

気候変動下における海の環境と生物生産

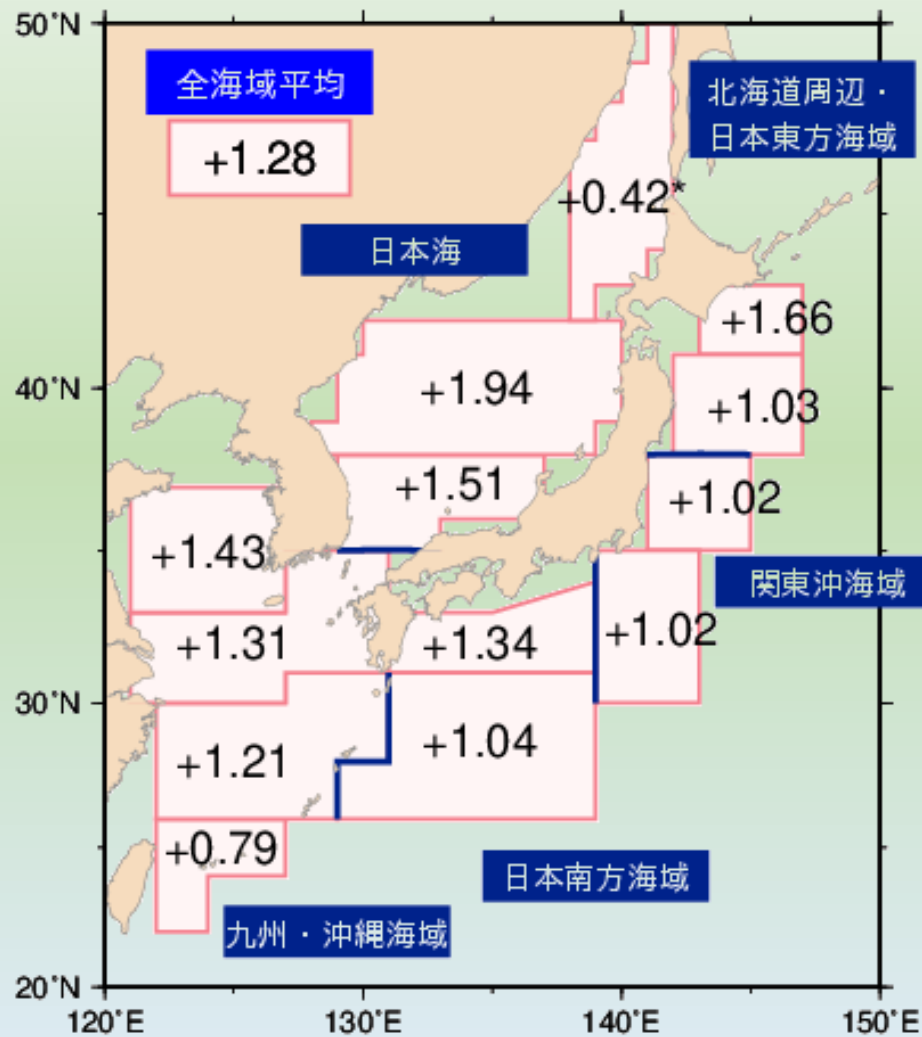
水産研究・教育機構 小笠恒夫

於 農学会・日本農学アカデミー共同主催公開シンポジウム「変わりゆく海の環境と海の恵み」(2024.3.30 東京海洋大)

水温上昇

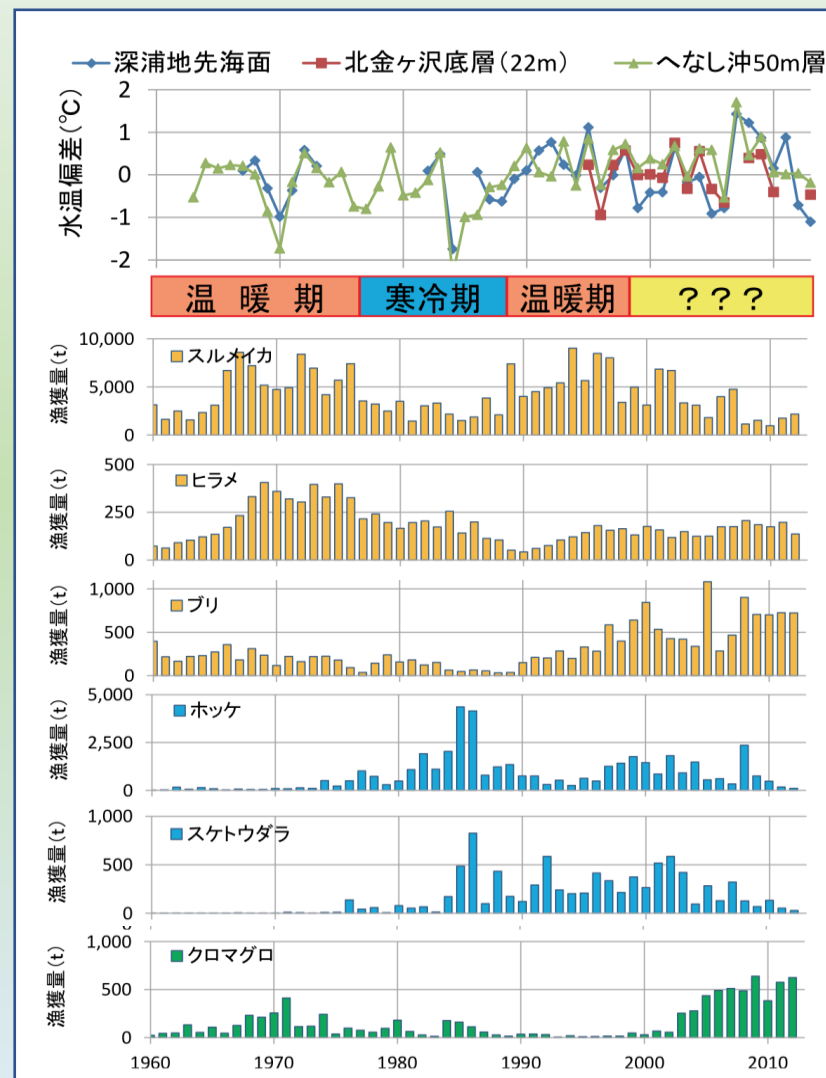
日本周辺海域の年平均海面水温の上昇速度
[°C/100年]

[気象庁 海洋の健康診断表]



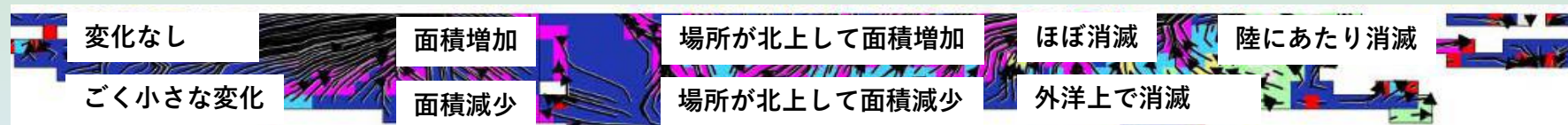
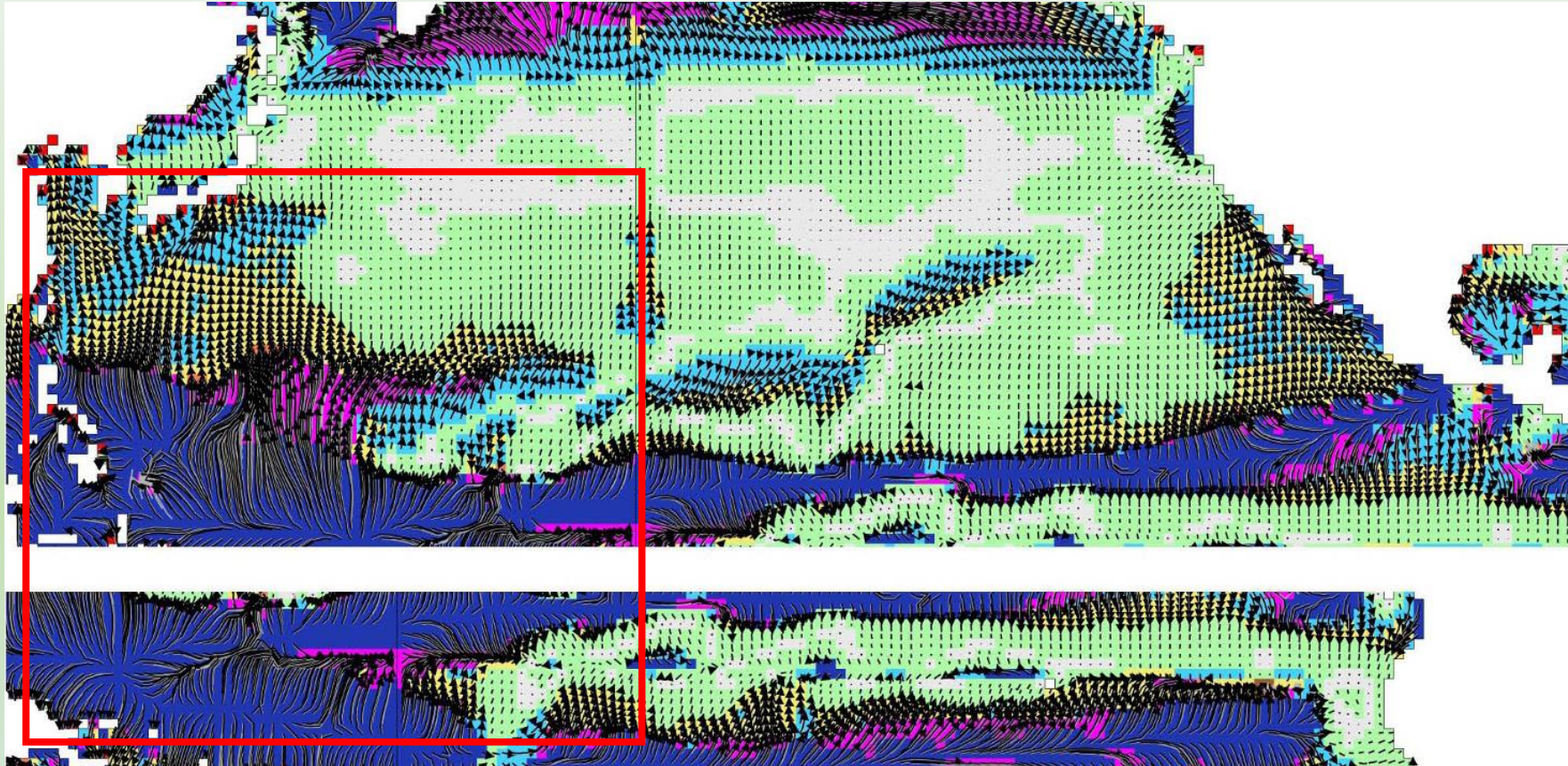
青森県西岸域の水温変化と魚種別漁獲量の変遷

[伊藤他, 2013
青森県水産研究情報]



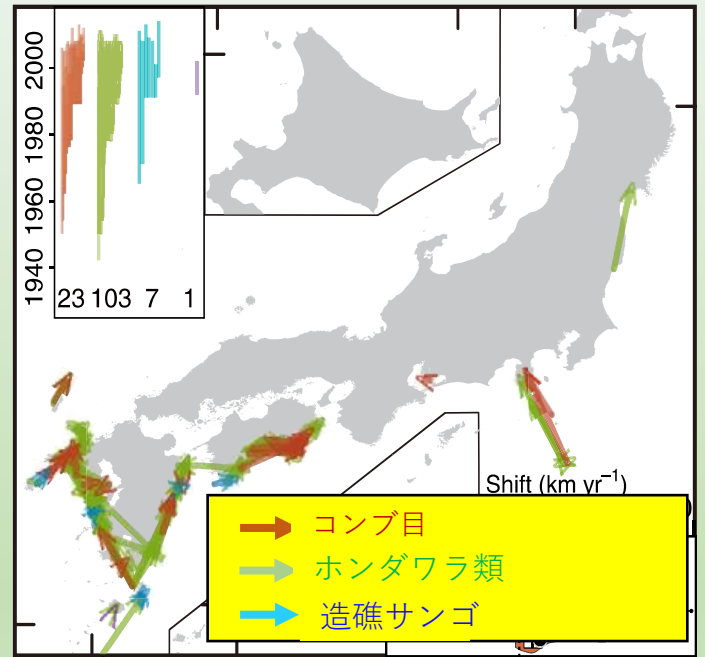
1960年～2009年の水温変化に伴う、“同一水温の領域”の移動&拡大／縮小

[Burrows et al., 2014]

