

第3回「国連海洋科学の10年」研究会
2020年12月21日（月）

気候変動の観点から

— 海の温暖化・海面水位上昇・海の酸性化 —

気象庁気象研究所 研究総務官

石井 雅男

IOCCP/GOOS Biogeochemistry Expert Panel, co-chair

IPCC WGI AR6, Chapter 5, Lead Author

パリ協定と今後の海洋研究



2015年12月 第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）にて、パリ協定合意。
2016年11月 パリ協定発効。

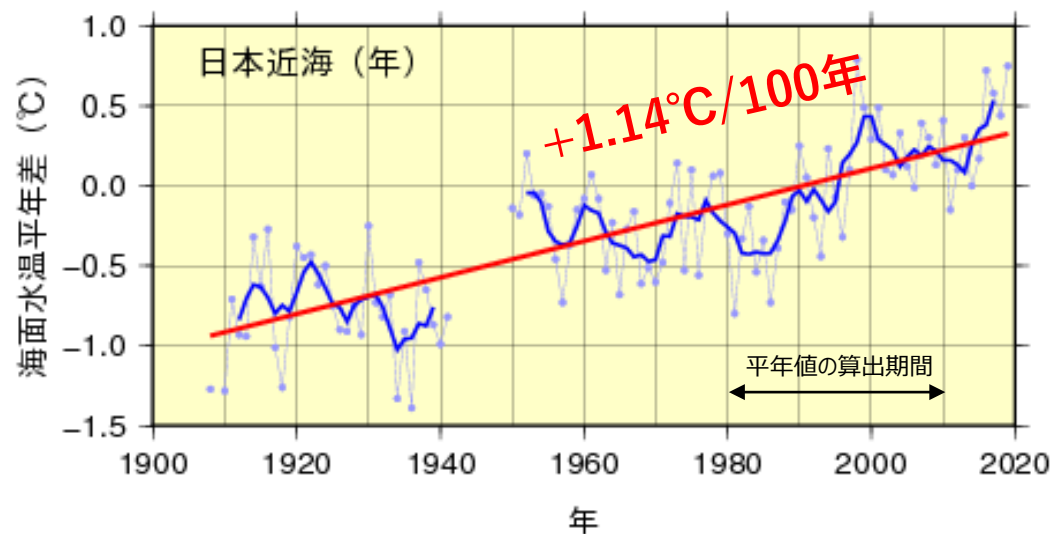
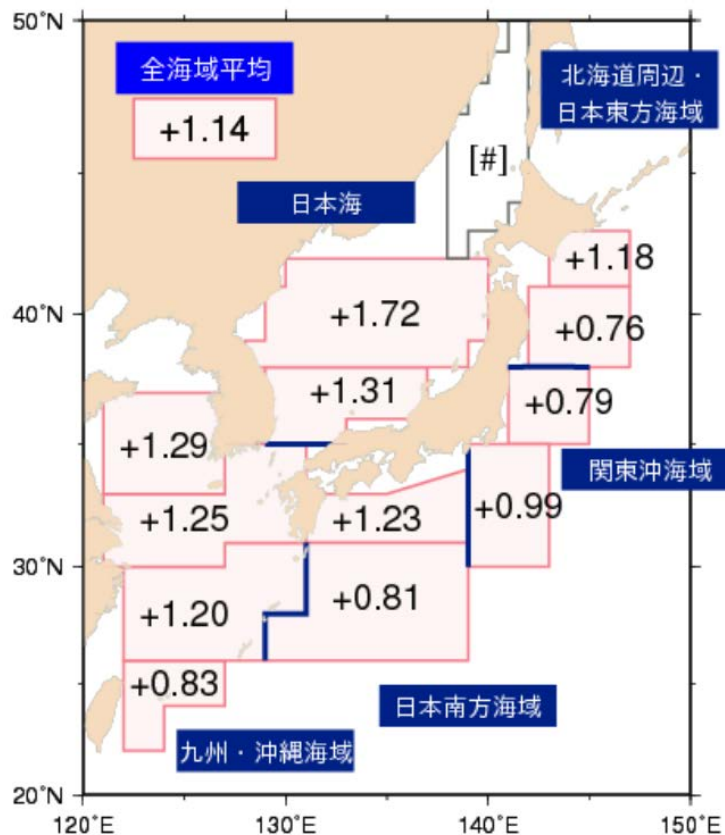
世界共通の長期目標として2℃目標の設定。1.5℃に抑える努力を追求する。

⇒ 海洋の変化を抑制する上でも、大きな意味がある。

- CO₂排出削減の効果を、自然変動の影響と区別しながら観測によって評価する必要性。
- 効果的な適応策の策定に向け、海洋変化の予測の不確実性を低減する必要性。

日本の周りでも進む海水温の上昇

日本の周囲の平均海面水温の 100年あたりの上昇速度



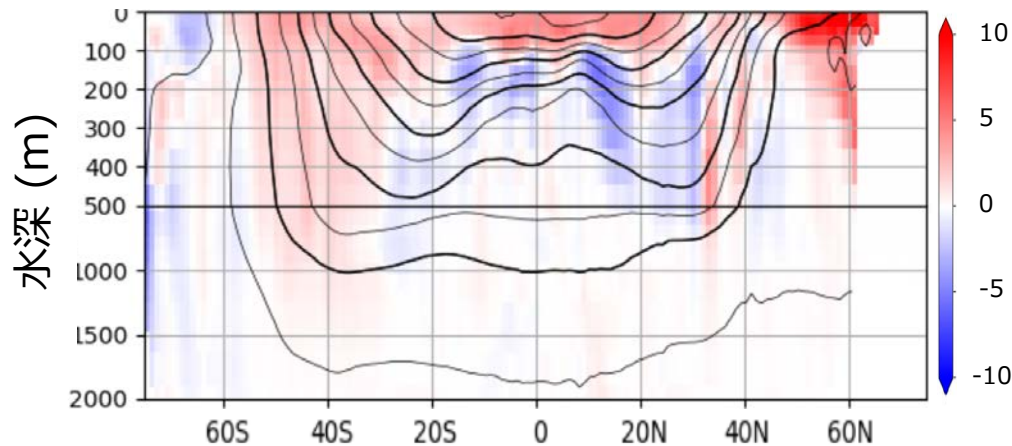
日本の周囲の海面水温は、

- 10年ほどの---周期で変動しながら、**100年あたり $+1.14^{\circ}\text{C}$** の速さで上昇中。
- 日本全国の**年平均気温の上昇率**（100年あたり $+1.24^{\circ}\text{C}$ ）と**ほぼ同じ速さ**である。

海の内部でも温暖化は進んでいる

太平洋とインド洋の海中の水温変化

(2005-2009年から2013-2017年までの平均変化)



