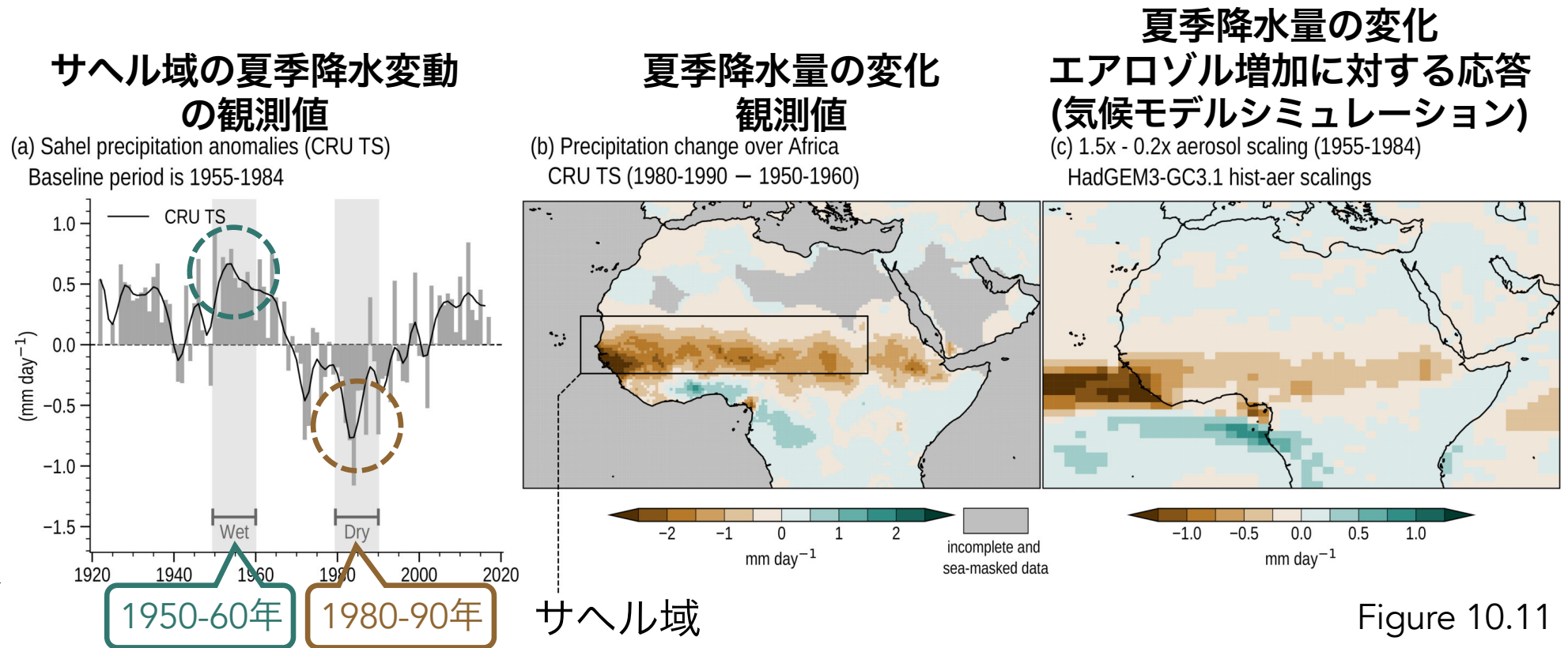


Figure SPM.2

地域規模の気候変動とその要因 ... サヘルの例

- 20世紀半ばから1980年代にかけて、年間降水量が20-30%減
- その後ある程度回復

雨季である夏に減少



• エアロゾルが重要な寄与

- エアロゾル量は1950年代から急増 → 欧州・北米では1980年代以降は減少
- 温室効果ガスは降水を増加させる傾向 ... 回復に寄与

様々な指標に見られる気候の変化 (一部のみ抜粋)

		観測された変化	人為的影響
大気	対流圏温暖化 (1979年以来)		主要因
	下部成層圏寒冷化	20世紀中期以来	主要因 (1979年から90年代中頃まで)
	陸域降水の変化 (20世紀中期以来)		寄与
海洋	海洋貯熱量の増加 (1970年代以来)		主要因
	世界平均海面上昇 (1971年以来)		主要因
	海面の酸性化		主要因
氷雪	北極海氷域の縮小 (1979年以来)		主要因
	北半球の春の積雪域の縮小 (1950年以来)		寄与
	グリーンランド氷床の減少 (1990年代以来)		寄与
	南極氷床の減少 (1990年代以来)		限定的な証拠, 中程度の一致度
	氷河の後退		主要因

第5次報告書以降の...

・観測データの高度化と蓄積

- 過去データの拡充
- データ処理手法の改善
- 新たな観測データ

- ・ 気候モデルの高度化
- ・ モデルを駆動する
各強制要素の更新

- ・ 気候変動メカニズムの
理解の深化

- ・ 人為的影響の検出や要因分析
の手法の発展

様々な気候要素において変化が見られ、
その多くで人為的影響が確認

It is unequivocal that human influence has
warmed the atmosphere, ocean and land.