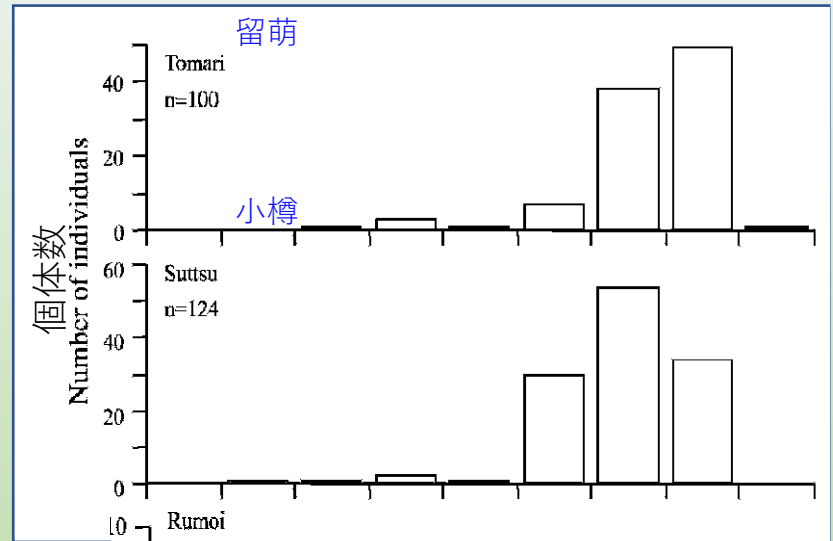


日本沿岸では、すでに多くの生物の生息域が北上している

1970～2000年間の海藻分布
南限位置の北上 [Kumagai et al. 2018]



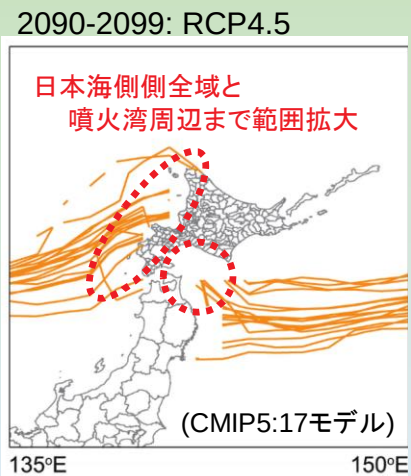
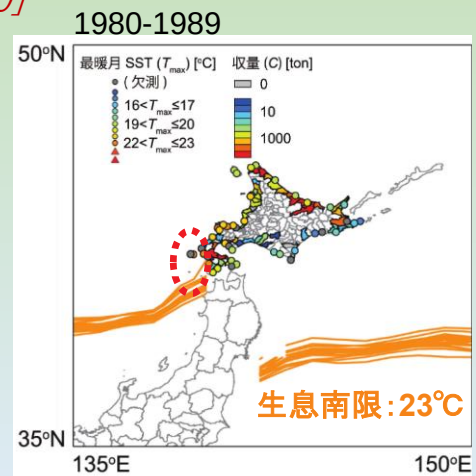
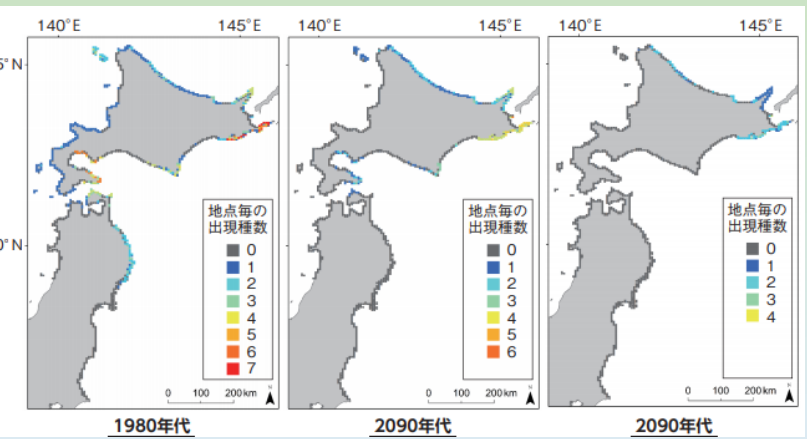
バフンウニ分布の留萌への北上
[Agatsuma et al., 2007]



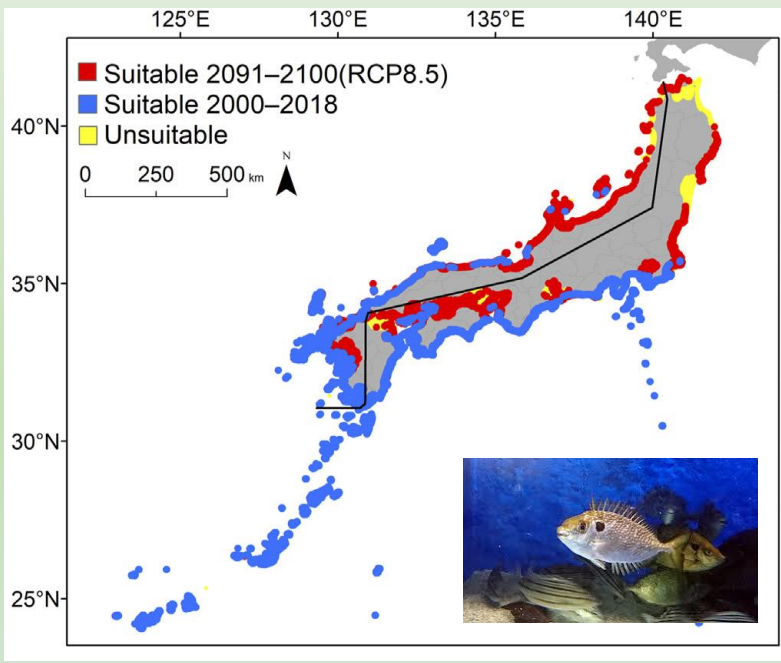
ホタテ生息上限水温の北上予測

[柴野他, 2014]

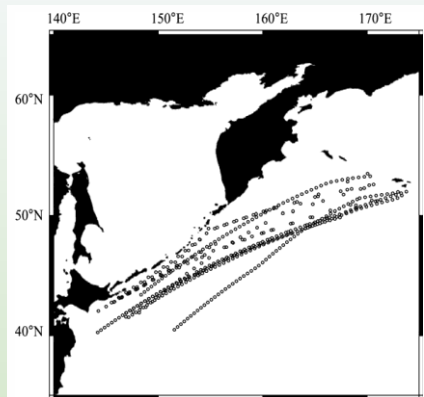
コンブ類の分布の将来予測 [Sudo et al., 2020]



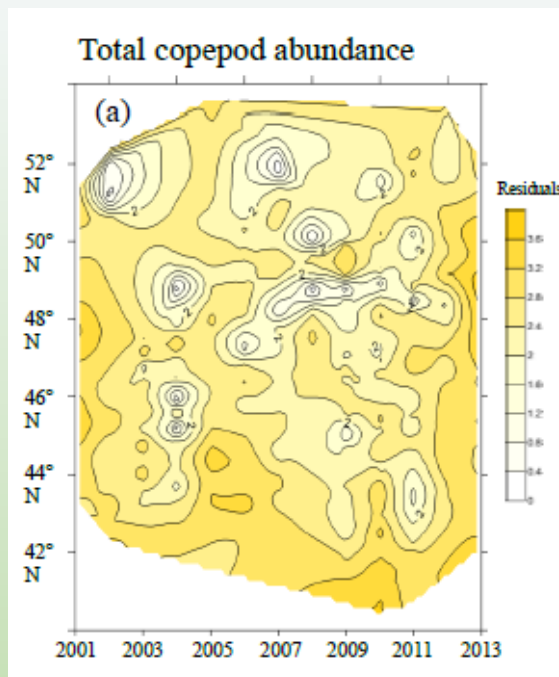
水温上昇によるアイゴ生息域の
北上予測 [Sudo et al., 2022]



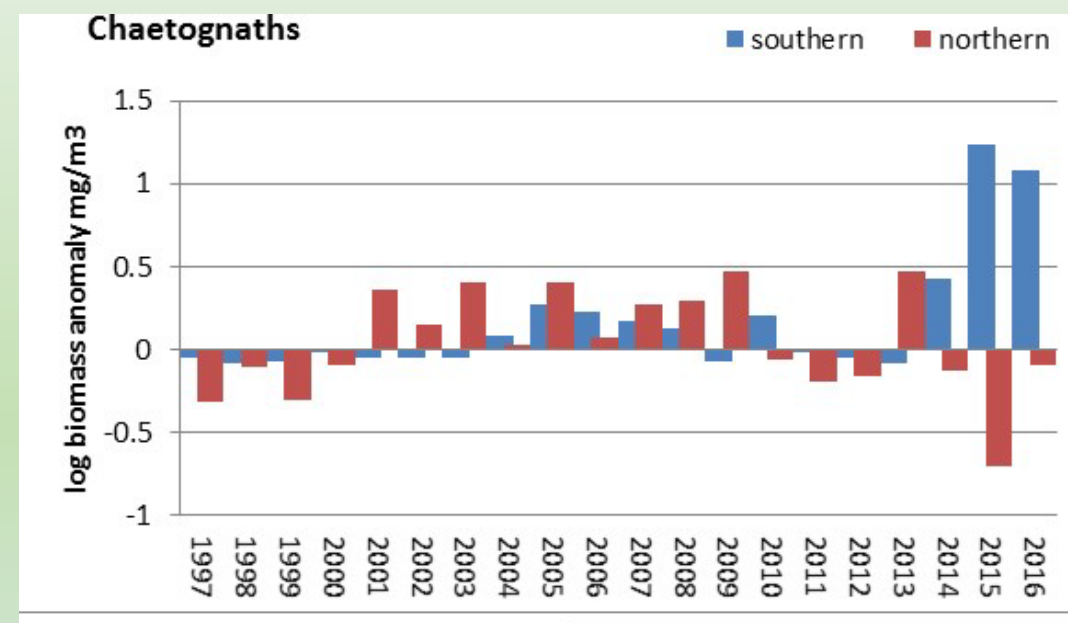
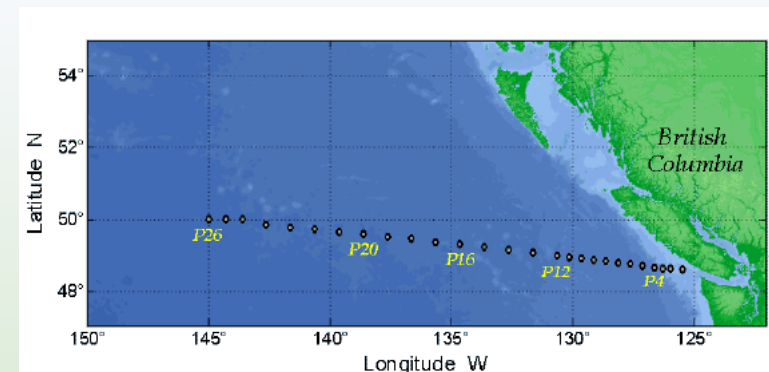
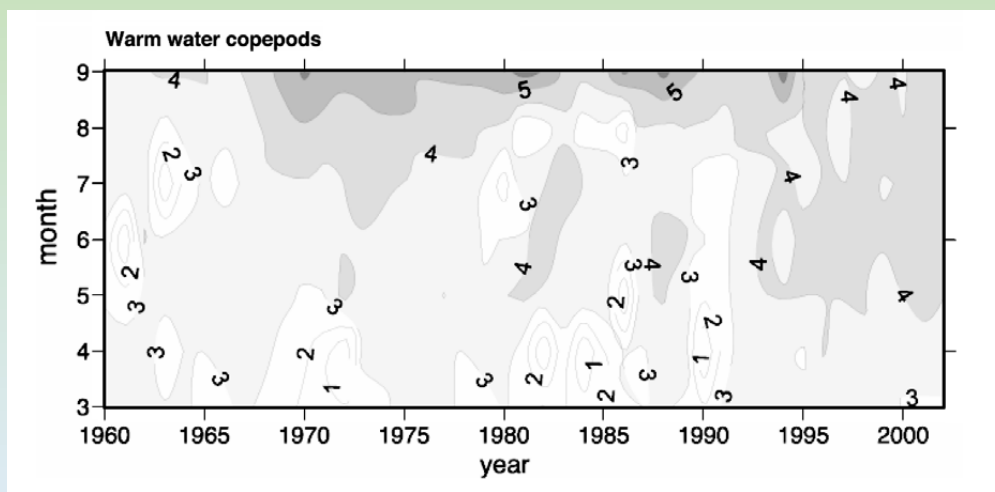
外洋域の動物プランクトンは….



