

第29回 石西礁湖自然再生協議会 [オンライン]
2022 (令和4)年2月25日(金)
12:30～15:30

海から見る、沖縄の未来

－ 気候変動はもう起こりつつある －

～IPCC 第6次評価報告書 第1作業部会報告書～

沖縄気象台 地球環境・海洋課
地球温暖化情報官 河原 恭一

～簡単に自己紹介～

- ▶ 大阪府出身
- ▶ 1988～89年：大阪府立高校で非常勤講師(物理)
- ▶ 1990(平成2)年入庁 [津(三重)]
- ▶ 1991～93年 根室測候所 [北海道]
 - 1992.11～3か月間 南鳥島 [日本最東端]
- ▶ 1994～98年 高層気象台 [つくば(茨城)]
- ▶ 1998.11～2000.3 第40次南極地域観測隊
- ▶ 2000～01年 高層気象観測室 [東京]
- ▶ 2002～17年 観測船 [神戸/東京]
- ▶ 2018～ 沖縄気象台 地球温暖化情報官
 - ▶ 2020.1 地球温暖化防止コミュニケーター
(と名乗っていいのは3月末まで)



流水が漂う根室海峡
後ろの山は国後島の爺爺岳
根室市ホームページ



南鳥島の全景
気象庁ホームページ



昭和基地のオーロラ
(撮影：河原)



海洋気象観測船
「啓風丸」
気象庁ホームページ

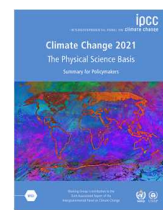
気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の報告書

▶ 地球温暖化は起きているのか...

☞ 気候システムの温暖化には疑う余地がない
(IPCC AR5 WG1 : 2013)



第5次評価報告書



第6次評価報告書

▶ 温暖化に対する人間の影響について...

- 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。

(IPCC AR5 WG1 : 2013)

☞ 「疑う余地がない」

従来よりも強い表現となった(IPCC AR6 WG1 : 2021.8)

- 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。(IPCC AR6 WG1)

3

▶ 気象・気候に関する影響(IPCC AR6 WG1)

- 極端な高温（熱波を含む）が、1950年代以降、ほとんどの陸域で頻度及び強度が増大してきた一方、極端な低温（寒波を含む）の頻度と厳しさが低下してきたことはほぼ確実。過去10年に観測された最近の極端な高温の一部は、気候システムに対する人間の影響なしには発生した可能性が極めて低いだろう。(A.3.1)
- 海洋熱波の頻度は、1980年代以降ほぼ倍増しており（確信度が高い）、人間の影響は、少なくとも2006年以降の多くの海洋熱波に寄与していた可能性が非常に高い。(A.3.1)
- 強い熱帯低気圧（カテゴリー3～5=最大風速50m/s以上）の発生の割合は過去40年間で増加しており、北西太平洋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。(A.3.4)
- 人間の影響は、1950年以降、複合的な極端現象^⑮の発生確率を高めている可能性が高い。(A.3.5)

^⑮ 例として、熱波と干ばつの同時発生、複合的な洪水（極端な降雨や河川流量と高潮の組み合わせなど）、複合的な火災の発生しやすい気象条件（高温で乾燥しており風の強い状態）や異なる地点での極端現象の同時発生が挙げられる。

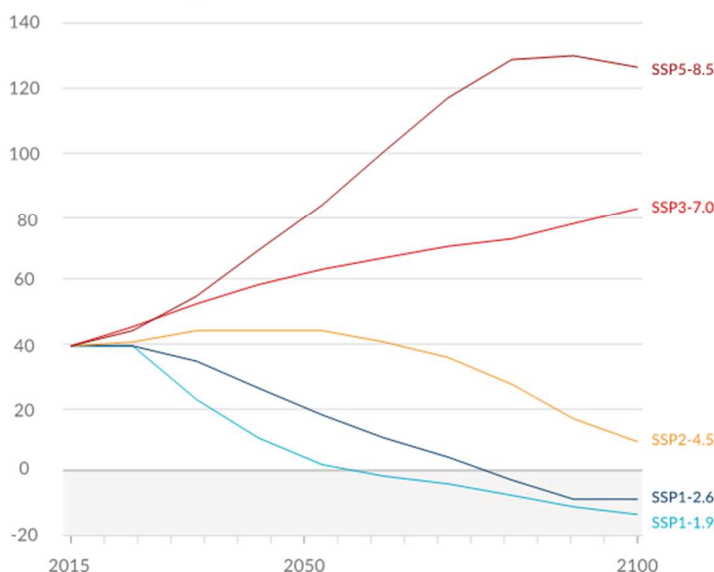
4

▶ 温室効果ガスの排出シナリオ(IPCC AR6 WG1)