100年あたり

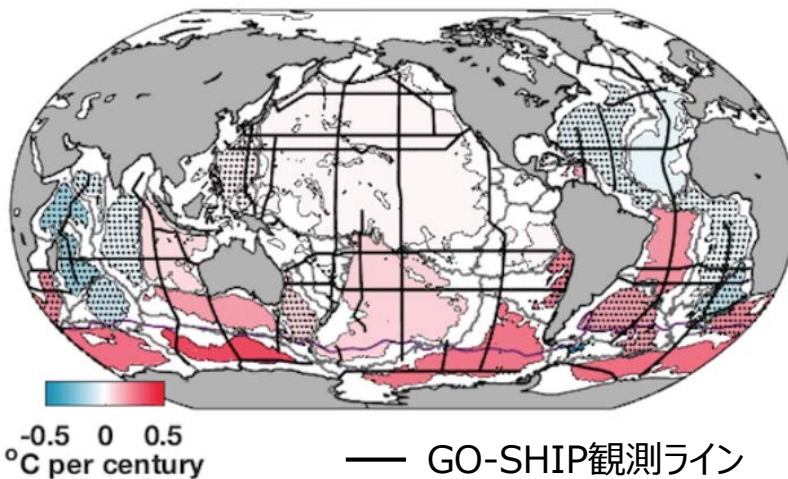
Argoフロート



世界の海に3894台が展開 (2020.11.26)

それらのうち、日本では、213台を気象庁とJAMSTECが運用中.

水深4000m以深における水温上昇の平均速度 (1981-2019)



— GO-SHIP観測ライン

• 上層で水温上昇が著しい.

→ 暖かい上層と冷たい下層の密度差が大きくなり、上下混合が起きにくくなっている (成層化)



気象庁 凌風丸



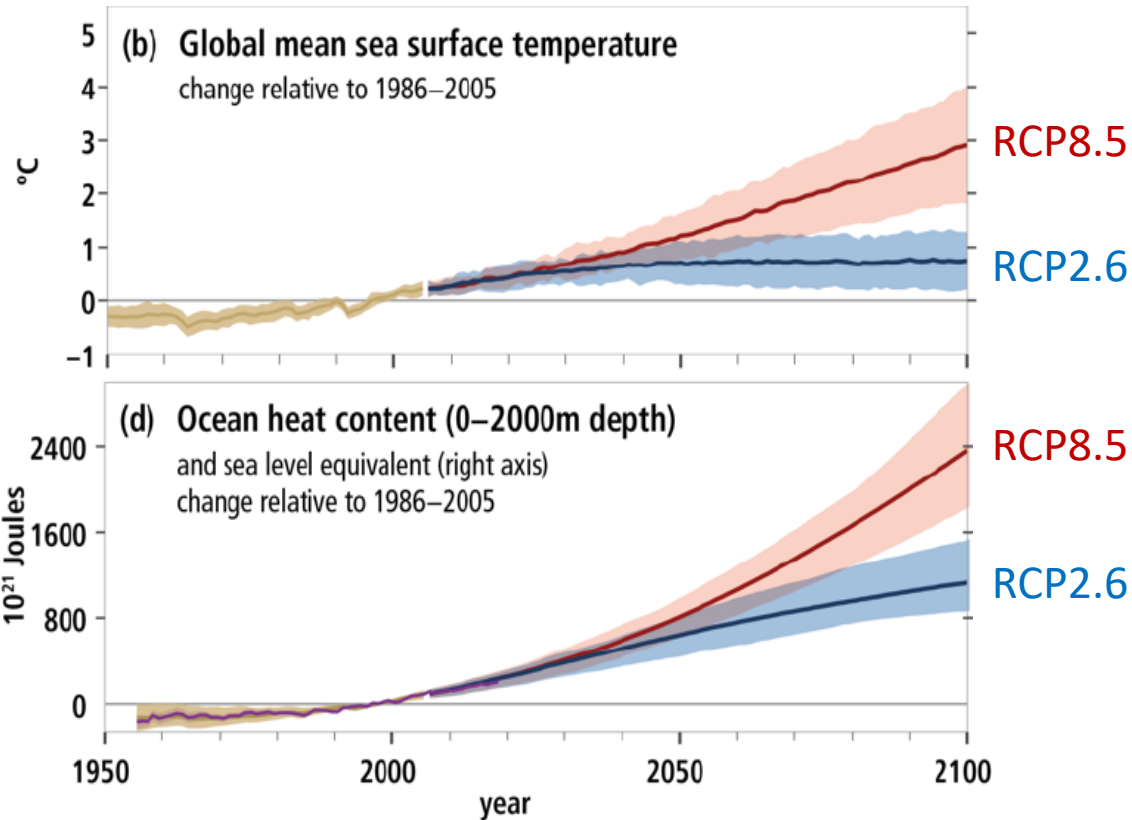
JAMSTEC 未来

• 南大洋では、水深4000mを超える深層でも水温が上昇している。

IPCC 海洋と雪氷圏に関する特別報告書 (SROCC)

海の温暖化のこれまでと今後

海面水温の変化
(°C)



海洋貯熱量の変化
(ZJ)

RCP8.5 : 現時点を超える政策的な緩和策を行わないことを想定したシナリオ

RCP2.6 : 気温上昇を工業化以前と比べて2°C未満に抑えることを目指すことを想定したシナリオ

- 1993-2017年の海洋の平均貯熱速度は、1969-1993年の速度の約2倍に加速。
- RCP2.6では、海面水温は21世紀半ば以降ほぼ横ばい。しかし、貯熱量は増え続ける。

● 気象への影響

ー 猛暑、豪雨の増加・・・

1 13版 2020年(令和2年)10月21日(水) 毎日新聞



西日本豪雨温暖化で確率3.3倍

気象研などスパコンで分析

最大の被害が出た2018年の西日本豪雨で瀬戸内地方に降った大雨は、地球温暖化によって発生しやすさが約3・3倍に なっていた可能性があるとの分析結果を、気象庁気象研究所などの研究チームが20日発表した。17年の九州北部豪雨の場合 は約1・5倍と推計された。

チームは海面水温の観測データなどを使い、温暖化が進む現在の地球と、二酸化炭素(CO₂)など温室効果ガスの濃度が1850年から増加しないなど温暖化していないと仮定した

● 海面水位上昇

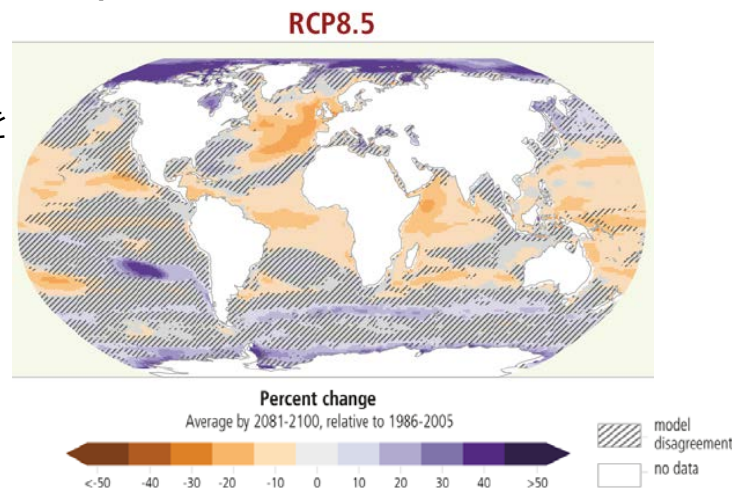
→ 次のページへ

● 海洋生態系の変化、水産業への影響

- ー 生物への直接的な水温変化の影響
- ー 成層化の影響 (海洋循環の変化、栄養塩供給の減少、海中の酸素減少)