北太平洋西部亜寒帯域
における暖水性
カイアシ類の分布
の北上[Yoshiki et al., 2015]



親潮域における暖水性カイアシ類の出現の早期化
[Chiba et al., 2008]

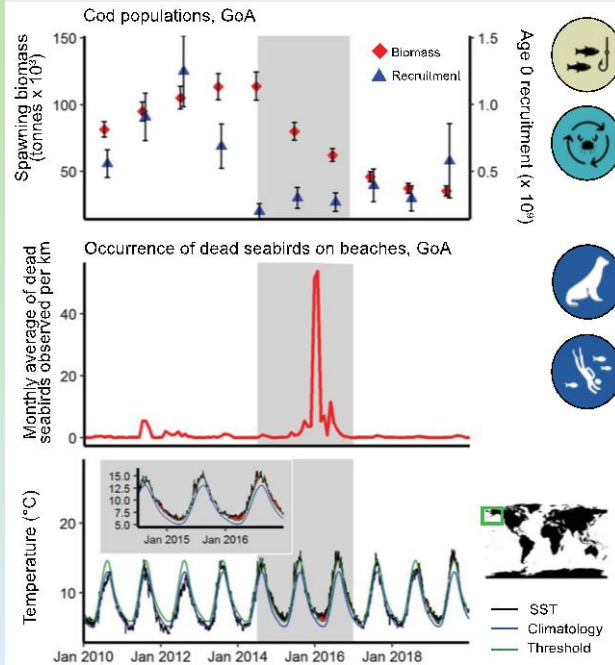
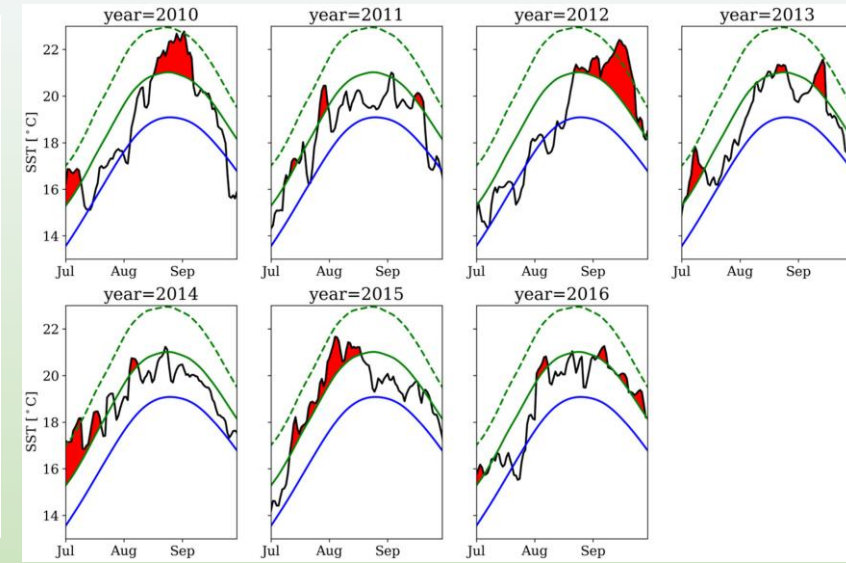
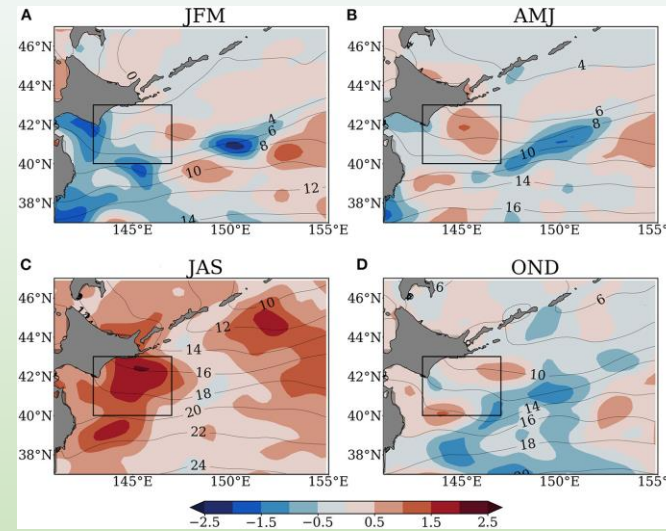
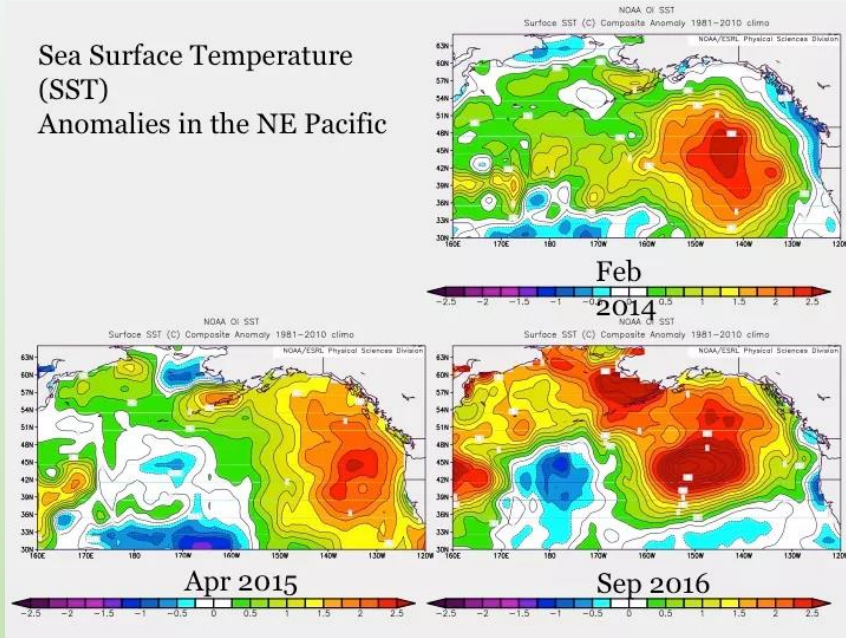


アラスカ湾におけるカイアシ類主組成の
経年変化

[PICES NPESR-III, 2022]

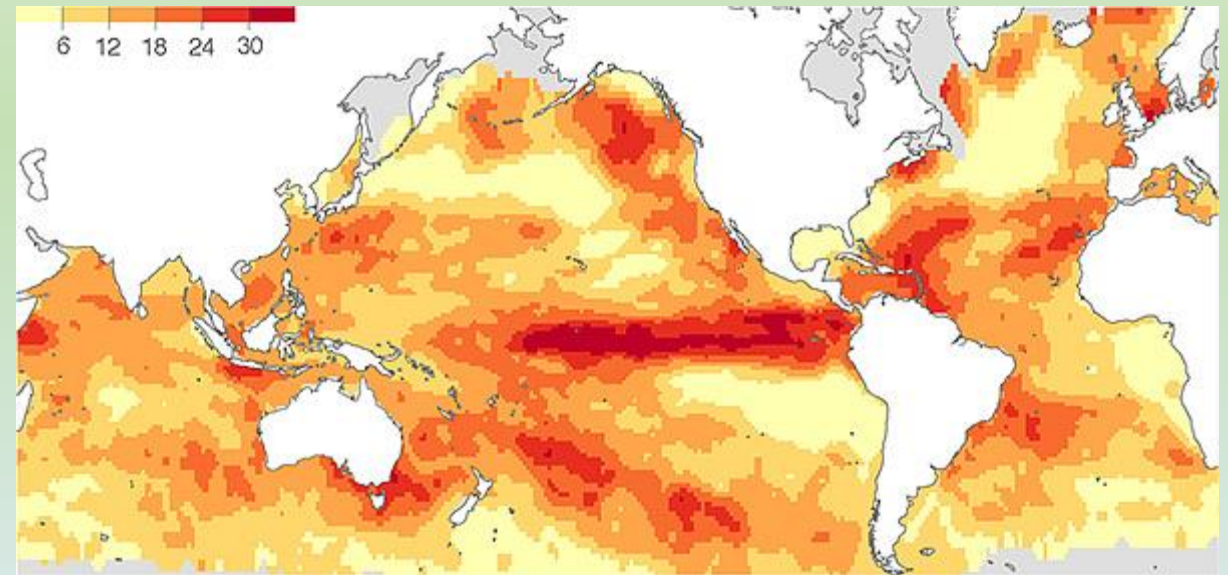
極端な温暖化現象：“海洋熱波”

北海道沖で2010 – 2016年に発生していた海洋熱波 [Miyama et al., 2021]



アラスカ湾における
海洋熱波の発生と
生態系への影響

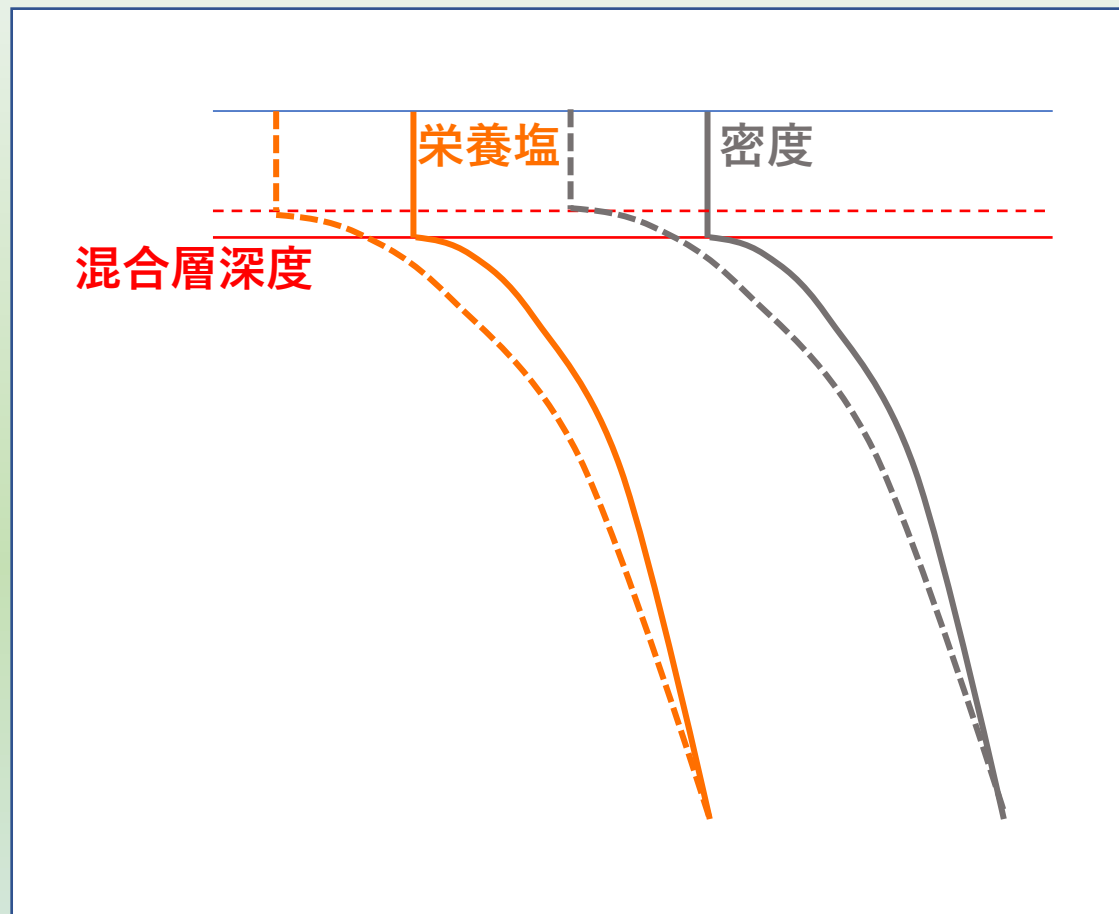
[Smith et al., 2021]



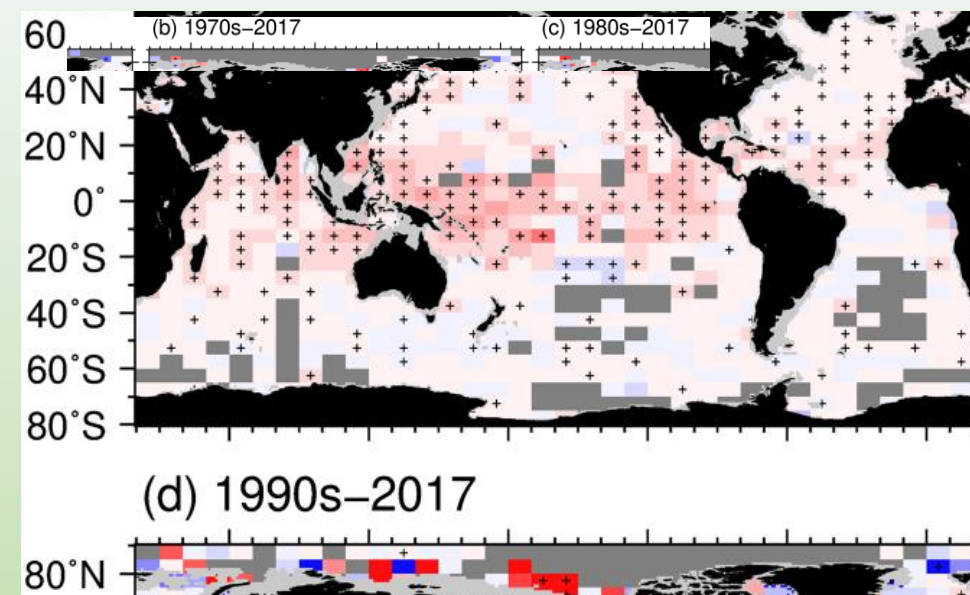
1925-1954年間に対する、1987-2016年間の
海洋熱波発生日数の増加