将来の排出は将来の追加的な昇温を引き起こし、合計昇温量は主に過去及び将来のCO₂排出に依存する

a) 5つの例示的なシナリオにおけるCO₂の将来の年間排出量

二酸化炭素 (GtCO₂/年)



IPCC AR6 WG1 の図を編集

● SSP5-8.5

GHG排出が非常に多いシナリオ

AR5のRCP8.5シナリオに相当

追加的な緩和策を実施しない(AR5)(4°C上昇シナリオ)

● SSP3-7.0

GHG排出が多いシナリオ

● SSP2-4.5

GHG排出が中程度のシナリオ

● SSP1-2.6

GHG排出が少ないシナリオ

AR5のRCP2.6シナリオに相当

21世紀末の温度上昇を2°C未満に抑える目標を達成する(AR5)(2°C上昇シナリオ)

● SSP1-1.9

GHG排出が非常に少ないシナリオ

21世紀末の温度上昇を1.5°C未満に抑える

AR6全体を通して、シナリオはSSPx-yと表記する。ここで、「SSPx」はシナリオの根底にある社会経済的傾向を表す共有社会経済経路(SSP)を、「y」は2100年時点のおおよその放射強制力の程度(W/m²)を指す。

5

▶ 世界平均気温の将来予測(IPCC AR6 WG1)

排出シナリオ別の予測

➤ これまでの変化

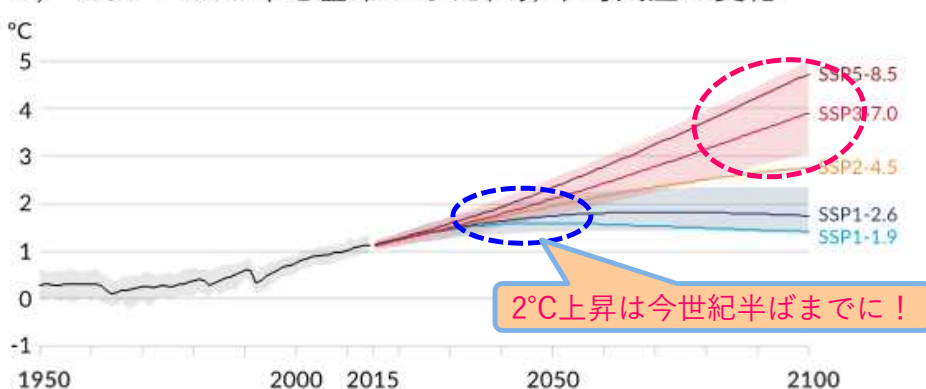
- 2011~2020年の世界平均気温 1.09 [0.95~1.20] °C高い。
海上: 0.88 [0.68~1.01] °C
陸域: 1.59 [1.34~1.83] °C

- 最近40年間のうちどの10年間でも、それに先立つ1850年以降のどの10年間よりも高温が続いた。

➤ 将来の変化

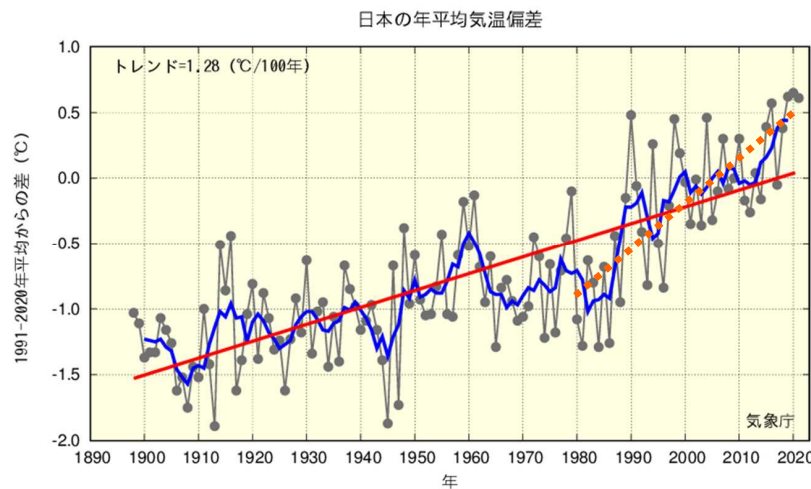
- 全ての排出シナリオにおいて、少なくとも今世紀半ばまでは上昇を続ける。
- 向こう数十年の間に二酸化炭素及びその他の温室効果ガスの排出が大幅に減少しない限り、21世紀中に、地球温暖化は1.5°C及び2°Cを超える。

