

瀬戸内海における気候変動影響及び気候変動適応の検討状況

令和2年12月22日

環境省 水・大気環境局
閉鎖性海域対策室

気候変動影響・適応に関する最近の動き

「瀬戸内海環境保全基本計画」(平成27年2月閣議決定)

- ・ 国、地方公共団体、事業者、民間団体等の連携の下に地球規模の気候変動がもたらす生物多様性・生物生産性への影響や適応策の調査研究等の推進。

「気候変動適応計画」(平成30年11月閣議決定)

- ・ 水温・水質の変化、流域からの栄養塩類等の流出特性等の変化が生じることによる生態系への影響を懸念
- ・ 現時点では予測の不確実性が高く、沿岸域及び閉鎖性海域においては確信度が低いと評価
- ・ 気候変動が水質、生物多様性に与える影響に関する科学的知見の集積を図るとともに、適応策に関する調査研究の推進



「気候変動影響評価報告書(詳細)」(令和2年12月環境省)

- ・ 気候変動による気温の上昇は、沿岸域や閉鎖性海域の水温を上昇させ、水温上昇は水質にも影響を及ぼすことが想定。排出される二酸化炭素は、海洋酸性化を進行させることが報告されている
 - 瀬戸内海を対象とした研究においては、RCP8.5シナリオを前提として、夏季における昇温傾向が強く最大で6月の3.58度、最小昇温は12月の2.84度の海面温度が上昇する予測例あり。
- ・ 気候変動による海水温の上昇により、海水の混合や海流に影響が生物・物質循環の変化をもたらす可能性や、春季ブルームが早期化する可能性。また、純一次生産力が低下すると指摘される一方、メソ動物プランクトンの現存量については、大きな変化が起こらないことが指摘。
 - 将来、気候変動に伴い、植物プランクトンの現存量に変動が生じる可能性。
- ・ 海水温の上昇又は藻食性魚類によるものと考えられる藻場の減少や構成種の変化が各地で生じている。各地で南方系魚種数の増加や北方系魚種数の減少、養殖ノリの収穫量の減少、ワカメへの影響などが報告。
 - 海水温の上昇による構成する藻類種や現存量の変化によって磯根資源の漁獲量が減少するなど予測。ノリ・ワカメ養殖の漁期への影響も予測されている。瀬戸内海から黒潮流域のカジメ類の分布について、2050年代では現状の藻場を維持できる可能性(RCP2.6シナリオ)、瀬戸内海の全域で大幅に減少する可能性(RCP8.5シナリオの)があると予測。

気候変動影響・適応に関する最近の動き

「瀬戸内海における今後の環境保全の方策の在り方について」(令和2年3月中央環境審議会)(抜粋)

- ・ 調査研究による科学的知見の更なる集積に当たっては、既存のデータ、知見の活用は当然として、継続したモニタリング等を実施し、最新の知見を踏まえて、気候変動の影響を予測するとともに、その適応を考慮した分析・検討が必要である。

「第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明」(令和2年10月26日)(抜粋)

- ・ 菅政権では、成長戦略の柱に経済と環境の好循環を掲げて、グリーン社会の実現に最大限注力してまいります。
- ・ 我が国は、二〇五〇年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち二〇五〇年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを、ここに宣言いたします。
- ・ もはや、温暖化への対応は経済成長の制約ではありません。積極的に温暖化対策を行うことが、産業構造や経済社会の変革をもたらし、大きな成長につながるという発想の転換が必要です。

「第二百三回国会環境委員会における小泉環境大臣発言」(令和2年11月10日)(抜粋)

- ・ こうした中、先般の菅総理の所信表明演説において、二〇五〇年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわちカーボンニュートラルを目指すことが宣言されました。
- ・ 第一に、三つの移行のうち、脱炭素社会への移行について申し上げます。(略)。我が国の目標や取組を積極的に世界に発信し、環境先進国日本としての確固たる地位を築くとともに、世界全体でのカーボンニュートラル達成に貢献してまいります。
- ・ 第三に、分散型社会への移行について申し上げます。(略)。加えて、気候変動掛ける防災という視点に立って、自然の機能を生かして災害をいなし、レジリエンス向上を図ることも重要となっています。気候変動への適応を進める適応復興の発想に基づく取組を関係省庁と連携して進めます。

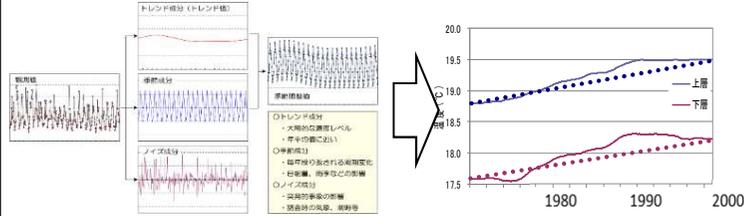
閉鎖性海域における気候変動による影響評価・適応策等の検討の概要

サブ1: 気候変動による影響に係るデータ分析 (過去45年間の瀬戸内海の水温・水質)