[Smale et al., 2019]

成層構造の変化

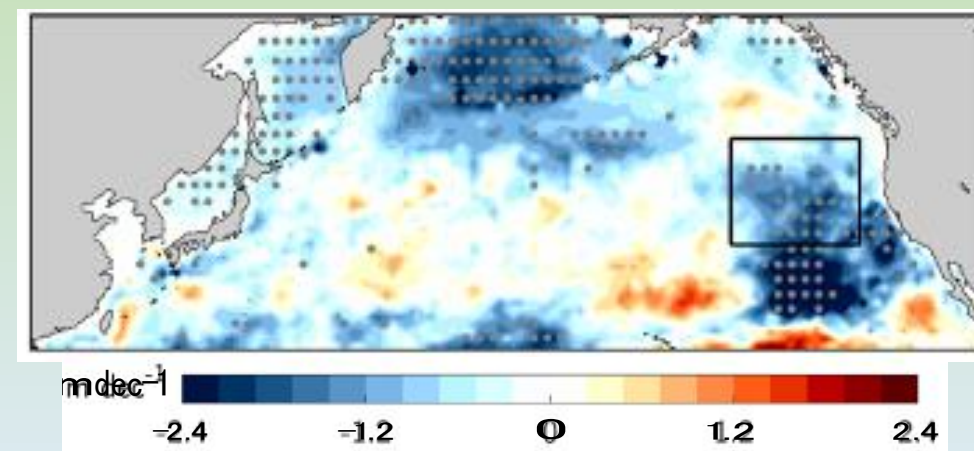


海面から200mまでの海水密度勾配の
増加トレンド (1960s – 2017) [Yamaguchi et al., 2019]



混合層深度の経年トレンド (1980 – 2015)

[Amaya et al., 2021]



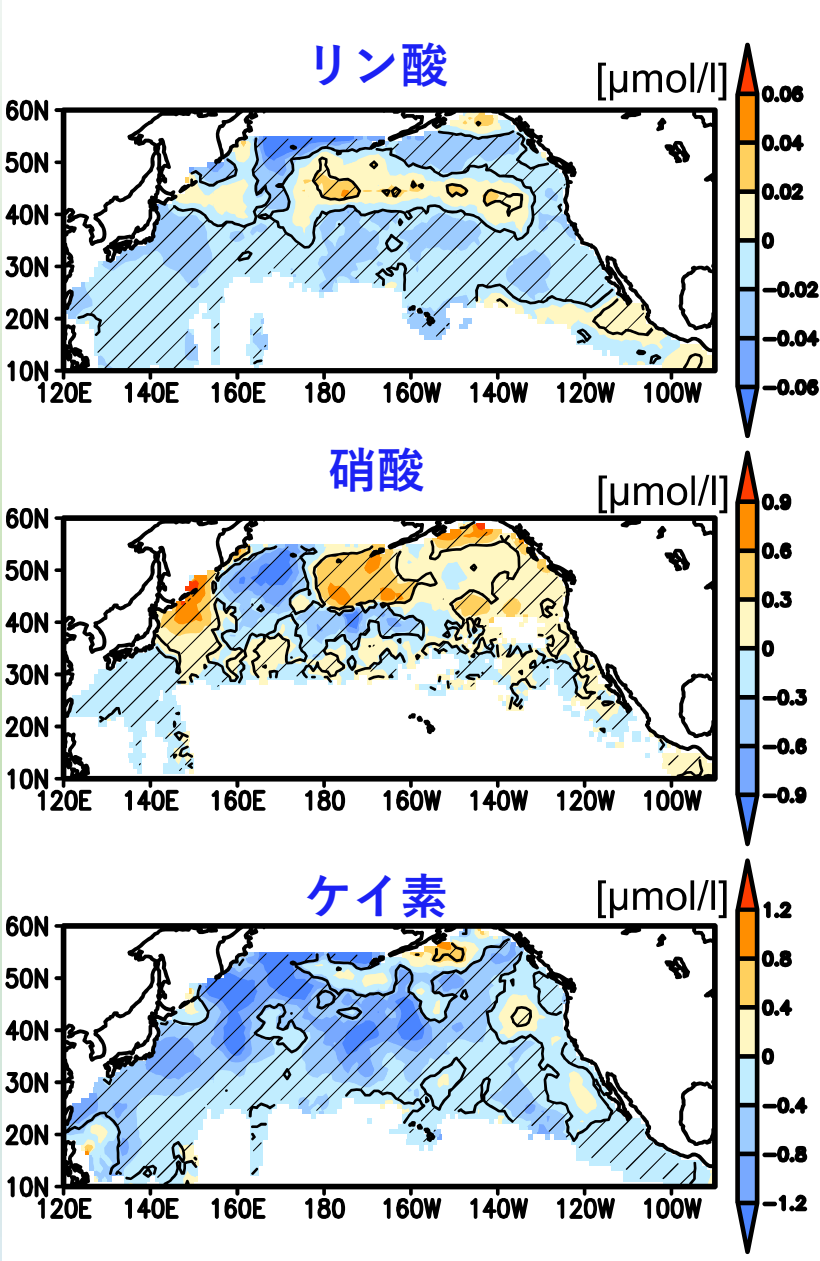
北太平洋における表層栄養塩濃度の低下

表層栄養塩濃度の
経年直線トレンド
成分の
平面分布

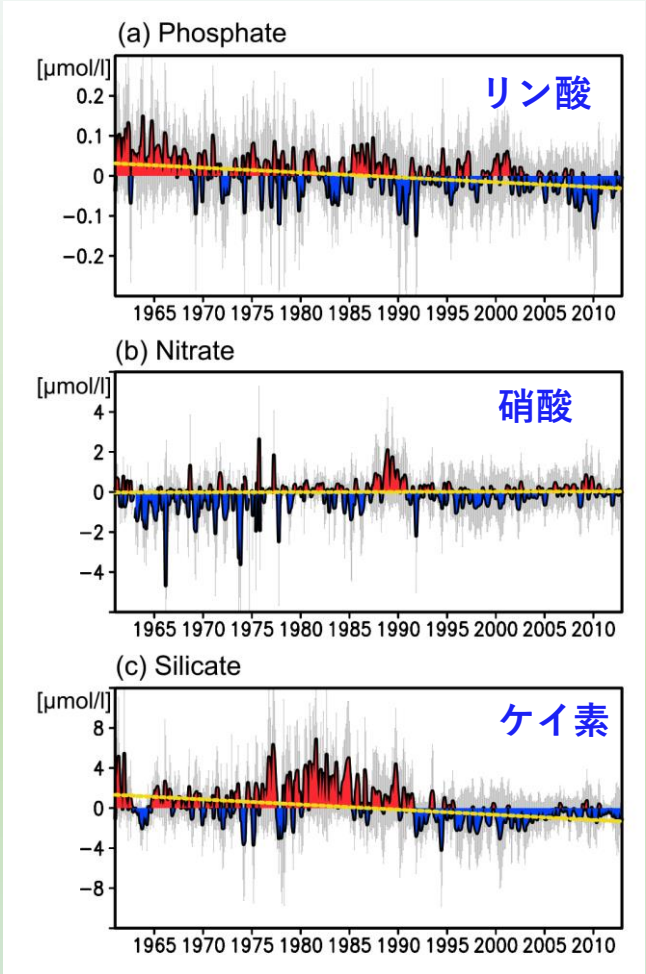
[Yasunaka et al., 2016]

赤：経年的増加
青：経年的減少

斜線部分が
統計的に優位な
トレンドを持つ
海域



北太平洋全域の表層栄養塩濃度平均値の減少トレンド [Yasunaka et al., 2016]



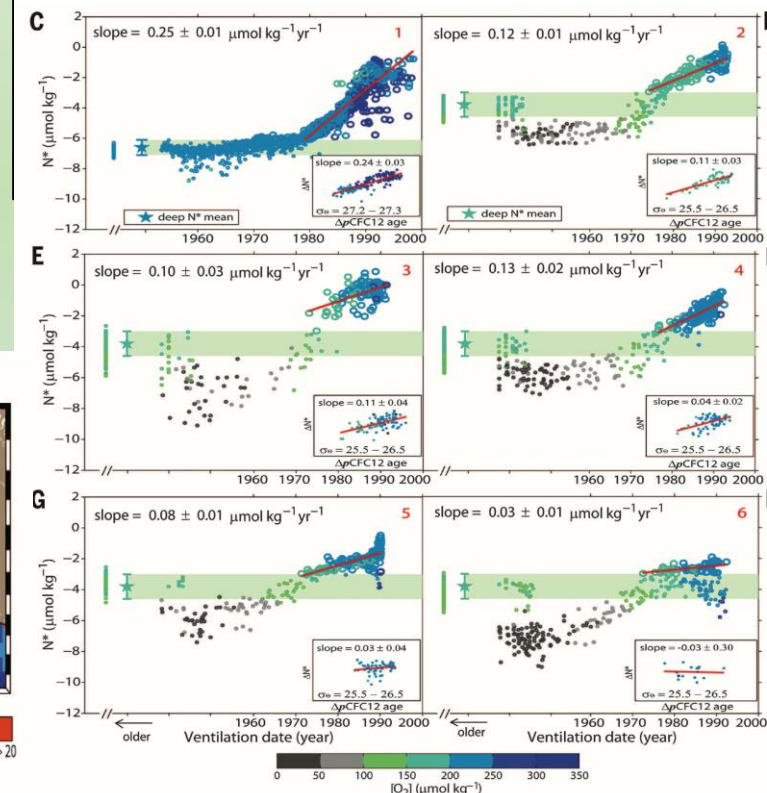
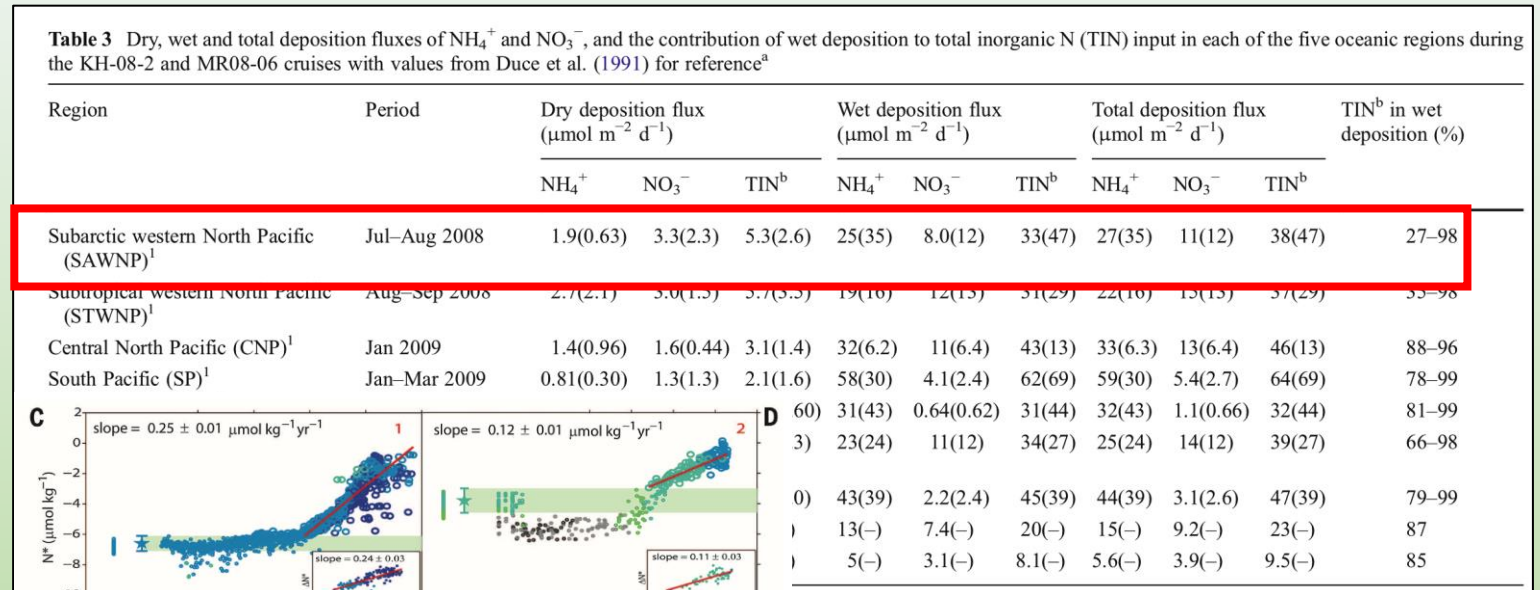
1960年から2015年までの北太平洋における
表層栄養塩の減少速度