a) 1850~1900年を基準とした世界平均気温の変化



「異常気象」「地球温暖化」... 言葉の理解のために・・・

👉 日本の年平均気温平年差の長期変化を例に...



統計期間 = 1898~2021年

- ▶ 長期変化傾向：100年あたり +1.28°C
- ▶ 気温が高い年、低い年が繰り返し現れている（年々変動）

👉 「温暖化」= 常に気温が高いわけではなく、「高くなる頻度」が長期的に増える

- ▶ 1980~2021年だけをみると・・・

変化傾向は 100年あたり +3.32°C

👉 近年の変化が大きい

(参考までに1989~1990年：100年あたり +0.79°C)

- ◆ 異常気象：30年に一度以下の頻度で起こる現象 👉 自然界では一定の頻度で起こる
- ◆ 地球温暖化：平均的な気温が長期的に上昇すること(個々の高温のことではない)
- ◆ その結果、「異常気象」の発生頻度が高まる

7

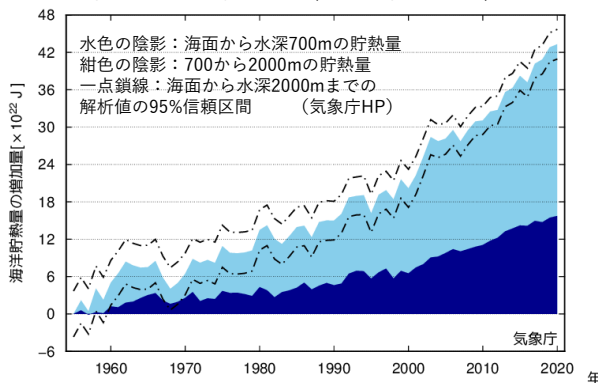
気候変動（海洋への影響）

- ▶ 海洋はエネルギーを蓄えている

👉 海洋は91%を蓄積（大気は約1%）

(IPCC AR6)

海洋貯熱量の増加量（1955年との差）



- ▶ 海洋貯熱量は長期的に増加する傾向
- ▶ 海面から水深2000mまでの平均水温は約0.15°C上昇

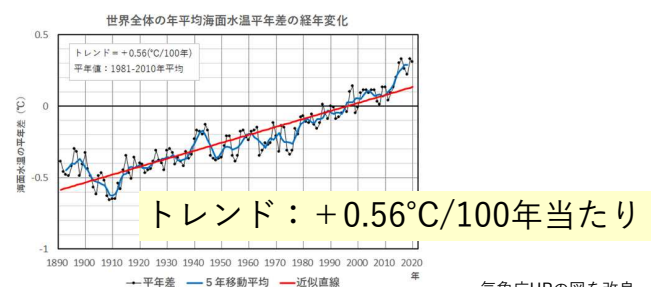
(気象庁HP)

👉 仮に、増加した全エネルギーを大気が蓄積すると地球全体の気温が約50°C上昇する

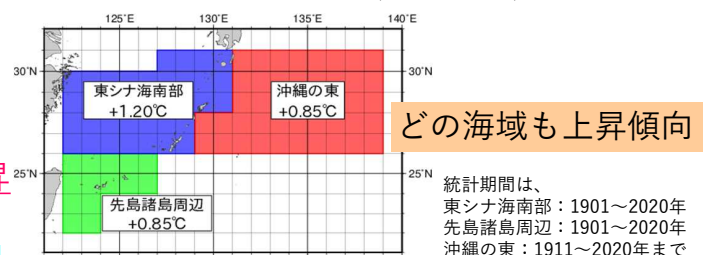
海水が暖まる → 海水が膨張する

- ▶ 海面水温は上昇している

世界全体の年平均海面水温平年差の経年変化（1891~2020年）



沖縄周辺の海域別の海面水温変化（100年あたり）



沖縄の気候変動監視レポート2021（沖縄気象台）

8

気候変動（海洋への影響）

▶ 海面水位は上昇している

- 世界平均海面水位は、1900年以降、少なくとも過去3千年間のどの百年よりも急速に上昇している（確信度が高い）
- 1901～2018年の間に **0.20 [0.15～0.25] m** 上昇した。
- その平均上昇率
 - 1901～1971年の間は **1.3 [0.6～2.1] mm/年**
 - 1971～2006年の間は **1.9 [0.8～2.9] mm/年** に増大
 - 2006～2018年の間は **3.7 [3.2～4.2] mm/年** に更に増大（確信度が高い）