人類の影響が大気、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。

より信頼できる将来予測へ

COVID-19の影響

- 2020年の年間CO₂排出量は2019年と比べて約**7%減**
- CO₂濃度の上昇は継続
- CO₂がもたらす世界平均気温上昇は、CO₂の**累積排出量**にほぼ比例
- 温暖化は遅くなった?
... 実際には、エアロゾルの減少による加熱効果の増加が、CO₂排出の減少の影響を上回った

累積CO₂排出量と温暖化はおおよそ比例

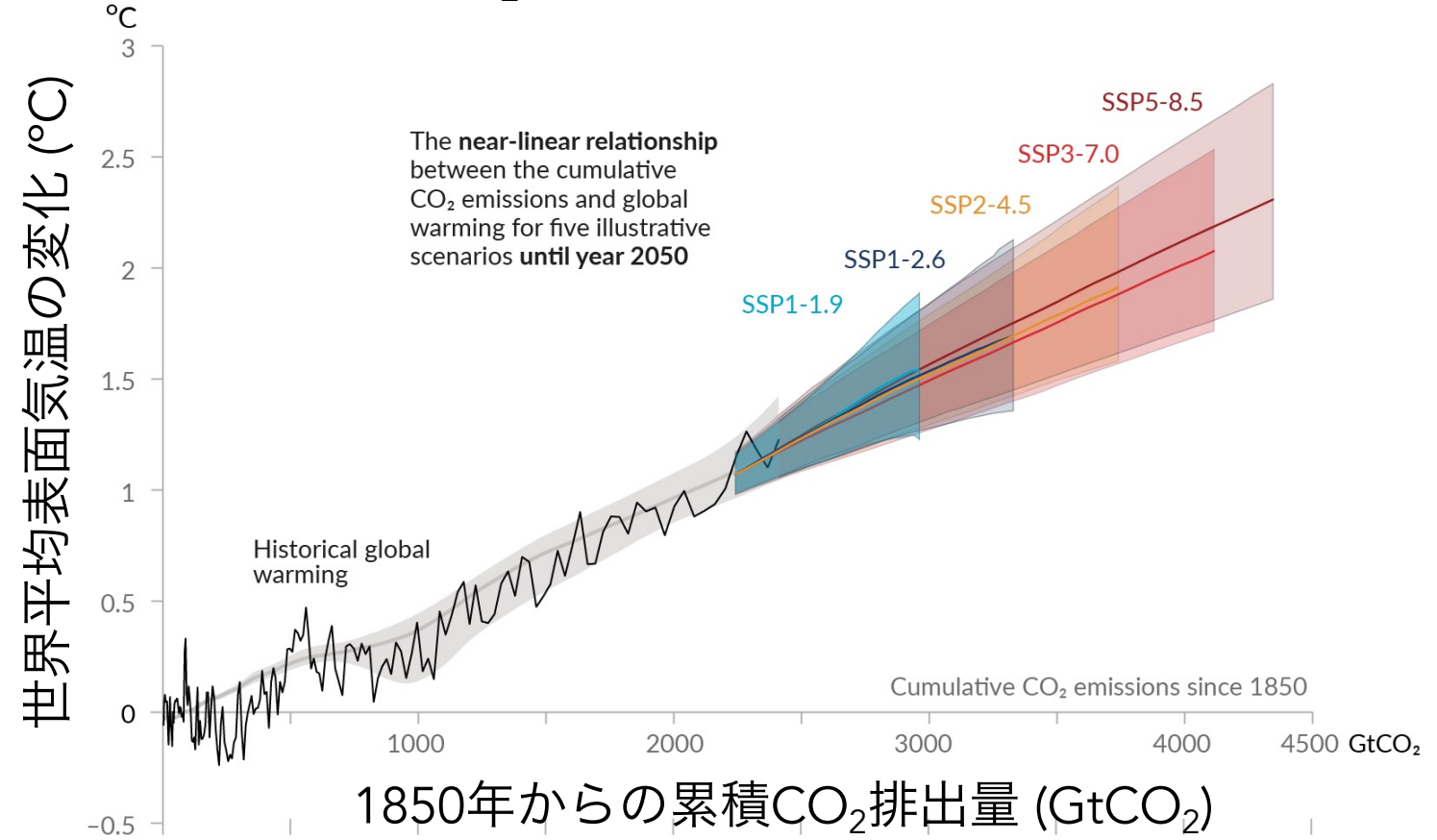


Figure SPM.10

- それらの世界平均あるいは地域規模の気温や降水への影響は検出できない

自然変動を超えるほどの影響ではなかった

まとめ

- ① 人類は、**温室効果ガス**の排出だけでなく、**エアロゾル**やオゾン破壊物質の排出、土地利用の改変などを通して気候に影響を与えてきた。
- ② 19世紀後半から2010年代までの地球温暖化 (= 世界平均表面気温上昇) は、**温室効果ガス濃度上昇による温暖化効果を、主にエアロゾルによる寒冷化効果が一部相殺したことで説明される**。自然起源の寄与はほぼない。
- ③ 世界平均表面気温以外にも、大気、海洋、陸域に渡る**様々な指標において気候の変化が見られ、人為的影響が多く**の指標で確認されている。このことから、人類の影響が大気、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。
- ④ COVID-19により2020年のCO₂排出量はわずかに減少したが、カーボンニュートラルの達成にはまだ程遠い。エアロゾル減少と合わせた気温や降水への影響は、自然変動の範囲を超えて検出されていない。