PO₄: -0.12 μmol/kg/10y

NO₃: no trend

Si: -3.8 μmol/kg/10y

西部北太平洋亜寒帯域への大気由来
N沈着量 *[Jung et al., 2011]*



植物プランクトンの応答

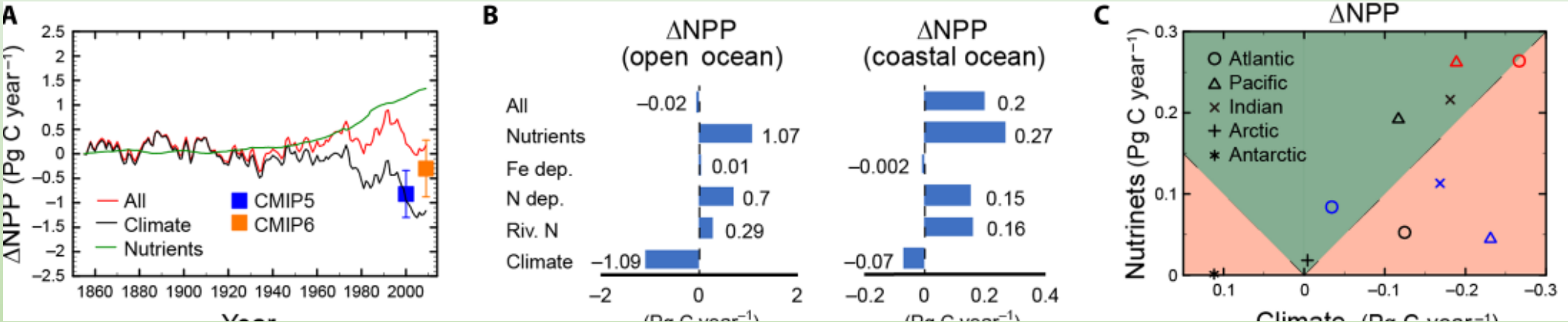
生態系モデルにより評価された、水温上昇・成層化と大気経由栄養塩供給の増加による
海洋一次生産力の変化 (1850 -2015)

[Yamamoto et al., 2022]

トータルの変化

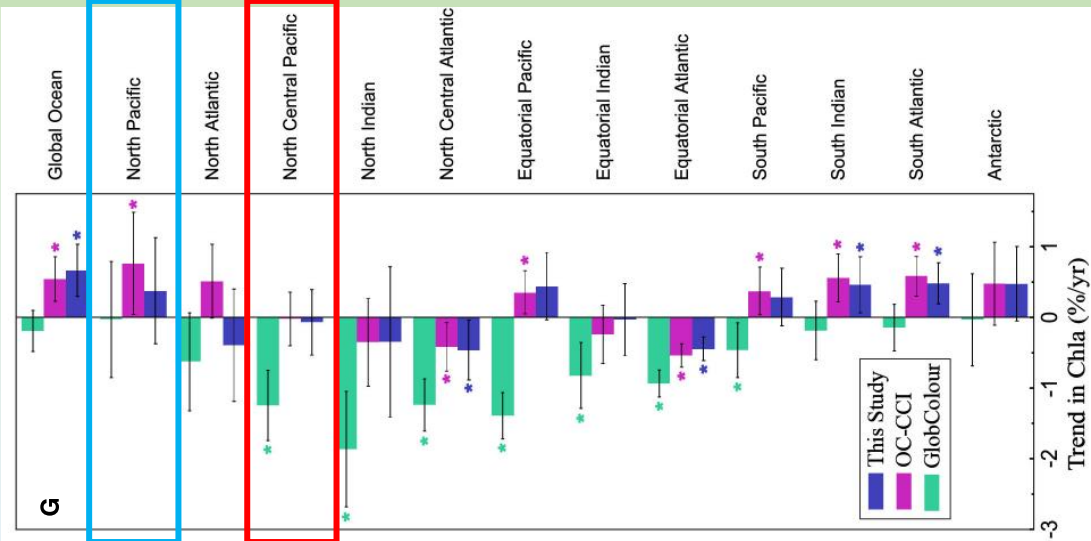
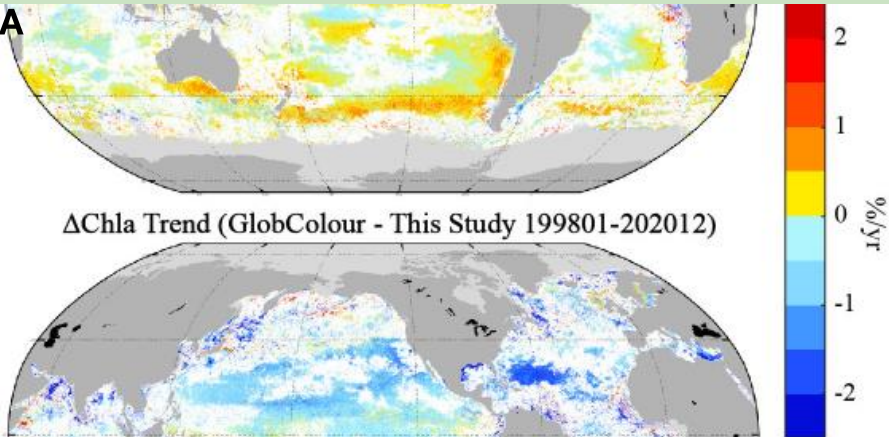
水温上昇・成層化
による生産力変化

大気経由栄養塩
による生産力変化



衛星海色データから見積られた表層Chla濃度の経年変化
(1998 -2020)

[Yu et al., 2023]

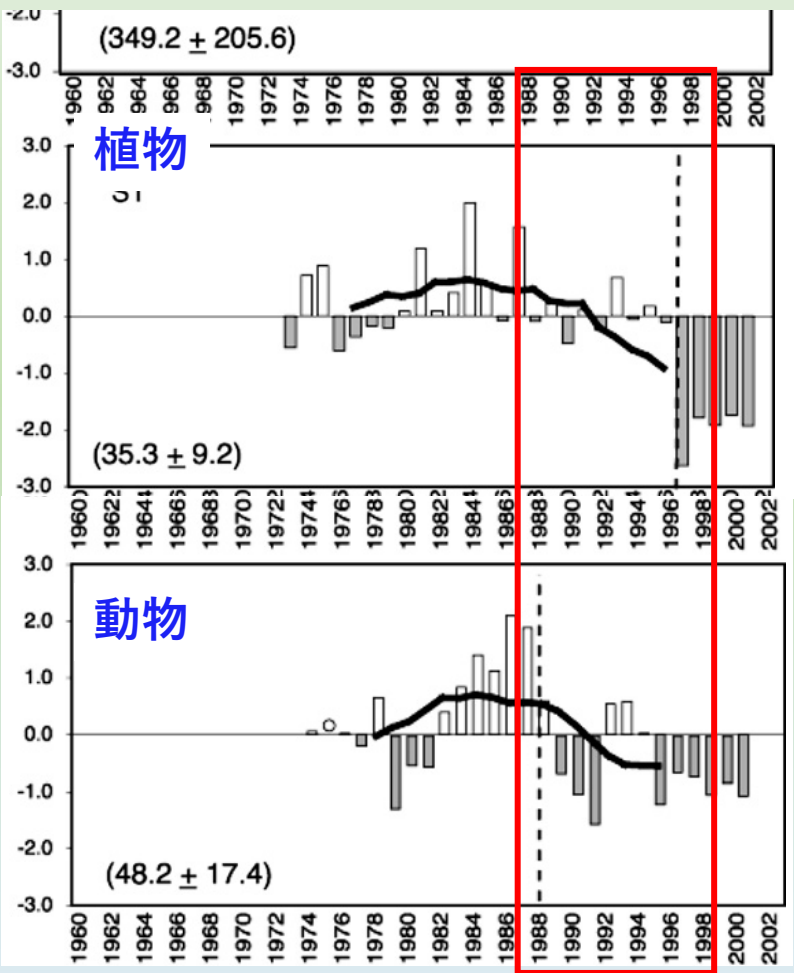


動物プランクトンの応答は…？

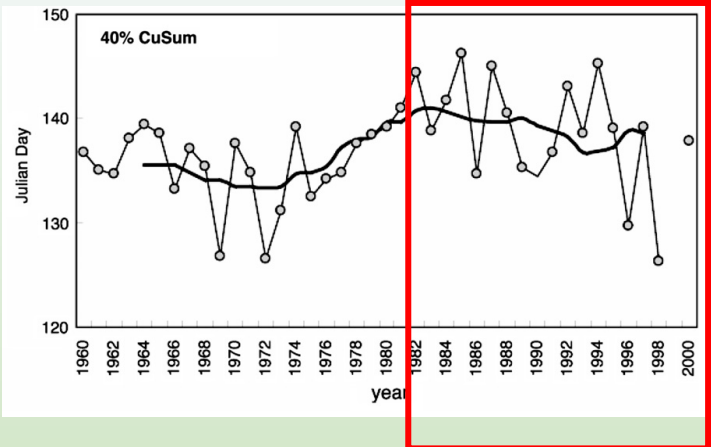
〔例〕 春季親潮域における植物プランクトンと動物プランクトンの経年変動とその要因

[Chiba et al., 2006,2008]

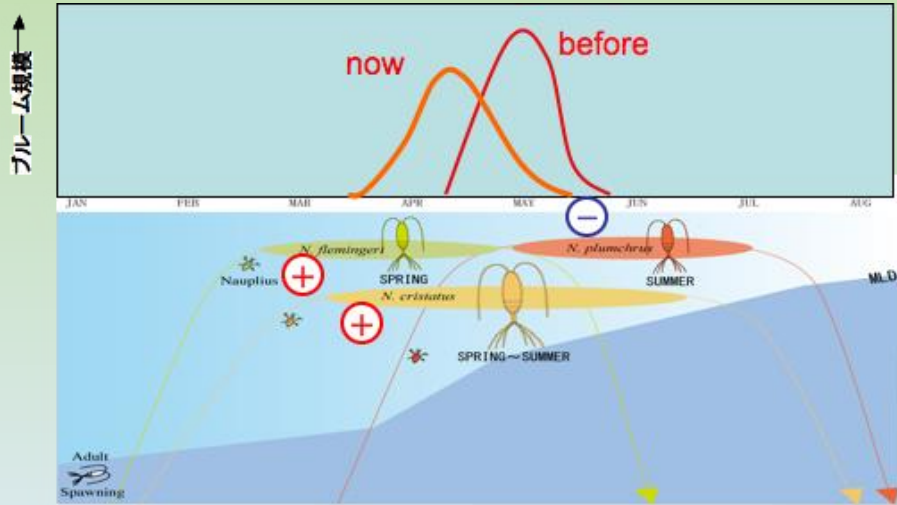
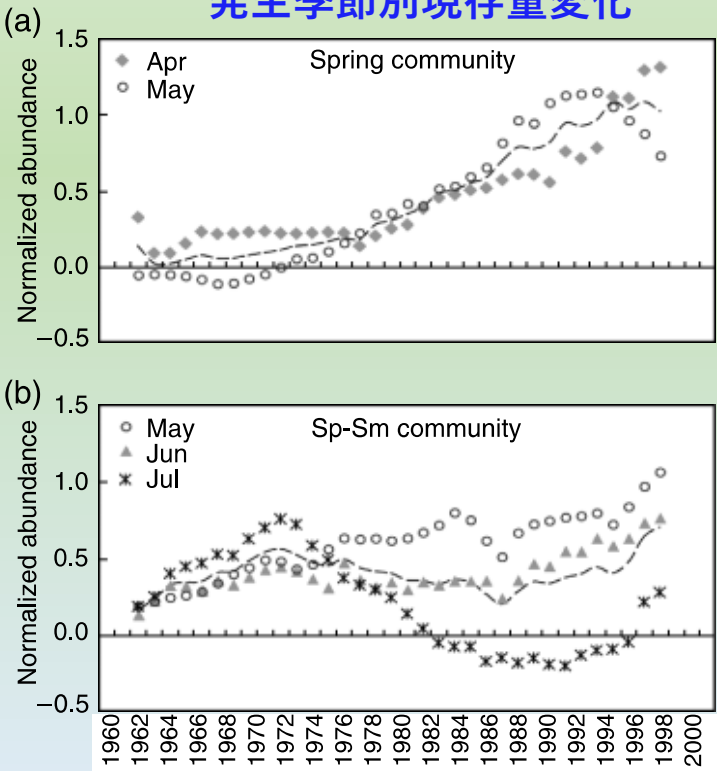
プランクトン現存量の経年変化