上昇速度が早まる

沖縄地方でも上昇傾向

那覇：1967～2020年＝2.3mm/年

石垣：1969～2020年＝2.4mm/年

沖縄の気候変動監視レポート2021

最大要因が変化

- 1971～2018年に観測された海面水位上昇の **50%が海洋の熱膨張**、22%は氷河の氷の減少、20%は氷床の消失、8%は陸域における貯水量の変化が寄与した

- 2006～2018年の上昇は、**氷床と氷河の質量減少が支配的な要因**

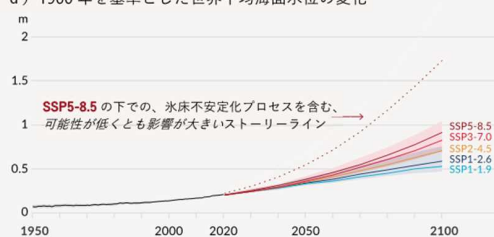
2010～2019年の氷床の質量減少率は、1992～1999年の4倍であった

温室効果ガスの排出が非常に多いシナリオ（SSP5-8.5）の下では、氷床プロセスの不確実性が大きいので、可能性の高い範囲を超えて、**2100年までに2 m、2150年までに5 mに迫る可能性も否定できない（確信度が低い）（B.5.3）**

長期的には、海洋深部の温暖化と氷床の融解が続くため、**海面水位は数百年から数千年にわたり上昇することは避けられず、また数千年にわたり海面水位が上昇した状態が継続する（確信度が高い）（B.5.4）**