基礎生産

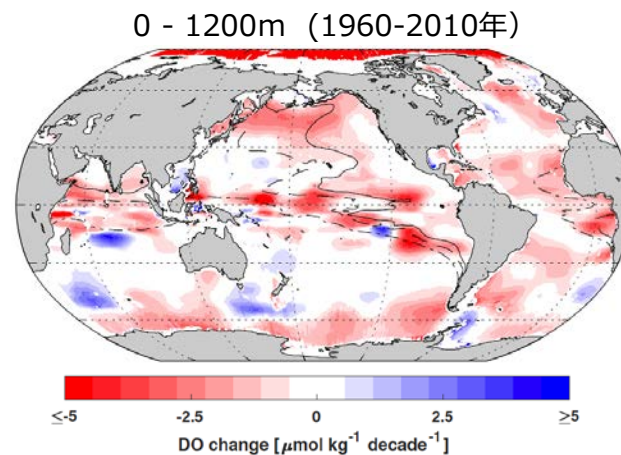
多くの海域で減少を予測
⇒ 漁業影響



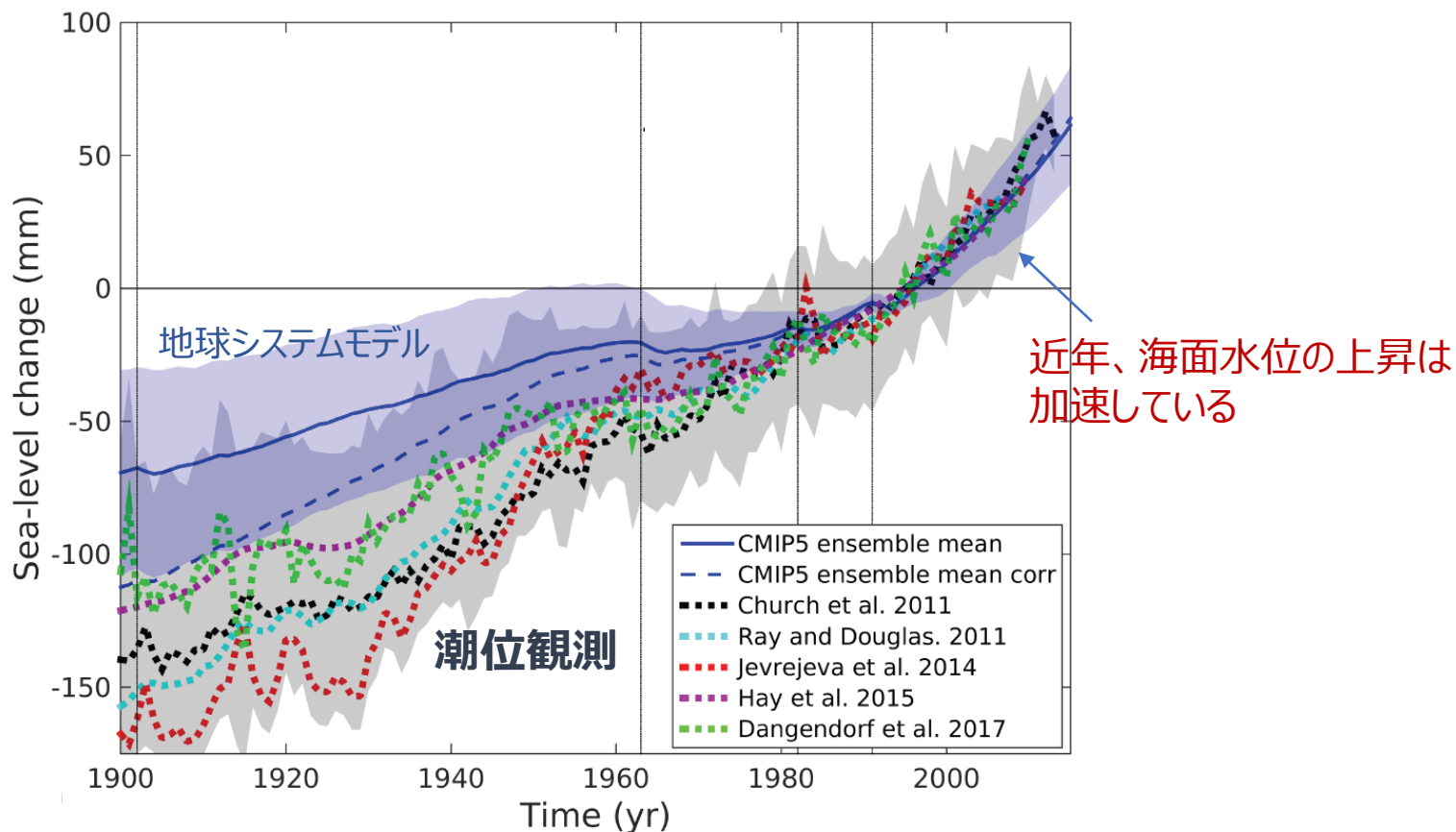
海中の酸素減少

1970-2010に海中の酸素は0.5 ~ 3.3%減少した。

北部北太平洋は酸素減少が顕著な海域のひとつ



世界の海面水位の平均変化 (1902年~2015年)



- 1902~2015年に世界の平均海面水位は16 [12~21] cm上昇した。
- 2006~2015年の海面水位の平均上昇率 (毎年3.6 [3.1~4.1]mm) は、1901~1990年の平均上昇率 (毎年1.4 [0.8~2.0]mm) の約2.5倍だった可能性が非常に高い。