親潮域における春季ブルーム開始日の早期化



親潮域カイアシ類の発生季節別現存量変化

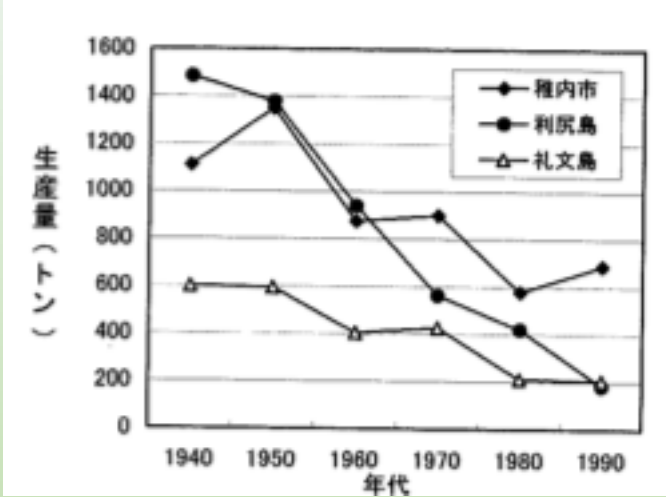


生態系の気候変動に対する複合的応答 その他の例

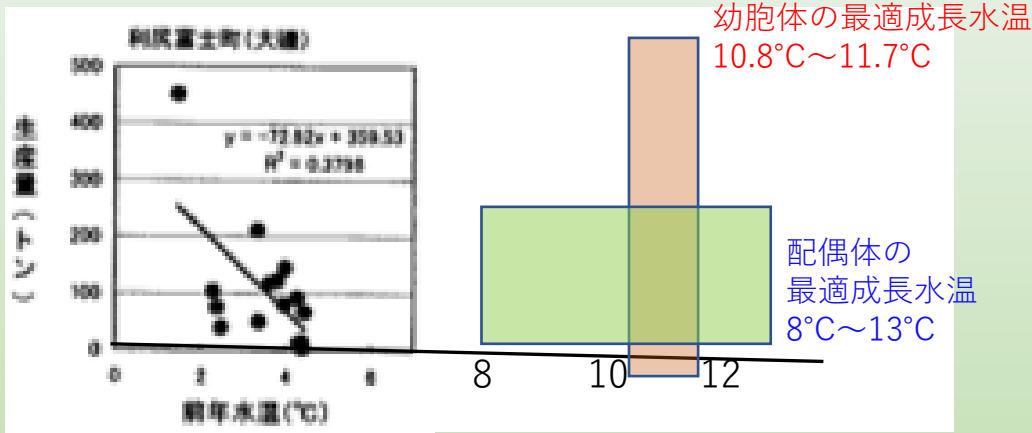
宗谷地方の昆布の減少は単に「昆布が暑さに弱いせい」か？

[名畑他、2003]

天然リシリコンブの10年毎の平均生産量



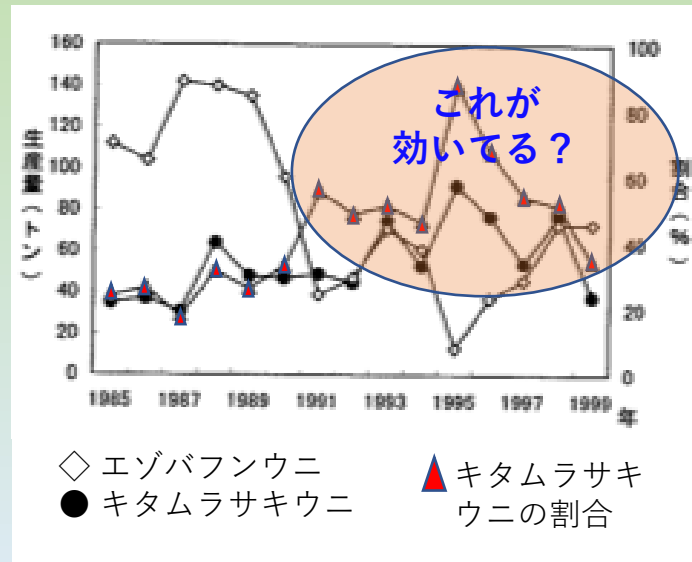
漁獲前年1~3月の平均水温と
コンブ生産量との回帰直線



今ある海産生物の将来分布予測のほとんどは、**現在の海洋環境（水温, 波, 日射等）と生物間の関係式が将来も使えると仮定**して、将来の環境変動予測値から分布を推定している。
しかし、生物生産が維持されている仕組みを地域ごとに細かく見ると、**現在の将来予測に組み込まれていない変数**（この場合はウニ）が働いている事も多く、その場合は現在の環境と生物の関係式を将来にも適用できるのか、不明。

=>海域ごとに生物生産の仕組みを調べ、理解する必要がある。

利尻島のウニ生産量



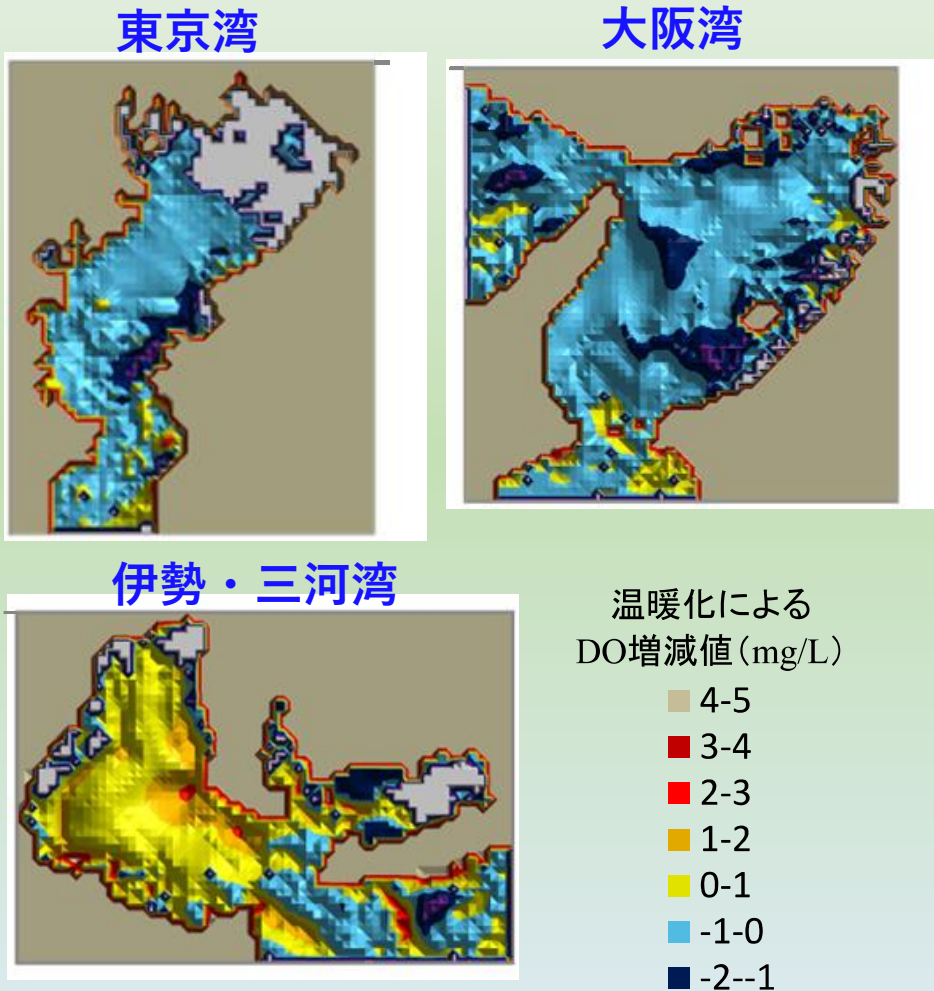
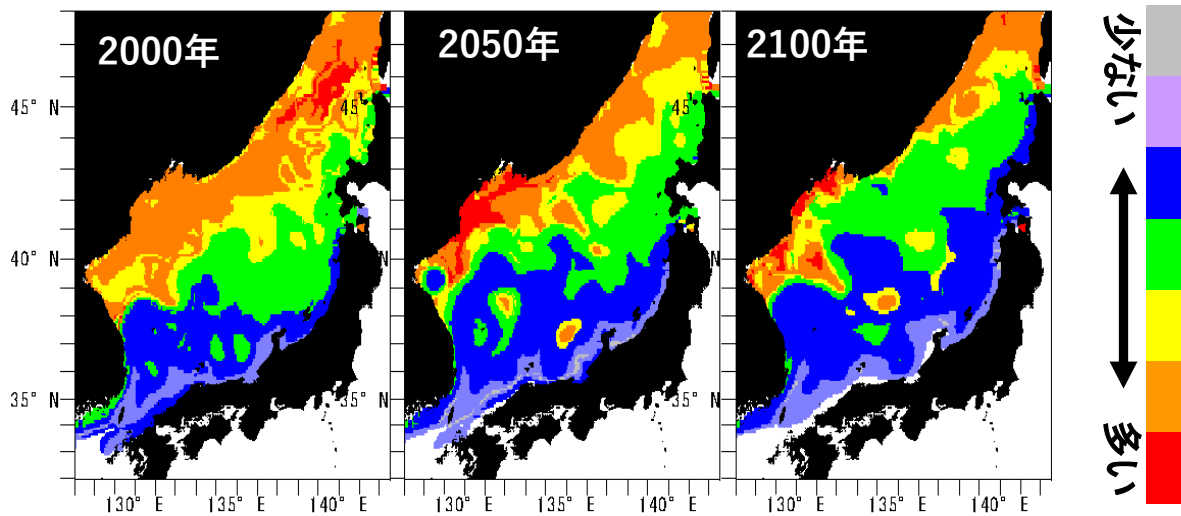
気候変動のその他の影響

①海流・海洋循環の変化

気候変動に伴う水温上昇・降雨量変化による
東京湾・大阪湾・伊勢湾の底層溶存酸素濃度の
将来変化予測（2100年, 9月） [濱田・鯉渕 2013]

対馬暖流水の分布の北上に伴うスルメイカ漁場の北上予測

農林水産技術会議技術会プロジェクト研究
「温暖化」成果報告書



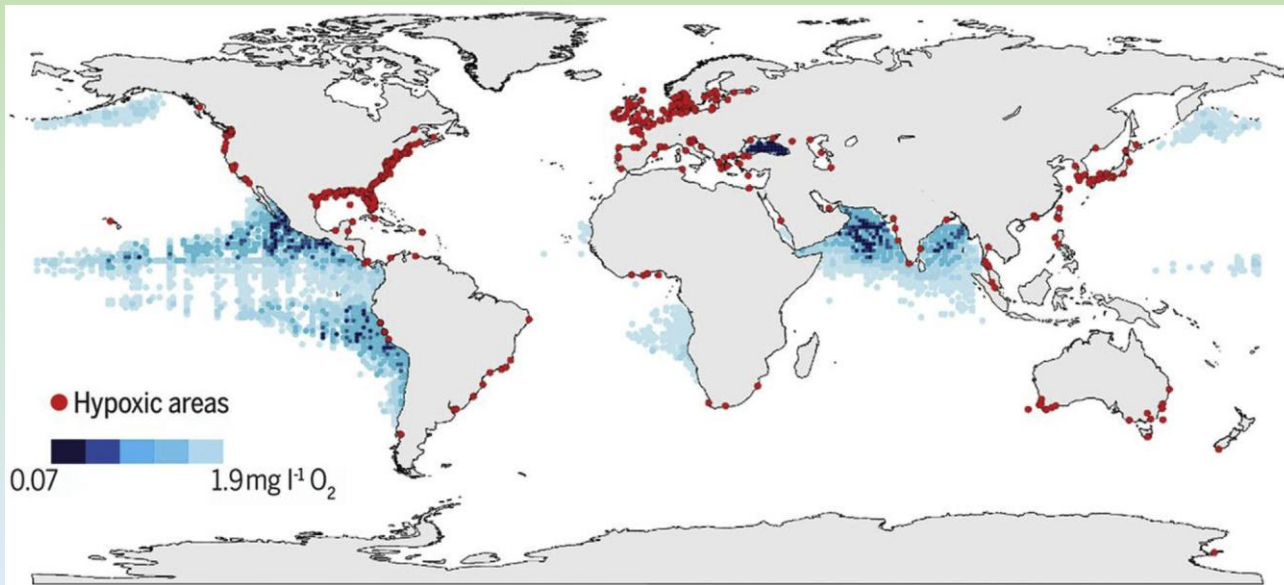
気候変動のその他の影響

②海洋の貧酸素化

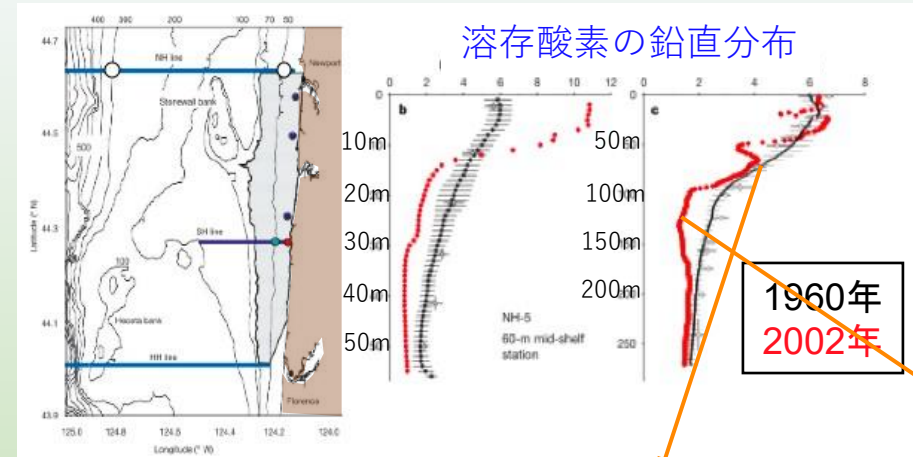
- 海が温暖化する際に表層だけ昇温する
=>表層の水が下の水と混ざりにくくなり、
表層以下の海水中に酸素が運ばれにくくなる。