- 行政モニタリングデータの統合と長期トレンド解析

季節調整法によるデータ処理

長期トレンドの抽出



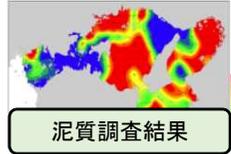
水温・水質変動の経年・海域別トレンドの抽出

多様性変動
環境の設定

水温水質
変遷情報

サブ2: 気候変動による影響に係るデータ分析 (過去25年間の瀬戸内海の底生生物多様性)

- 十年スケールのベントス・底質調査データの統合
- 多変量解析による長期群集構造変動の解析



長期環境変動とベントス群集変化の関連性の評価

将来気候下の
多様性考察

モデル構築と
再現性の検証

観測
データ

水質
底質

水質水温
変遷情報

将来トレンド解析

海域別トレンド
の要因解析

観測・計算データの相互解析

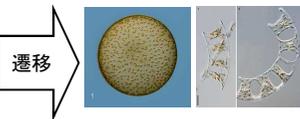
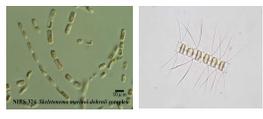
理論・実験の
条件設定

サブ3: 植物プランクトンに着目した実験等に係る検討

- 瀬戸内海優占種の遷移要因に関する理論・実験的解析

1980年代までの小型種

1990年代以降の大型種



ノリ色落
原因種

遷移

種ごとの水温・栄養塩に対する増殖特性評価

優占種交代の理論的・実験的解析と実験的評価

長期環境変動と優占種交代の関連性の評価

基礎生産再現
・予測の改良

植物プランクトン
増殖特性

物理・化学環境
の条件

将来気候下の
出現種考察

サブ4: 気候変動の将来予測及び影響評価に係る検討

- 再現計算に基づく瀬戸内海の大気・陸域・海洋モデルの構築
- 感度解析による社会的・人為的・気候変動の水質影響の比較
- 将来気候下において気候変動影響の大きな海域の予測・抽出

インパクト

気候変動

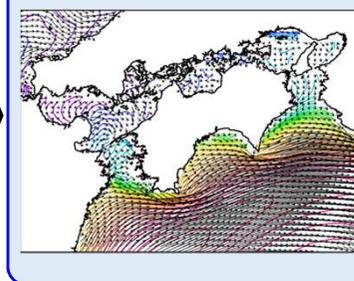
黒潮交換

海面気象

陸域流出

陸域活動

流動・水質・底質シミュレーション



水温・水質・底質への気候変動影響プロセスの抽出

水質・生物種・応答の
長期変動要因の評価

気候変動影響の顕著な
“脆弱海域”の抽出

将来気候下の
脆弱海域・生物応答の予測

今後、管理が求めら
れる場・対象の検討

気候変動による影響に係るデータ分析(水温)

- 1970・1980年代から現在までに蓄積された水質データを整理し、従来の単回帰や移動平均等に代わる、北川らによる「状態空間モデルを使った季節調整法」及びそのプログラム(DECOMP)を用いて、海水温等の長期変動解析を行った。
- 使用した水質データは公共用水域水質測定(環境省)と浅海定線調査(自治体)。

季節調整法による水質変動の解析

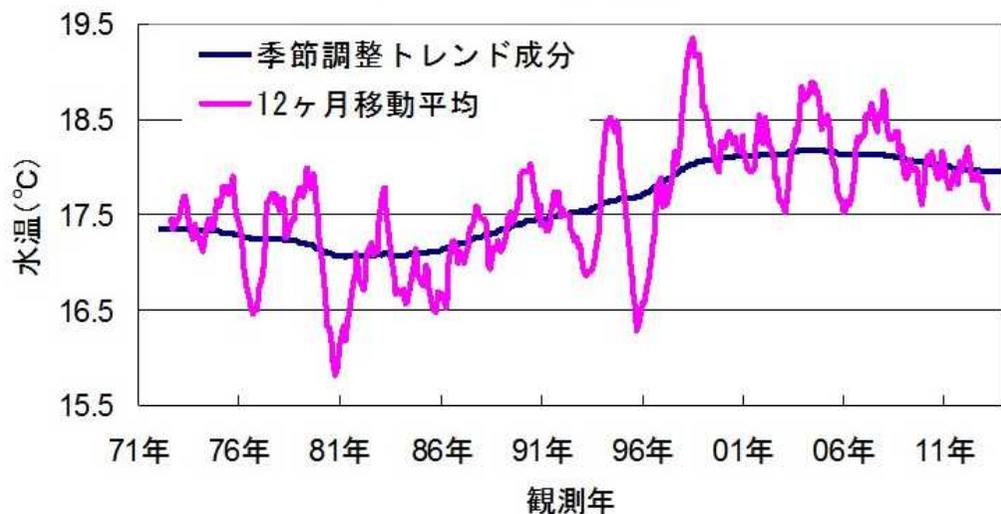
季節変化等により周期的な変動を繰り返す時系列データ(水質データ)をトレンド成分、季節成分、ノイズ成分に分解する。