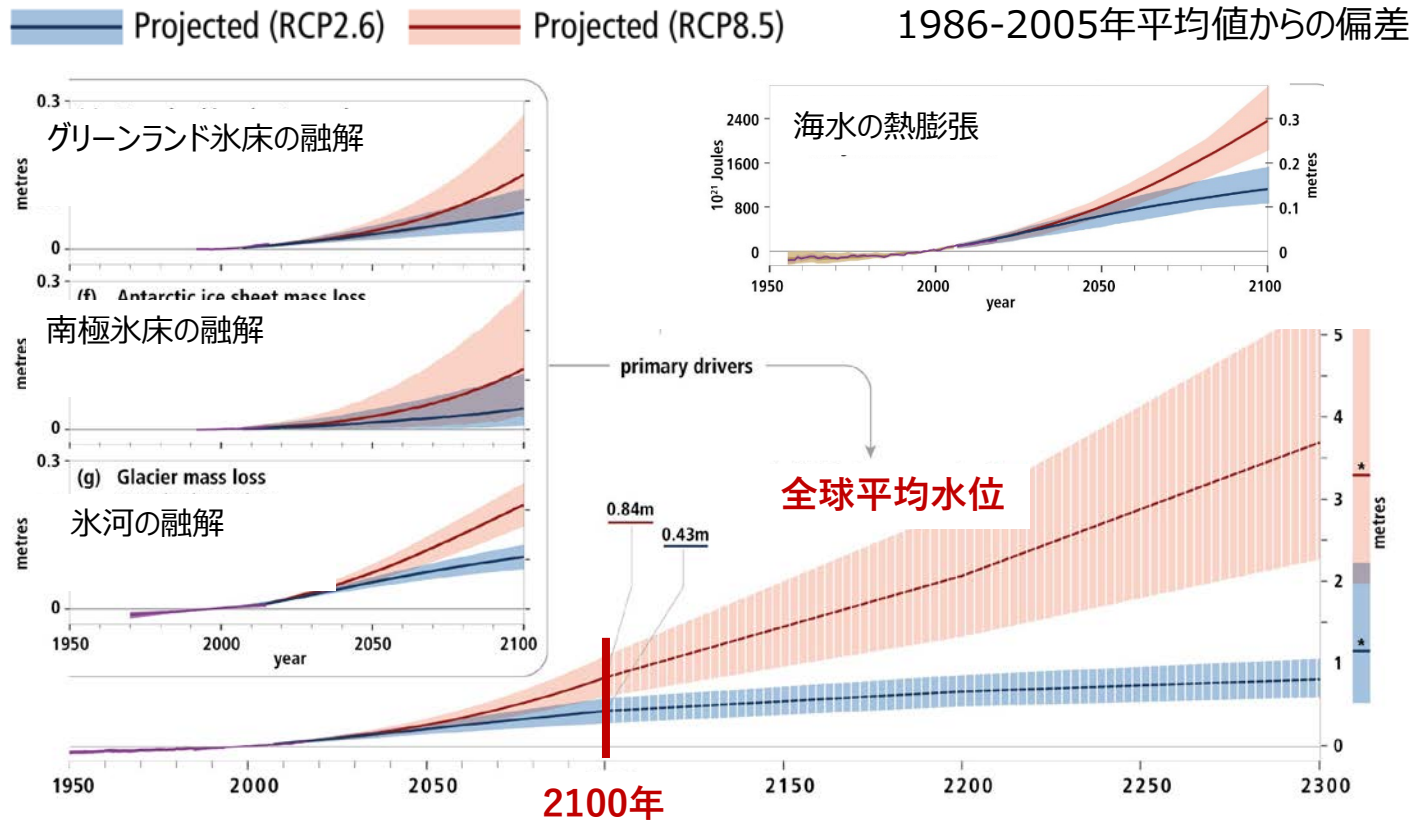
海面水位はなぜ上がっているのか？ 加速の原因は？

| 要素 | 1993-2015年 | | 2006-2015年 |
|------------------------------|-------------------------|---|-------------------------|
| 観測値 | 3.16 (2.79~3.53) | < | 3.58 (3.10~4.06) |
| 海洋の 熱膨張 | 1.36 (0.96~1.76) | ≒ | 1.40 (1.08~1.72) |
| 氷河 の融解 (グリーンランドと南極以外) | 0.56 (0.34~0.78) | | 0.61 (0.53~0.69) |
| グリーンランド と周辺の氷河の融解 | 0.46 (0.21~0.71) | < | 0.77 (0.72~0.82) |
| 南極氷床 と周辺の氷河の融解 | 0.29 (0.11~0.47) | < | 0.43 (0.34~0.52) |
| 陸域の貯水量の変化 | 0.09 | > | -0.21 (-0.36~-0.06) |
| 各要素の合計 | 2.76 (2.21~3.31] | | 3.00 (2.62~3.38] |

単位：mm/年

- **海洋の熱膨張**が海面水位上昇の原因の**およそ40%**を占めている。
- **氷河・氷床の融解**の影響が、最近大きくなる傾向にある。

海面水位上昇の将来予測



今世紀末に比べて2100年までに

RCP8.5: +71 (51~92)cm

RCP2.6: +39 (26~53)cm

上昇すると予測

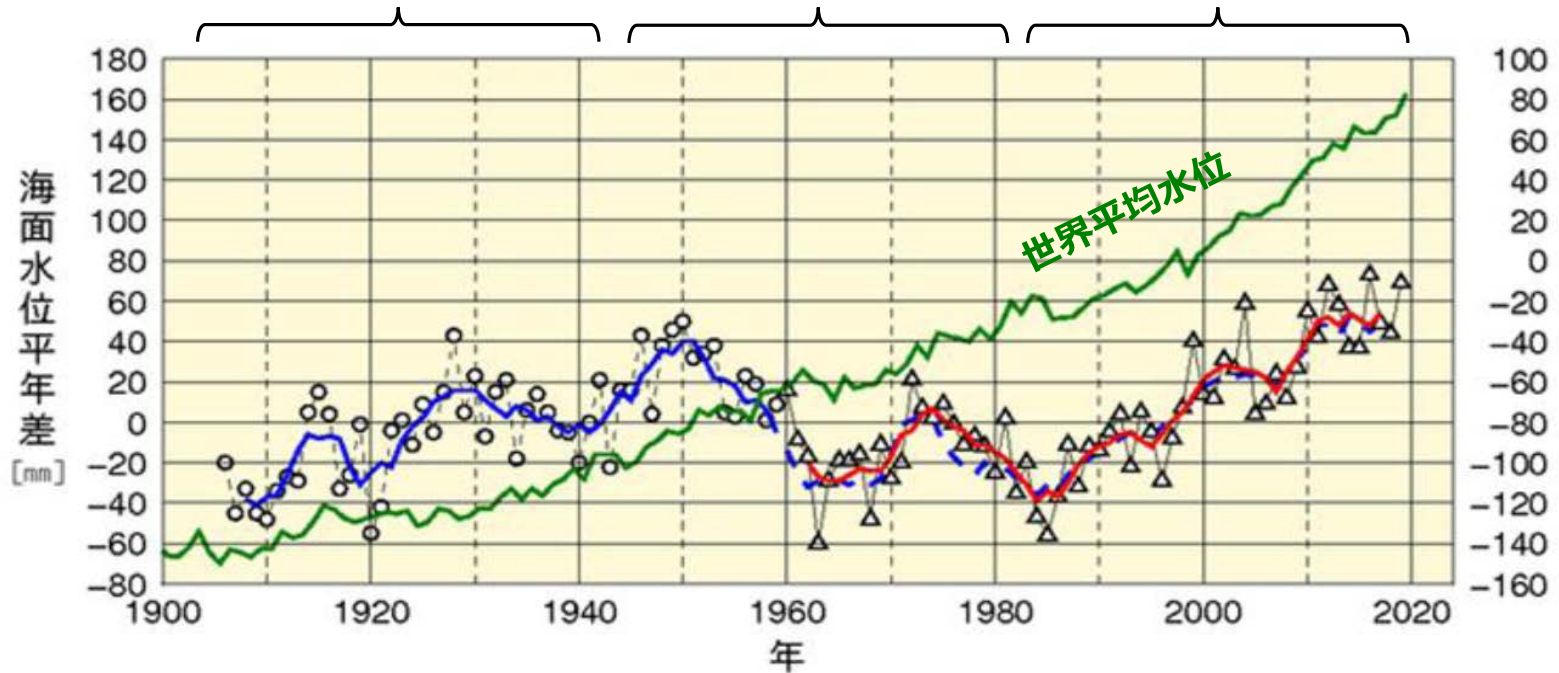
- グリーンランドや南極氷床の融解の寄与の不確かさが特に大きい
- ただし、海面水位の上昇速度は、海域によって異なる可能性が高い。