この過程が顕著に進行すると、底魚類や広域回遊魚のうち、酸素要求量の高いもの（マダラ、マグロ、サメ等）に影響が現れるようになり、海外で問題化している。

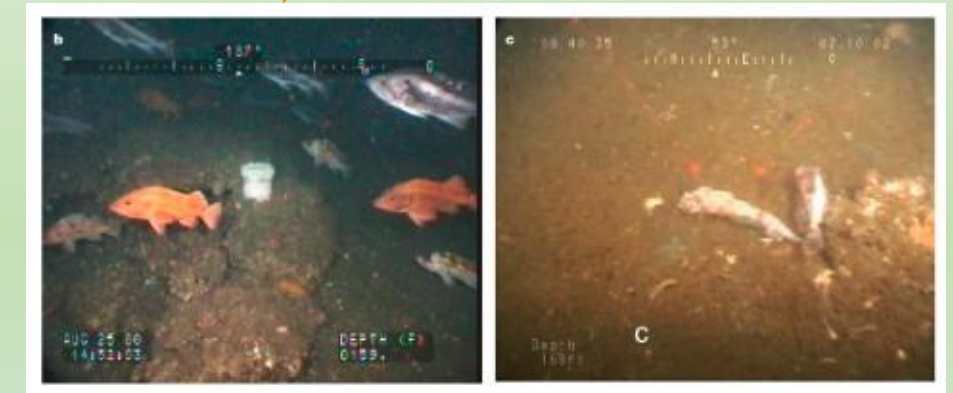
- 内湾では富栄養化（溶存酸素減少）・貧栄養化（溶存酸素増加）によっても酸素濃度が変化するため、酸素の経年変動はより複雑になる。



カリフォルニア沖の溶存酸素減少と底魚の斃死



[Grantham et al., 2004]



これまでに溶存酸素の減少が確認されている
外洋域（青丸）と沿岸域（赤丸）

[Breitburg et al., 2018]

日本の沿岸域における貧酸素化の進行状況

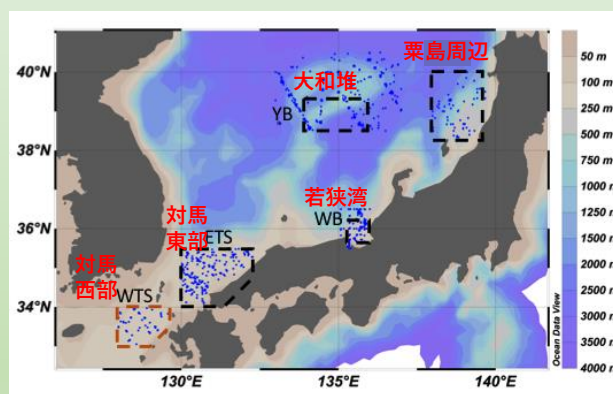
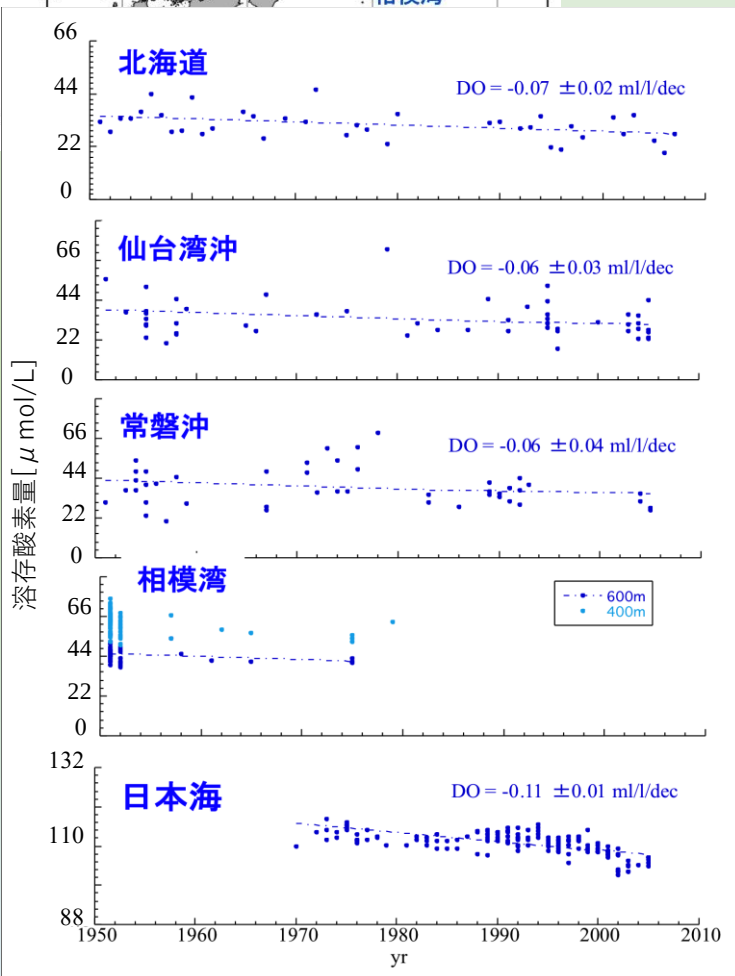
日本の大陸斜面域（水深400m-600m）における
底層溶存酸素濃度の経年変動

[小笠等, 2011]

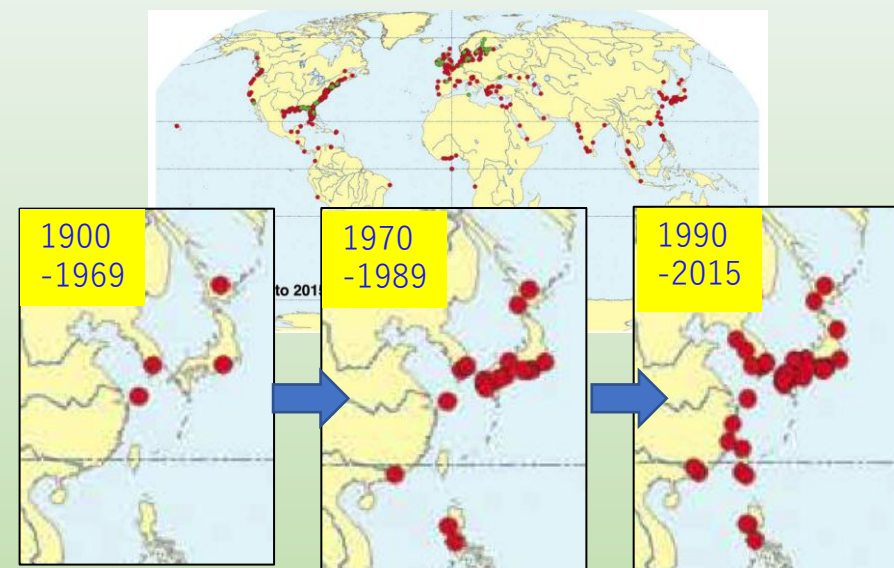
日本海浅海域（300m以浅）における
溶存酸素濃度の減少トレンド [$\mu\text{mol/kg/y}$]

[Ono et al., 2021]

浅海域における酸素欠乏現象の
発生海域の経年的増加 [IUCN 2020]



	対馬西部	対馬東部	若狭湾	栗島周辺	大和堆
0 m					
夏季					
冬季	-0.29 ± 0.09	-0.19 ± 0.08	-0.16 ± 0.08		-0.50 ± 0.12
50 m					
夏季	-0.77 ± 0.11	-0.70 ± 0.10			
冬季	-0.43 ± 0.09		-0.28 ± 0.08		
100 m					
夏季	-0.41 ± 0.11	-0.31 ± 0.10			
冬季	-0.72 ± 0.02		-0.23 ± 0.07		-0.50 ± 0.21
150 m					
夏季			-0.29 ± 0.14		-0.30 ± 0.14
冬季			-0.26 ± 0.10		-0.42 ± 0.21
200 m					
夏季			-0.67 ± 0.19		-0.46 ± 0.21
冬季					
300 m					
夏季				-0.80 ± 0.30	-0.62 ± 0.27
冬季					-0.51 ± 0.23



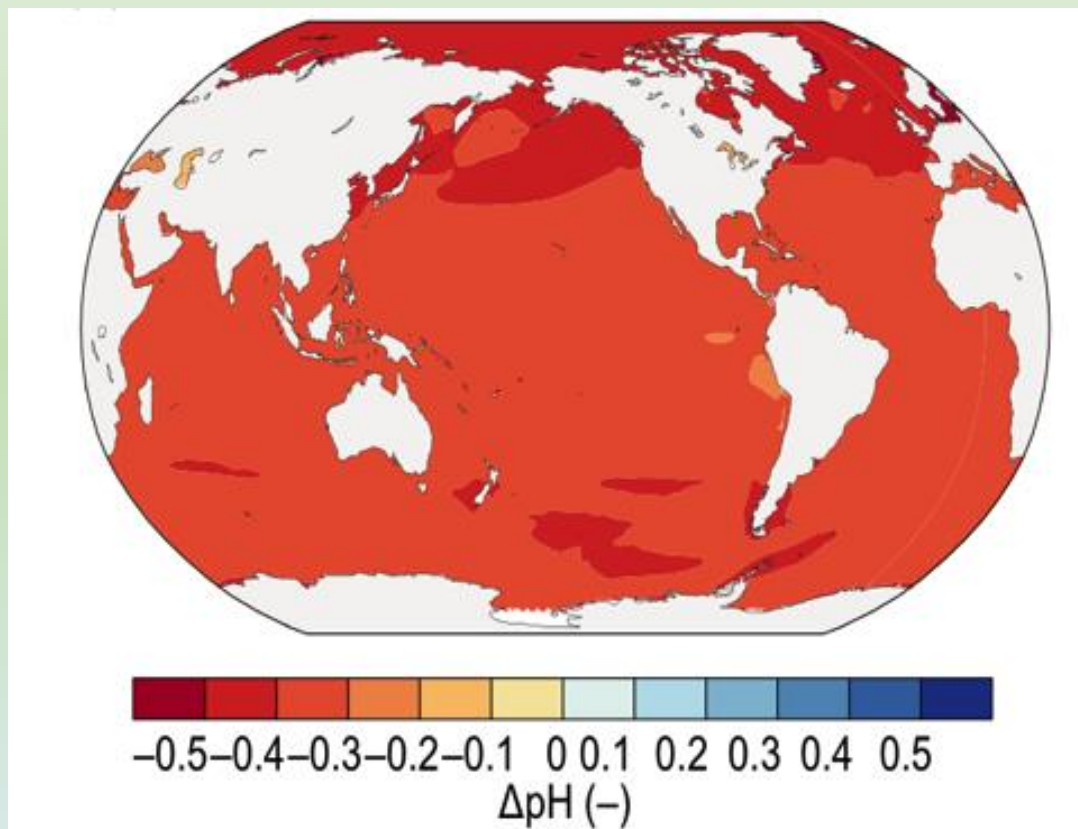
- 日本沿岸の貧酸素化も進行中。
特に東北～北海道太平洋側の大陸斜面域と、日本海沿岸の陸棚域で減少が顕著。
- 浅海域では酸素が増加している海域も減少している海域もあるが、日本全体としては未だ酸素が減少している海域の方が多い。