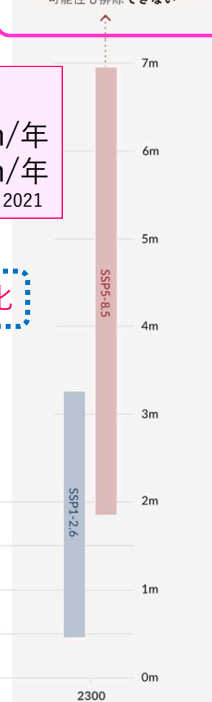
IPCC AR6 WG1

d) 1900年を基準とした世界平均海面水位の変化



e) 1900年を基準とした2300年の世界平均海面水位の変化

高排出の場合には15 mを超える海面水位上昇の可能性も排除できない

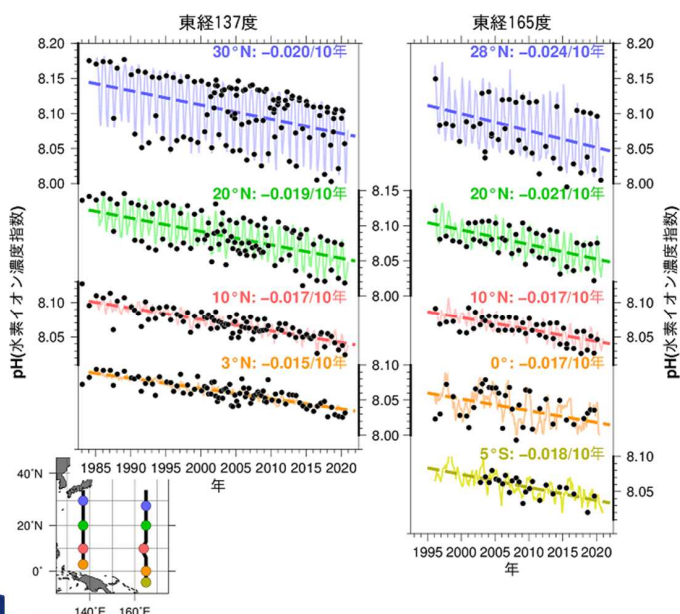


IPCC AR6 WG1 から

9

気候変動（海洋への影響）

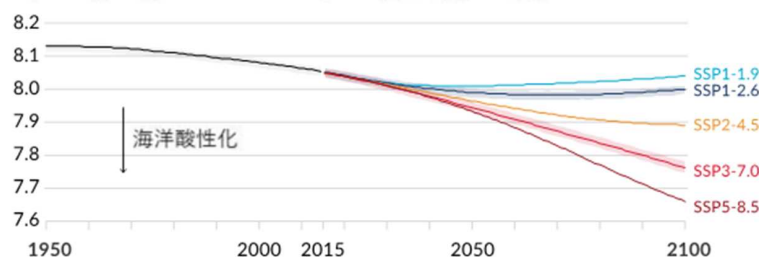
▶ 表面海水のpHの変化（気象庁観測船の結果）



東経137度線、東経165度線の各緯度における表面海水のpHの長期変化（気象庁HP）

▶ 表面海水のpHの将来予測

c) 世界全体の海面付近のpH（酸性度の尺度）



全てのシナリオにおいて海洋酸性化の世界的な進行を予測している（現在の海面のpHは概ね8.1程度）

IPCC AR6 WG1

- pHが低下すると、**アルカリ性の状態でも炭酸カルシウムの骨格・殻等を形成する生物（サンゴ、貝、ウニ、プランクトンなど）の成長を阻害する。**
- 複数の証拠に基づけば、海洋酸性化（ほぼ確実）は将来の排出に応じた速度で、21世紀の間、進行し続けるだろう。（B.5.1）
- 現在の海洋表面のpHは、少なくとも**過去26,000年間で前例のない値である（確信度が非常に高い）**。（TS.2.4）
- （SSP1-1.9、SSP1-2.6）では、大気中のCO₂濃度は21世紀中にピークを迎えた後に減少し、陸域と海洋が吸収する炭素量は大気中のCO₂濃度の減少に応じて減り始める（確信度が高い）。
- SSP1-1.9では、陸域と海洋は2100年までに**弱い正味の放出源に変わる（確信度が中程度）**。

10

気候変動（海洋への影響）

- ▶ **海洋酸性化** ☞ CO_2 は海水によく溶ける！
（人為起源の約30%が海水に溶け込んでいる）
☞ 弱アルカリ性からさらに酸性側に近づくが、
実際に酸性になるわけではない。
☞ 炭酸カルシウム(CaCO_3)の殻や骨格をもつ生物は
影響を受ける。
- ▶ **海洋熱波** ☞ 頻度増加（現在も一定の割合
で発生）（ 30°C 以上が続くとサンゴ白化）
☞ 生息好適地が変化（北へ遷移する可能性）
- ▶ **海面水位の上昇** ☞ 生態系への影響
高潮・高波の被害、砂浜の喪失
観光資源への影響（地域経済への影響）
- ▶ **赤土流入（間接的な影響）**
☞ 大雨等の増加で頻度が増える
☞ 土地利用の変化にも起因する



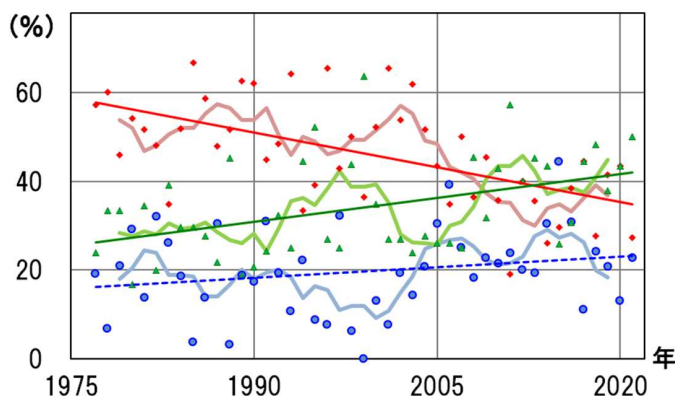
八重山周辺海域の白化の様子（2007年8月16日撮影）
環境省 国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター提供



座間味島のビーチ（2016年7月3日撮影：河原）

11

台風の勢力の変化（日本気象学会沖縄支部にて発表＝昨日(2/24)）



台風の勢力別、発生割合の経年変化

- ☞ 最盛期の中心付近の最大風速(最大値)で分類（対象期間：1977～2021年）
点：年別値、折線：5年移動平均、直線(実線)：有意な変化傾向、直線(点線)：有意でない変化
強さ別に、50kt以下：緑、50kt超 95kt未満：赤、95kt以上：青 有意性の確認：Mann-Kendall検定