日本の沿岸の海面水位変化（1906年～2018年）

世界の海面水位の平均的な増加傾向と整合的

自然変動に伴う現象

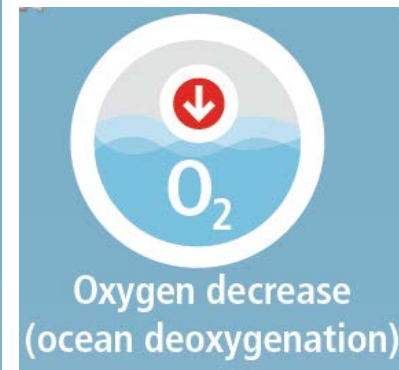
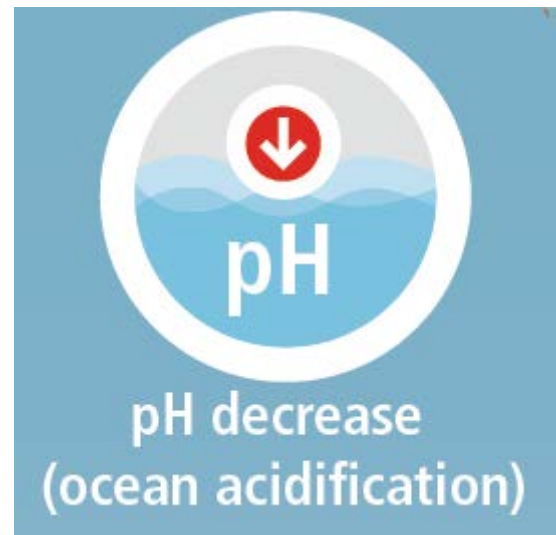
世界の海面水位の平均的な増加傾向と整合的



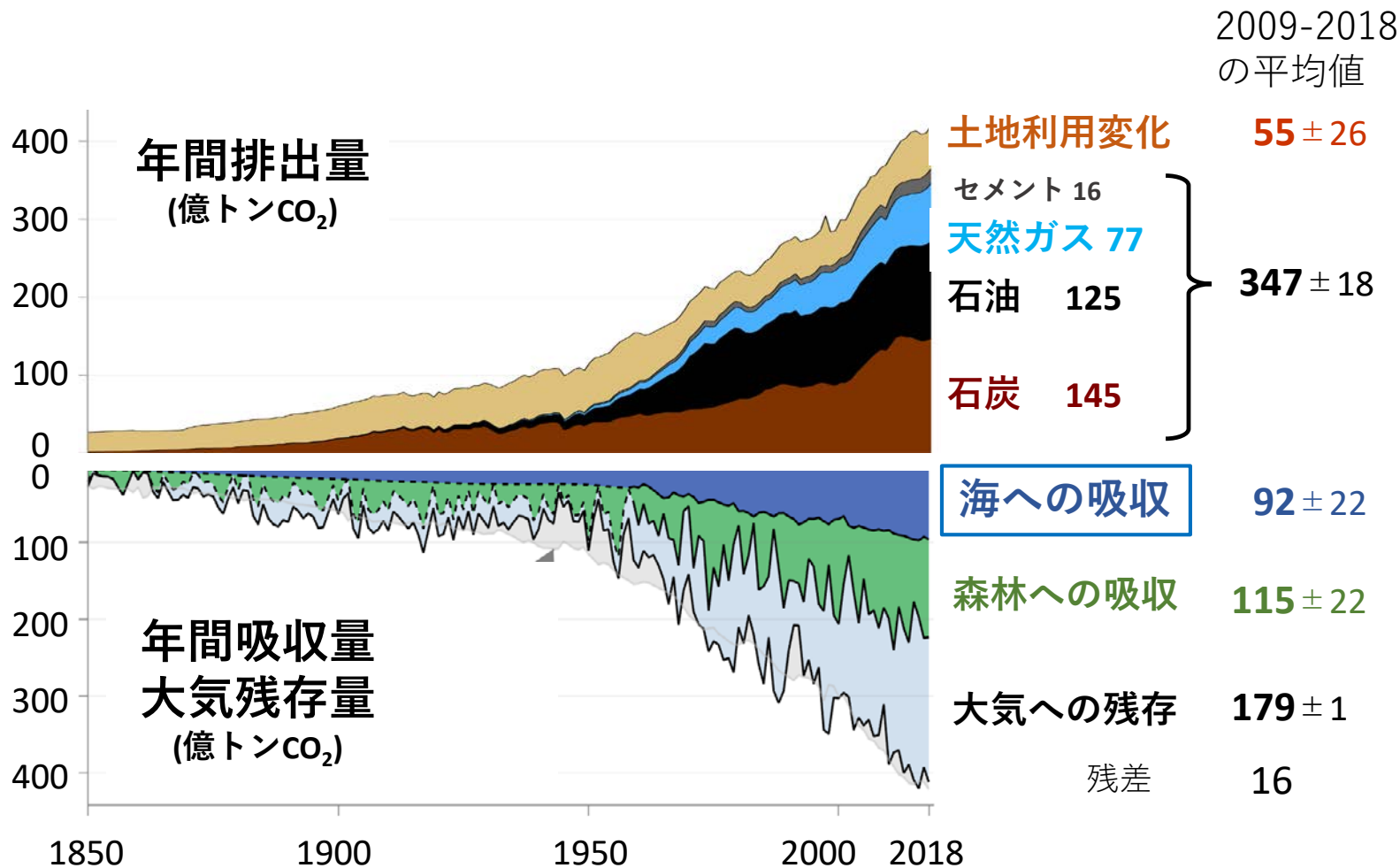
- 忍路（小樽）, 輪島, 浜田, 細島（日向）の平均値
- 稚内から枕崎まで全国16地点の平均値