なお、トレンド成分はその年の平均的な水質を示す。

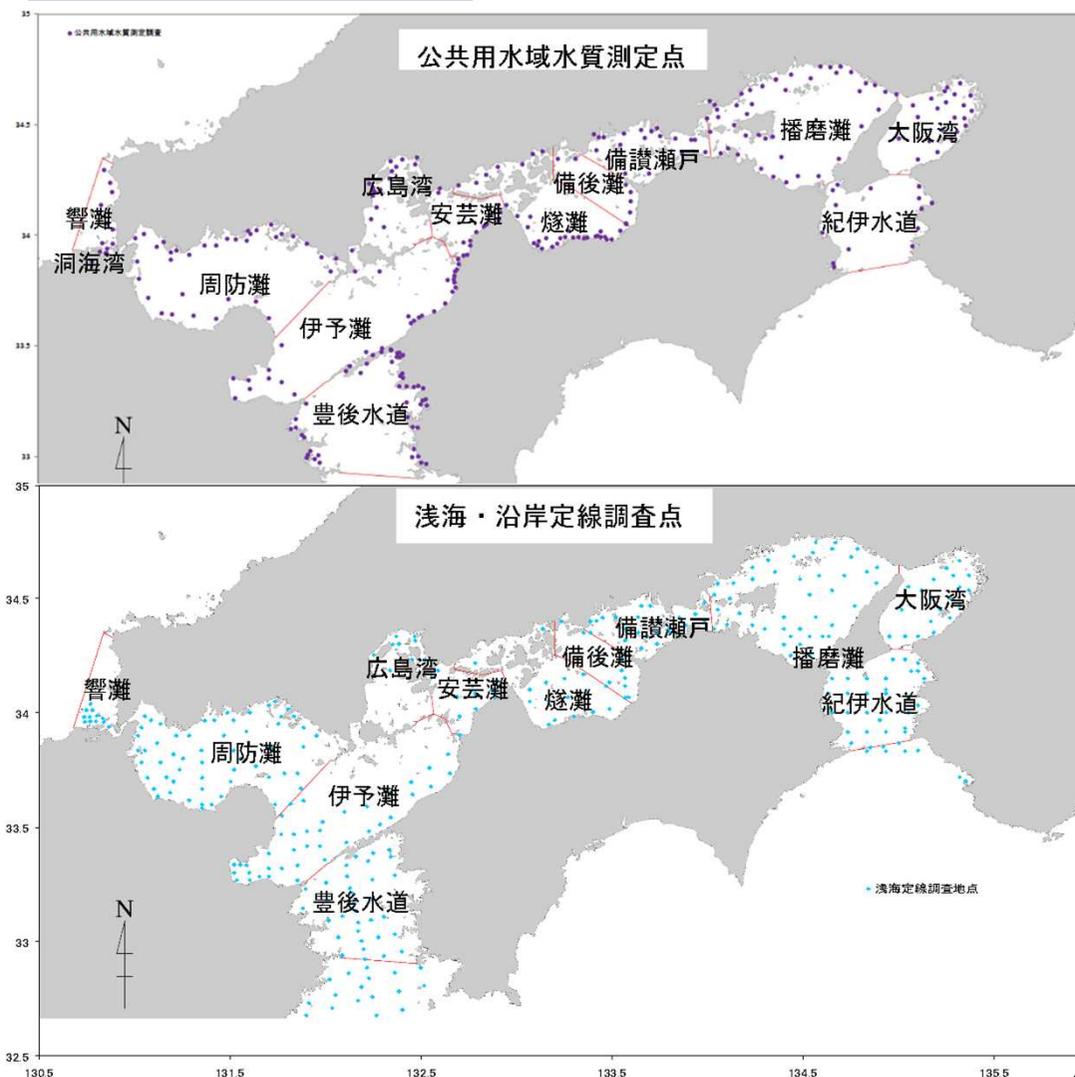
季節調整値は、トレンド成分と季節成分を足し合わせたもので、天候等の影響であるノイズ成分を除いた各地点のその年月の平均的な水質を示す。

※ 本手法の開発背景は経済学分野への利用であるが、東京湾水質の水平分布の経年変化を解析した例(Kashiwagi 2003)など、水質トレンド解析等の分野への応用が進められている。