- 最大風速 50kt 以下の割合：10年あたり**3.7%**の増加傾向（有意水準99%以上、グラフ**緑**）
- 最大風速 50kt 超 95kt 未満の割合：10年あたり**5.2%**の減少傾向（有意水準99%以上、グラフ**赤**）
- 最大風速 95kt以上の割合：10年あたり**1.6%**の増加（統計的に有意ではない、グラフ**青**）

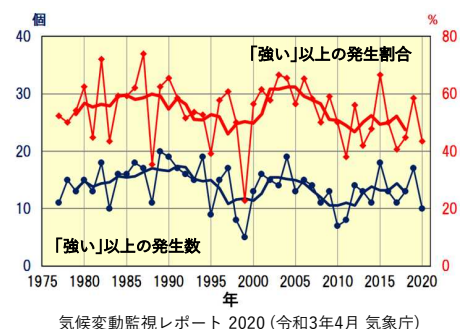
「強い熱帯低気圧（カテゴリー3～5）の発生の割合は過去40年間で増加して」 いる可能性が高い

☞ [カテゴリー3] = 96～113kt (50～59m/s) (1分間平均風速)

(IPCC AR6 WG1)

〔参考〕

- 「強い(最大風速 33m/s = 64kt 以上)」以上の台風の発生数
➢ 1977～2020 年の統計期間では変化傾向は見られない。



気候変動監視レポート 2020 (令和3年4月 気象庁)

12

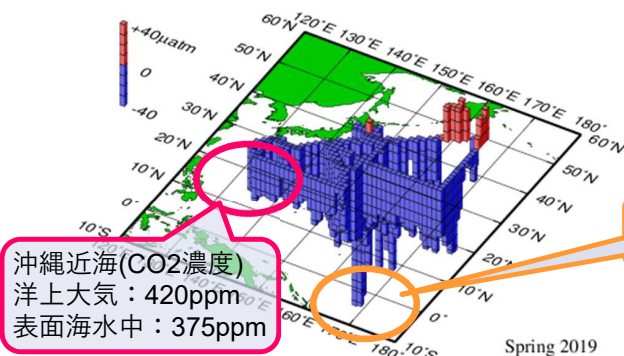
地球温暖化緩和への希望

- ▶ 二酸化炭素削減に向けて 一人ひとりができる取組をしましょう！
・ ・ ・ とよく言われます！（その通り、皆さんそうしましょう！）
☞ しかし、地球温暖化はその程度の取組で解決できるレベルではない！
それも現実として受け止める必要がある



八重山周辺海域の白化の様子（2007年8月16日撮影）
環境省 国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター提供

- ▶ 海洋観測の現場から ヒントになる現象を一つ



- ：海洋から大気にCO2放出（CO2濃度：大気＜海洋）
- ：海洋が大気からCO2吸収（CO2濃度：大気＞海洋）

- ☞ さまざまな条件で、放出／吸収が決まる
- ☞ 大気中の濃度が高く、海洋が吸収する場合が多い

極端な吸収域に注目

- ▶ 平均的なCO2濃度：大気＝415ppm, 海洋＝350ppm
- ☞ 海洋のCO2濃度が200ppm程度にまで低下する
- ☞ 春先の植物プランクトン大発生(光合成)の影響
- ▶ 植物が持つこの能力は、陸上にもあるはず

気象庁所属の海洋気象観測船（凌風丸・啓風丸）の観測による
洋上大気と表面海水中との二酸化炭素の分圧差
(2019年春季＝4～6月)

13

【気候関連の情報】

- ✓ 『沖縄の気候変動監視レポート2021』 ☞ 3月に更新します。
https://www.data.jma.go.jp/okinawa/data/kiko/climate_report_okinawa.html
- ✓ 「地球温暖化リーフレット」 ☞ 3月に更新します。☞【作業中】
https://www.data.jma.go.jp/okinawa/data/kiko/report_leaflet.html
- ✓ 『日本の気候変動2020』（文部科学省 気象庁）
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>
- ✓ IPCC第6次評価報告書 第1作業部会報告書（AR6 WG1）
(気象庁ホームページ掲載分)
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/index.html>