- 海面水位の変動は、気候の**自然変動**に伴う現象の影響も受けている。
- 1980年代以降、世界平均と同程度の**海面水位上昇傾向**が見られる。

海洋酸化



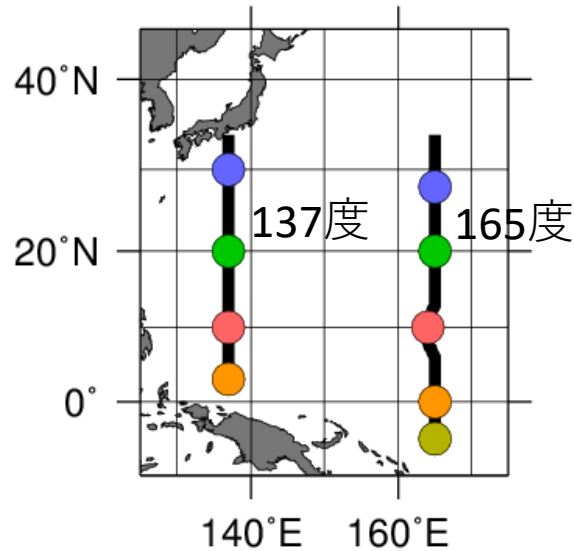
海は、人類が産業活動によって排出した二酸化炭素のおよそ1/4を吸収し続けている



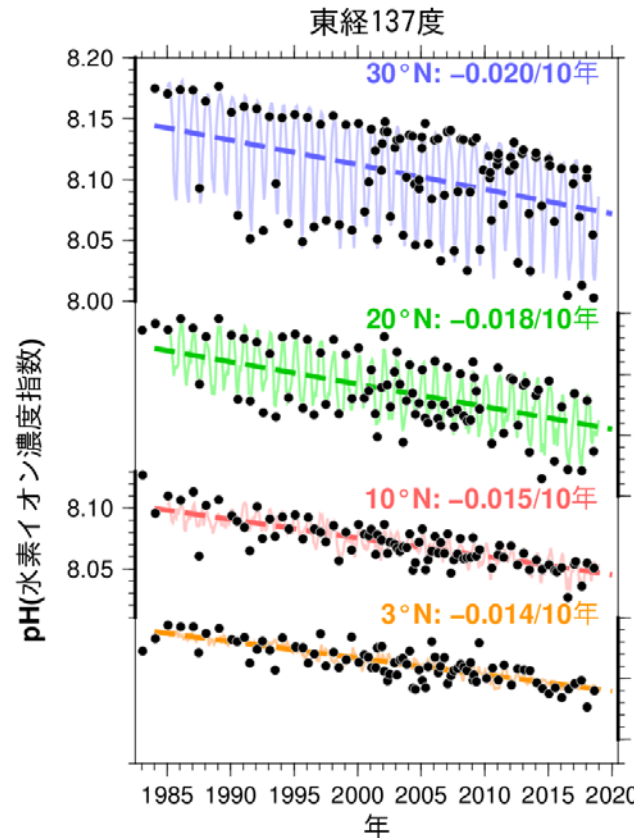
© Global Carbon Project • Data: CDIAC/GCP/NOAA-ESRL/UNFCCC/BP/USGS

- 海水に溶けた二酸化炭素は、炭酸になって海水を酸性化させる。

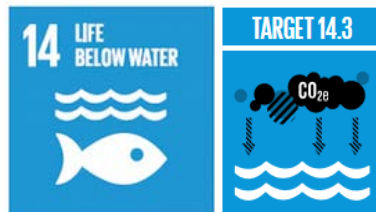
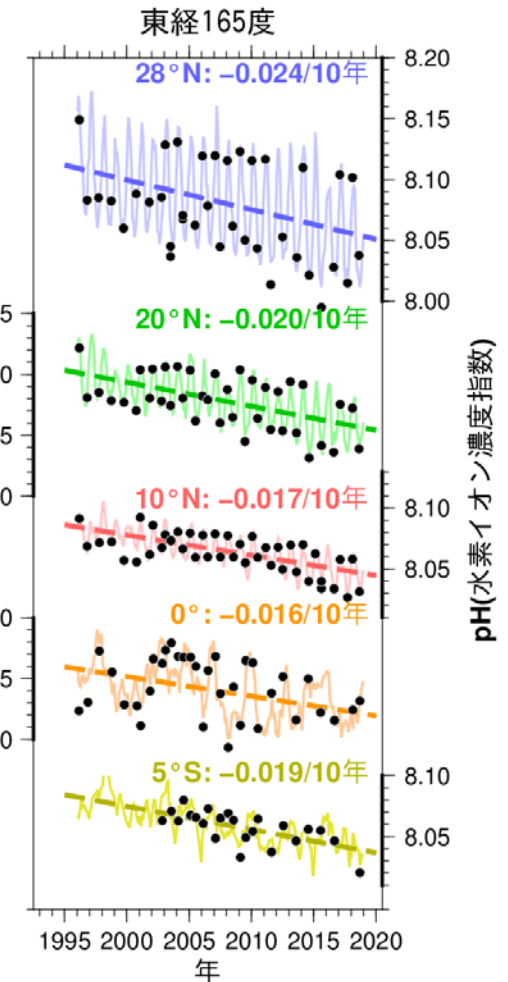
人為起源CO₂の吸収・蓄積により、世界的に海洋酸性化が進んでいる



気象庁凌風丸



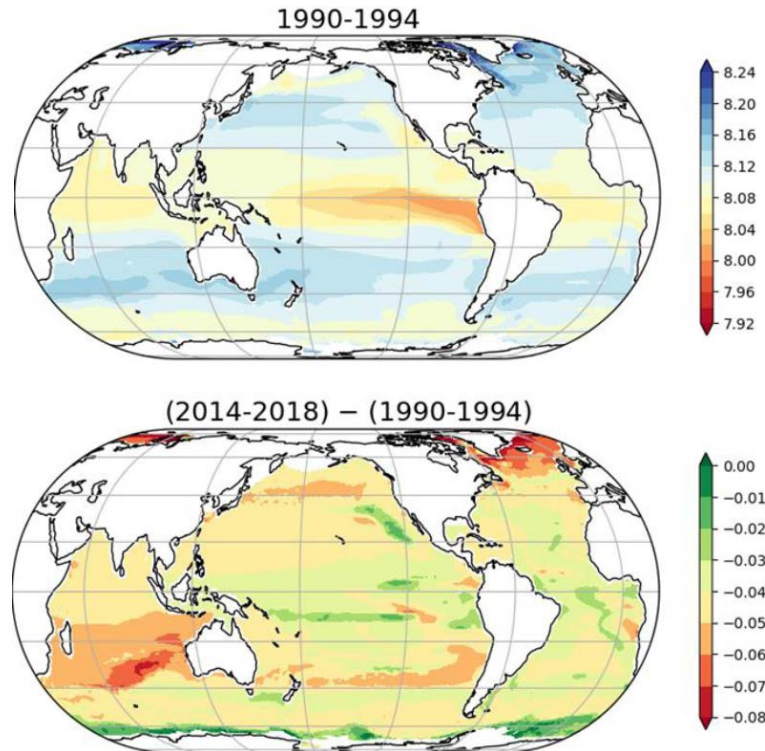
気象庁「海洋の健康診断表」



- 季節変化の振幅は南北で異なるが、熱帯から亜熱帯まで、どの緯度帯でも、**pHの低下（海洋酸性化）**が進んでいる。

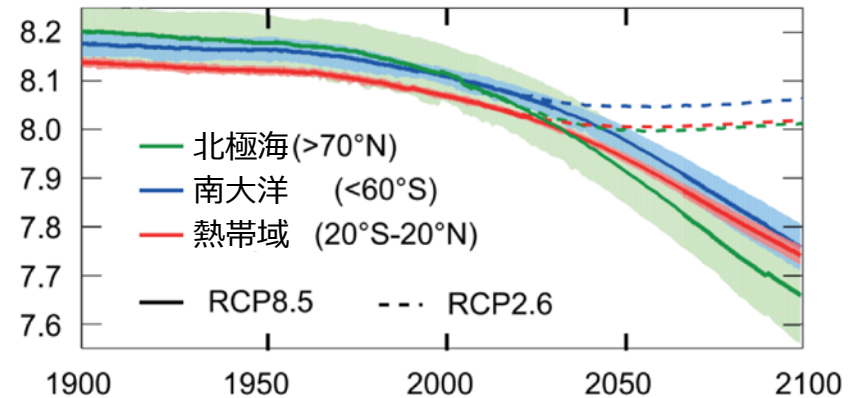
海洋酸性化の近年の傾向と将来予測

海洋観測に基づく海面pHの推定年平均分布（上）とその低下傾向（下）



- こうした海の二酸化炭素の観測データは、SCORやGOOSなどの活動の一環として、国際的に統合・品質管理・公開され、広く活用されている。ただし、研究資金で運用されており不安定。