気候変動のその他の影響

③海洋酸性化

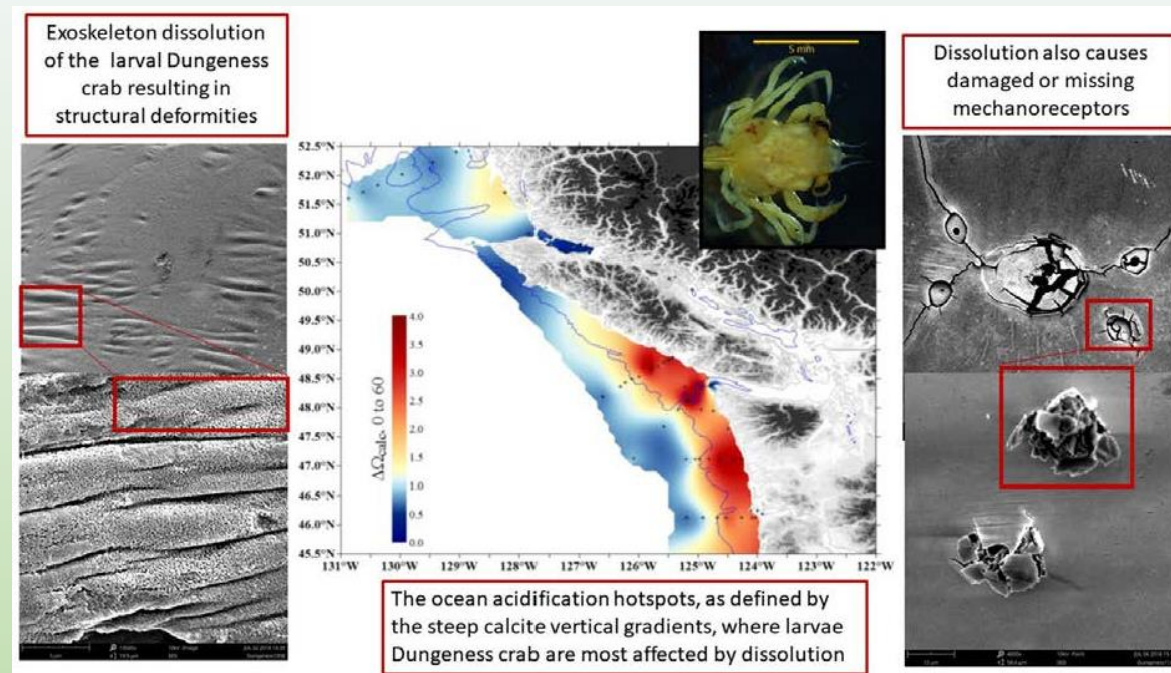
今世紀末までに発生する海洋表層のpH低下
(19世紀末 - 21世紀末間の変化量: RCP8.5)

[IPCC海洋・雪氷圏特別レポート]



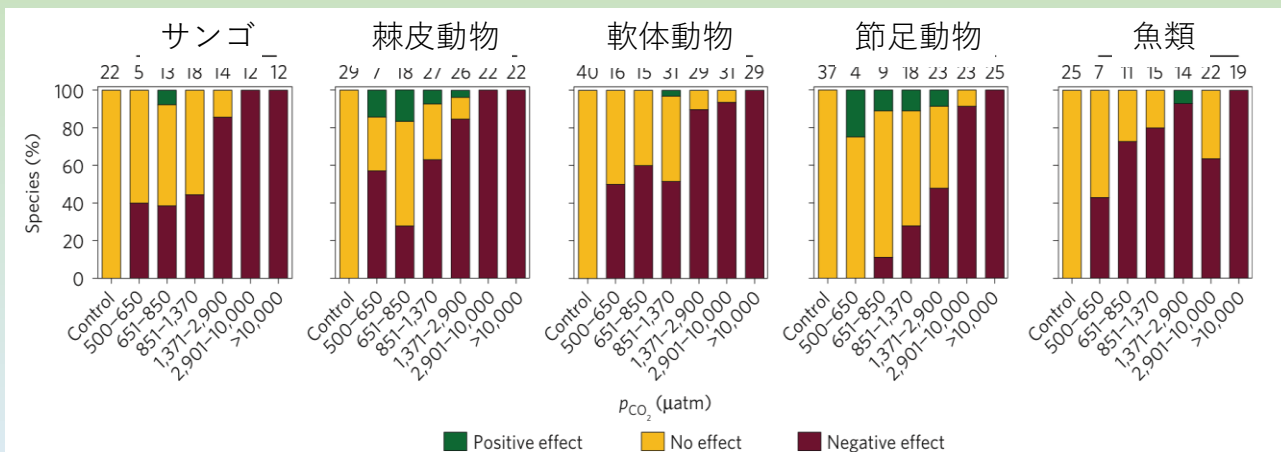
米国西岸でされたアメリカイチョウガニ幼生の殻の酸性化による溶解

[Bednarsek et al., 2020]

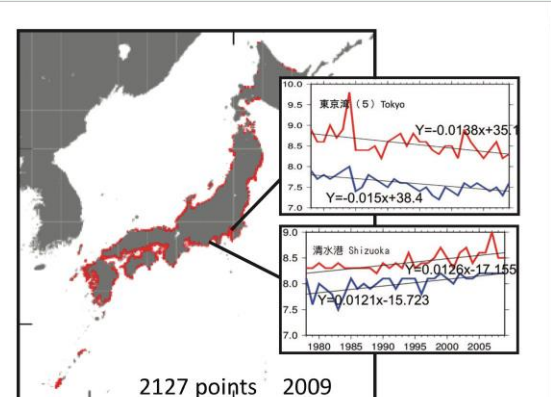


動物分類群毎に酸性化影響実験の結果をとりまとめたグラフ

[IPCC第5次評価報告書]

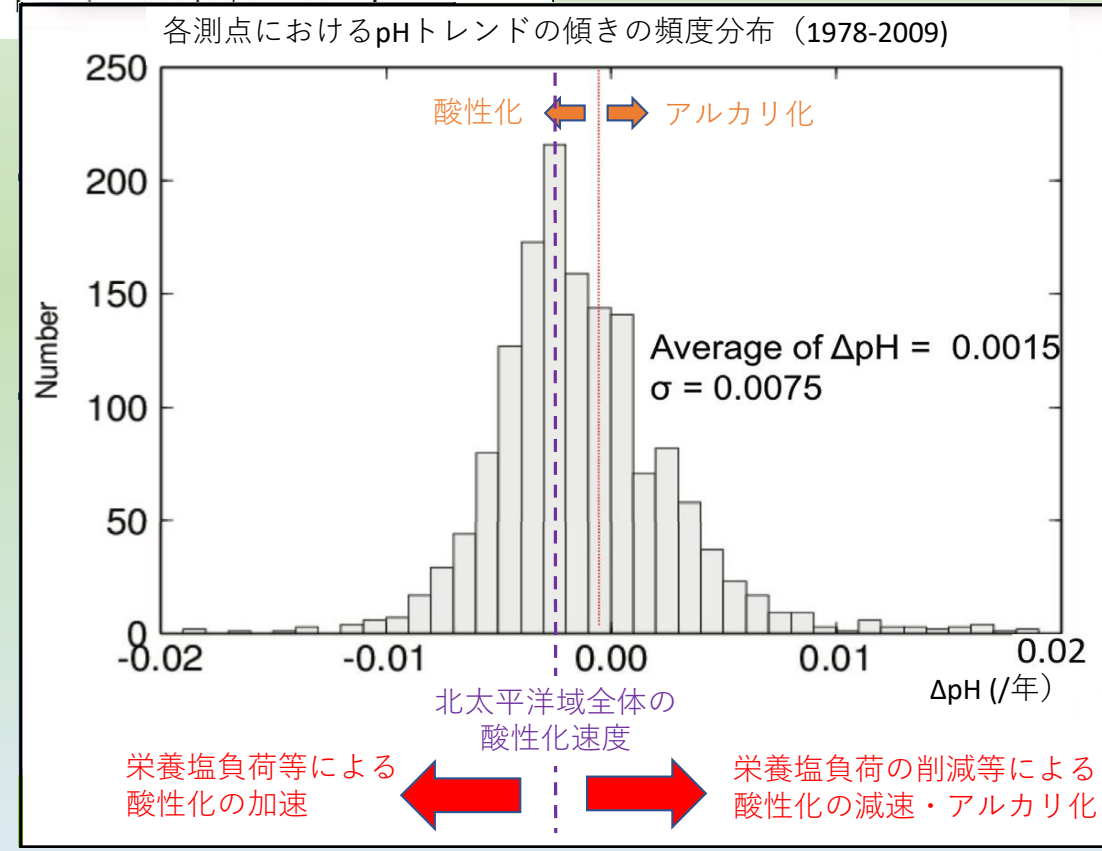


日本の沿岸域における酸性化の進行状況



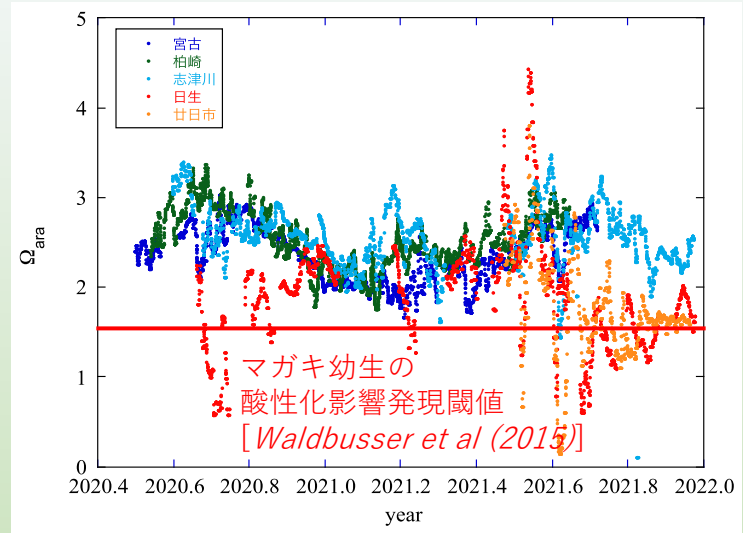
日本沿岸のpH観測点におけるpH経年変動の統計的分布

[Ishizu et al., 2019]



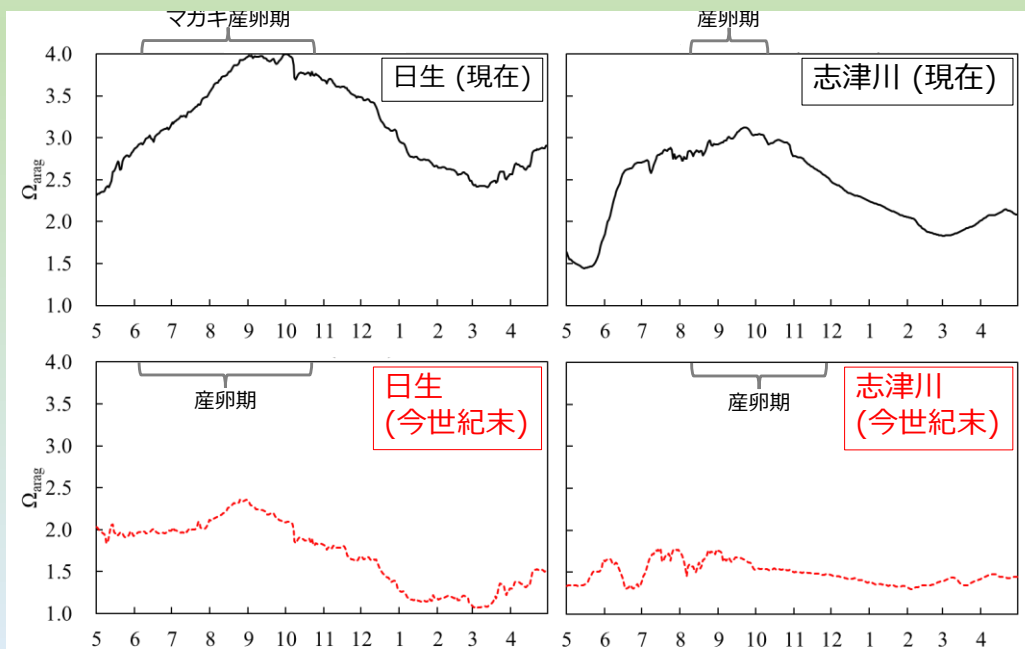
日本沿岸の5地点におけるアラゴナイト飽和度の周年変動モニタリング結果

[Ono et al., 2024]



岡山県日生・宮城県志津川湾における酸性化の将来予測

[Fujii et al., 2023]



まとめ：気候変動下における海の環境と生物生産 これまでにわかっている事

教科書的な影響と応答

- ・ **海の表層水温が全球的に上昇。**
これに応答して、**多くの生物の生息域が北上中。**
- ・ **海洋表層の成層が強化され、表層への栄養塩供給が低下。**
これに対応して**亜熱帯域表層の一次生産力は低下**しているが、**亜寒帯では**混合層深度の浅化による光条件の向上の効果が栄養塩減少の効果を相殺するため、**多くの海域で一次生産力が上昇。**

海域ごとに異なる応答

- ・ 上記の二項目以外の気候による変化（**流れ・海洋循環の変化 / 生物季節の変化 / 貧酸素化 / 酸性化** etc）は、海域ごとに現れ方が異なり、また生態系によって応答も異なる。
- ・ 各海域・生態系への気候変動の影響とその応答を評価するためには、海域・生態系ごとに**成立している仕組みを調査**し、その**仕組みに影響を与える気候要素がどのように変化しているか**を調べる必要がある。
- ・ 海的环境や生態系に影響を及ぼしている**人類活動の影響はCO₂だけではない。**
 - # **人類活動による栄養塩供給量/供給経路の変化**
 - # **沿岸域における淡水供給量の変化**
 - # **生物の人為的な遠隔輸送**などの影響にも合わせて注意を向ける必要がある。（**geo engineeringを含む**）