地球システムモデルによる海域別表面海水pHの予測

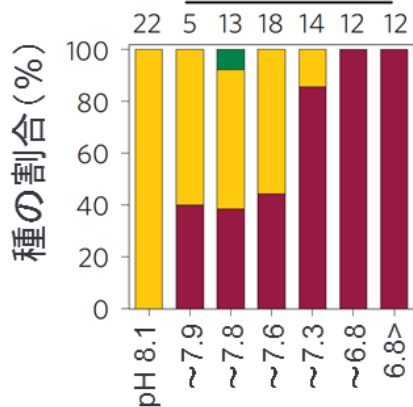


- 工業化前から現代までに、およそ**0.1**低下したと推定される。
- そのうち**0.05**は最近の30年間に低下した。
- RCP2.6では、pHの低下を**8.0以上**に食い止めることができる。
- RCP8.5では、2100年までにさらに**0.3**低下し、およそ**7.7**になると予想される

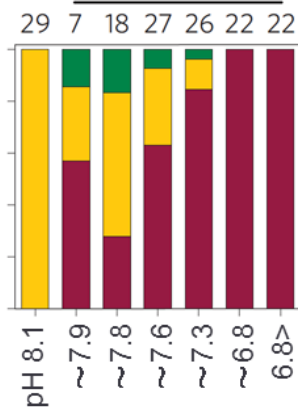
海洋酸性化の生物・生態系への影響



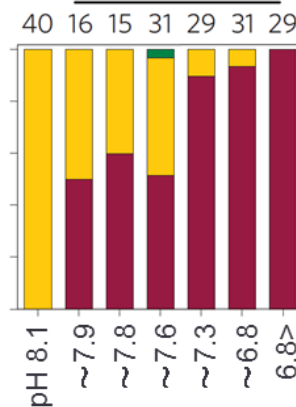
サンゴ類



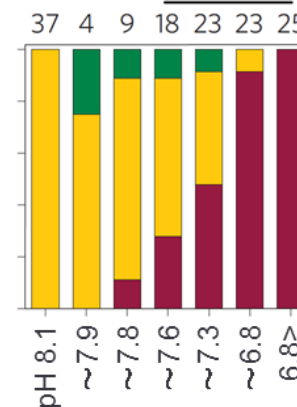
棘皮動物



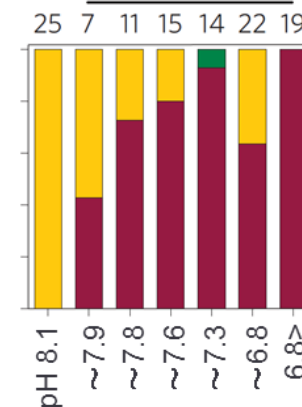
軟体動物



甲殻類



魚類



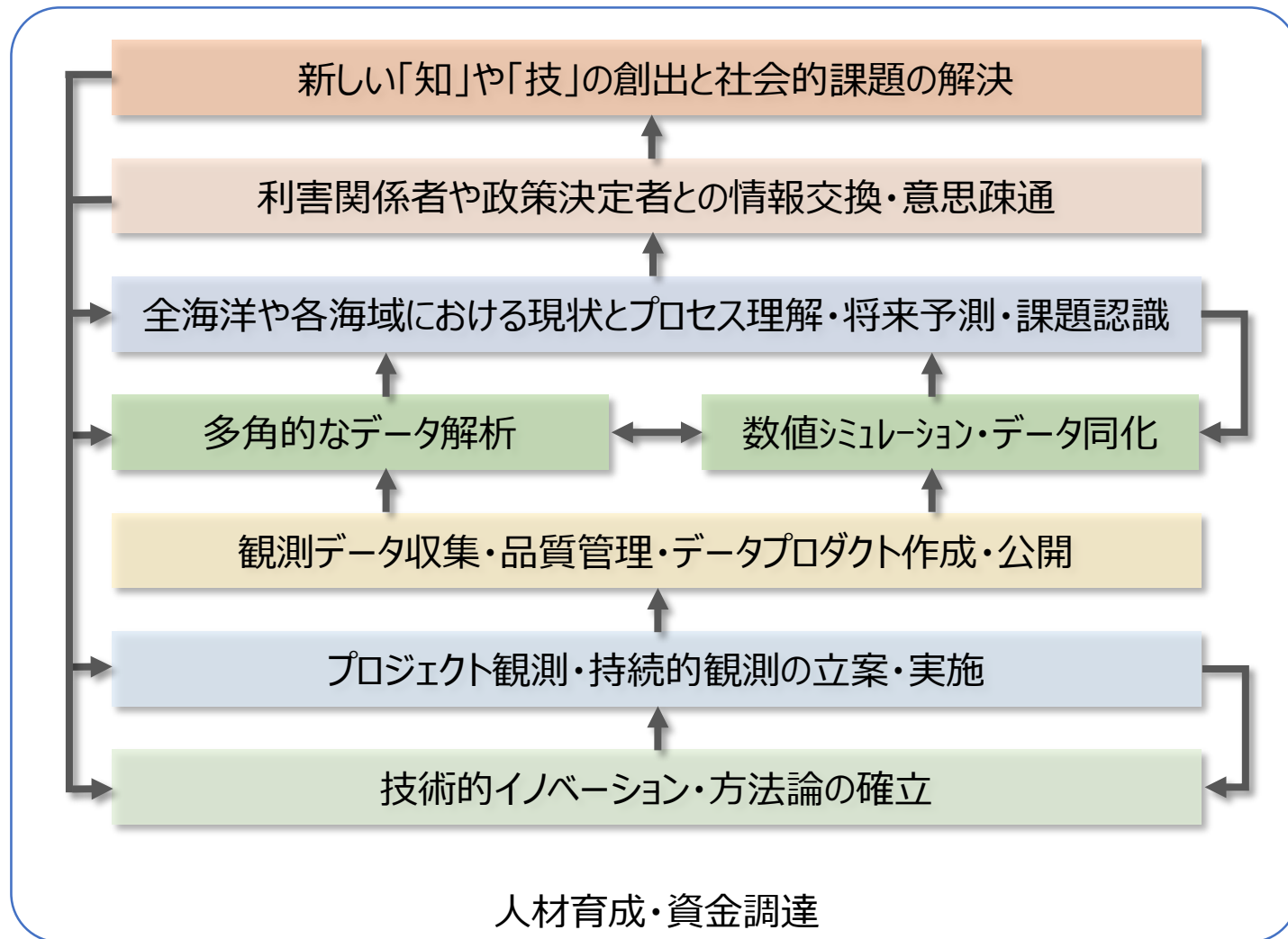
→
酸性化

■ 影響なし ■ 悪影響 ■ 好影響

Modified from Pörtner et al., 2014.

- 海洋酸性化の影響は、炭酸カルシウムの殻などを持つ生物（石灰化生物）に強く現れ、捕食関係を通じて海洋生態系に広く及んでゆくと予想される。

気候変動に関わる海洋研究のValue Chain



海洋科学の10年におけるGOOS（提案）



The Global Ocean Observing System



GOOS Themes:

- **Climate:**
understanding climate through measuring ocean heat content and sea level.
- **Operational Services:**
real-time services through ocean hazard early warnings, weather and ocean forecasting,
- **Marine Ecosystem Health:**
monitoring ocean acidification, biodiversity and habitat, and water quality.

GOOS' s contributions through **3 transformative Programmes**, united under the theme of **Integration**:

- **Integrated system design**
- **Connecting to local communities**
- **Integrating observations into the coast**



まとめ

- 海の温暖化、海面水位の上昇、海の酸性化は、さまざまな時間・空間スケールの**自然変動と重なりながら**、すでに**世界的に進行**している。今後、それらが社会・経済に及ぼす多様な悪影響の深刻化が深く危惧される。
- パリ協定の目標達成は、これらの海洋の変化の抑制にも有効と考えられる。
- 海洋の変化の実態（特に酸性化・貧酸素化や生態系影響）を理解して適応策に活かし、またCO₂排出削減の効果を評価するには、**持続的かつ分野横断的**（海洋物理・化学・生物学・気象学）な観測網（人工衛星、観測船、アルゴフロートなど）を発達させ、さまざまな時間・空間スケールの変動や、それらの影響を、より詳しく把握する必要がある。
- 同時に、現象のメカニズムや相互作用等を定量的に理解する**プロセス研究**を進めながら、観測データをよく再現できる**地球システムモデル**などを発展させ、**将来予測の不確かさを低減**する必要がある。

— 大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書 —

- 2020年12月4日に文科省と気象庁から公表



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。

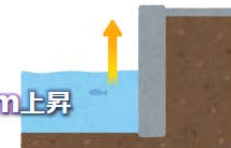


温まりやすい陸地に近いことや暖流の影響で、
予測される上昇量は世界平均よりも大きい。

降雪・積雪は減少



沿岸の海面水位が
約0.39 m/約0.71 m上昇



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

3月のオホーツク海海面面積は
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

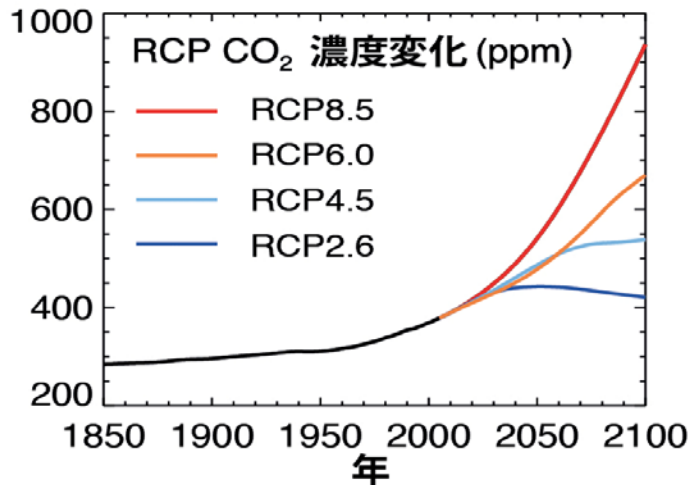


※この資料において「将来予測」は、特段の説明がない限り、日本全国について、21世紀末時点の予測を20世紀末又は現在と比較したものです。

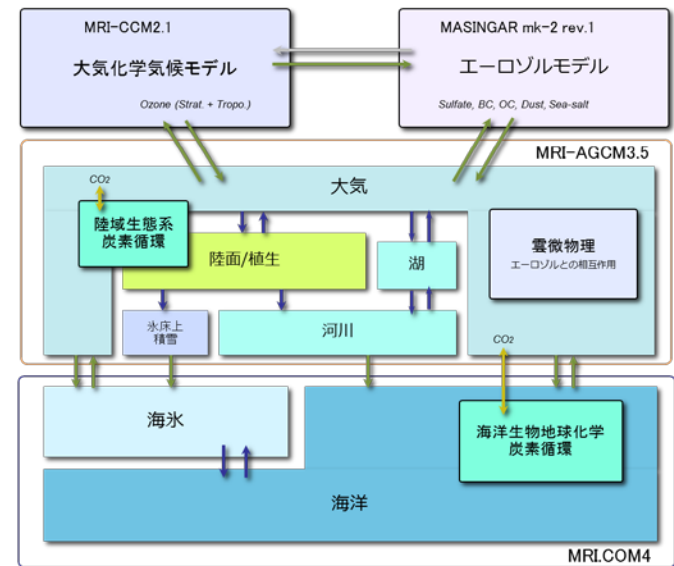
(補足) 地球システムモデルによる将来予測

地球の気候をコントロールする大気・海洋・陸面間のエネルギー・水・炭素などの循環と変化などをスーパーコンピューターで再現し、地球温暖化やその影響を予測する数値モデル

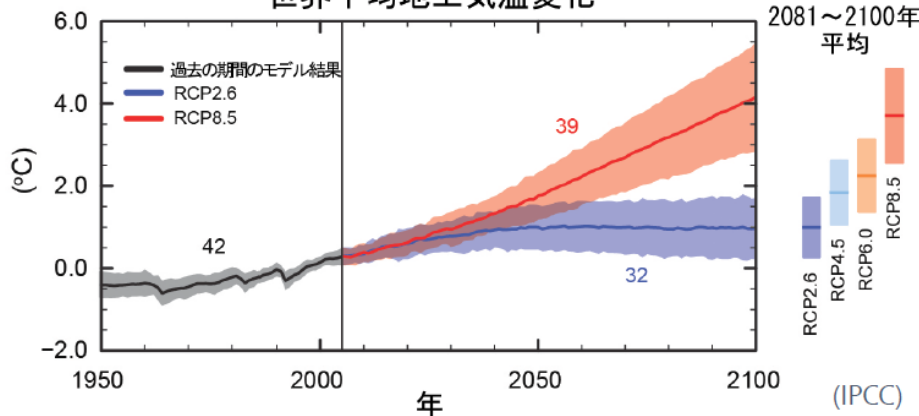
二酸化炭素濃度の代表濃度経路シナリオ



地球システムモデルの構成 (気象研究所)



世界平均地上気温変化



RCP8.5 :
現時点を超える政策的な緩和策を行わないことを想定したシナリオ

RCP2.6 :
気温上昇を工業化以前と比べて2°C未満に抑えることを目指すことを想定したシナリオ