兵庫浅海定線 28_H02



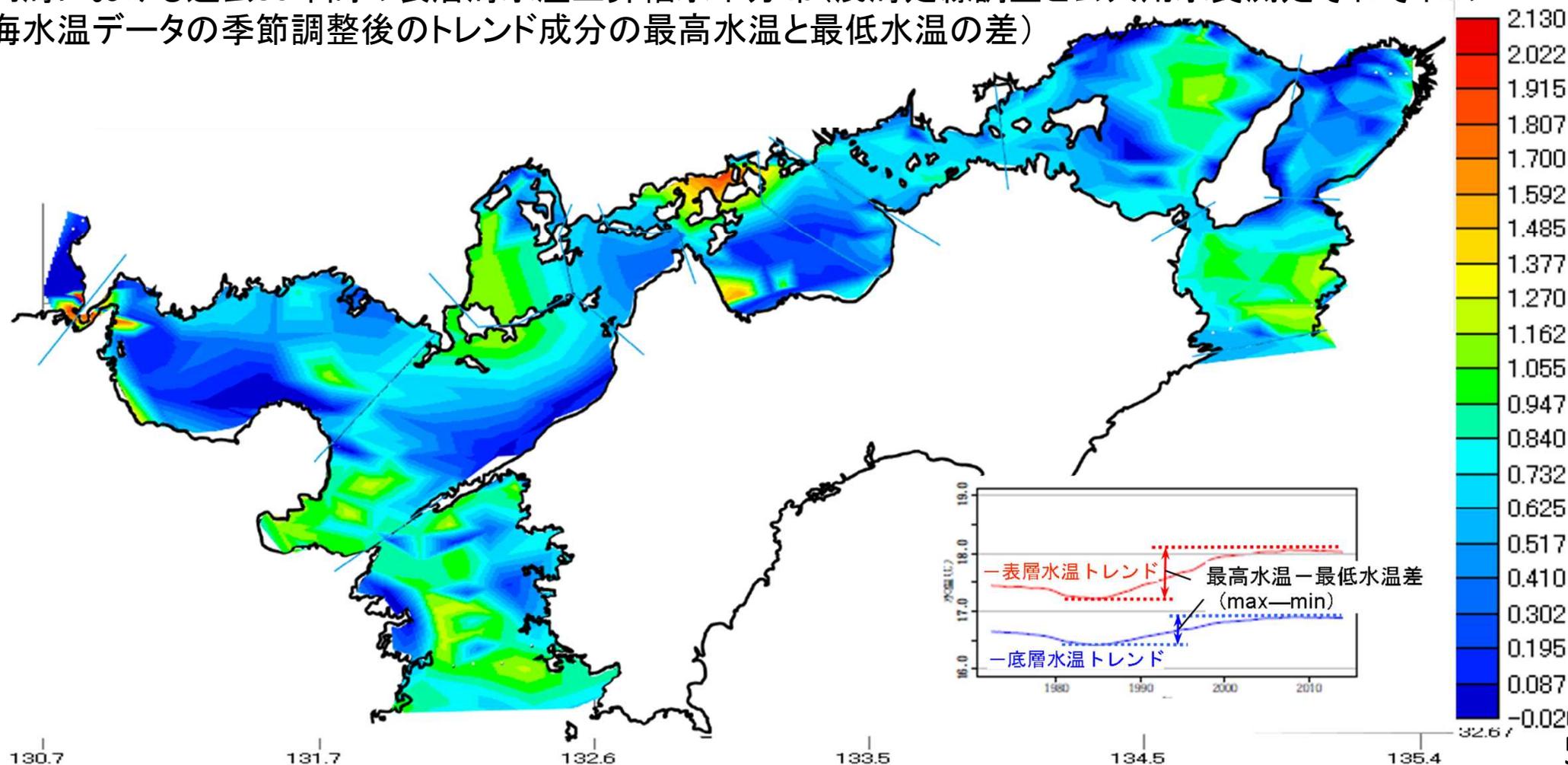
水質データの測定点



気候変動による影響に係るデータ分析(水温)

- 瀬戸内海における過去30～40年間の海水温のトレンド成分の上昇幅は、表層0.02～2.19℃、底層0.05～2.3℃であった。1970年代から1980年代にかけては下降傾向、もしくは僅かな変動しか示さなかったが、1980年代から2000年代前半まで 上昇傾向が顕著であった。
- 瀬戸内海における水温や水質の長期変動の様相について、湾・灘ごと、更には湾・灘内の特定の海域によって異なる結果がみられた。これは、気温上昇の地域差や、外洋との海水交換や黒潮の蛇行、成層の発達や流れの強弱などによるものと考えられる。

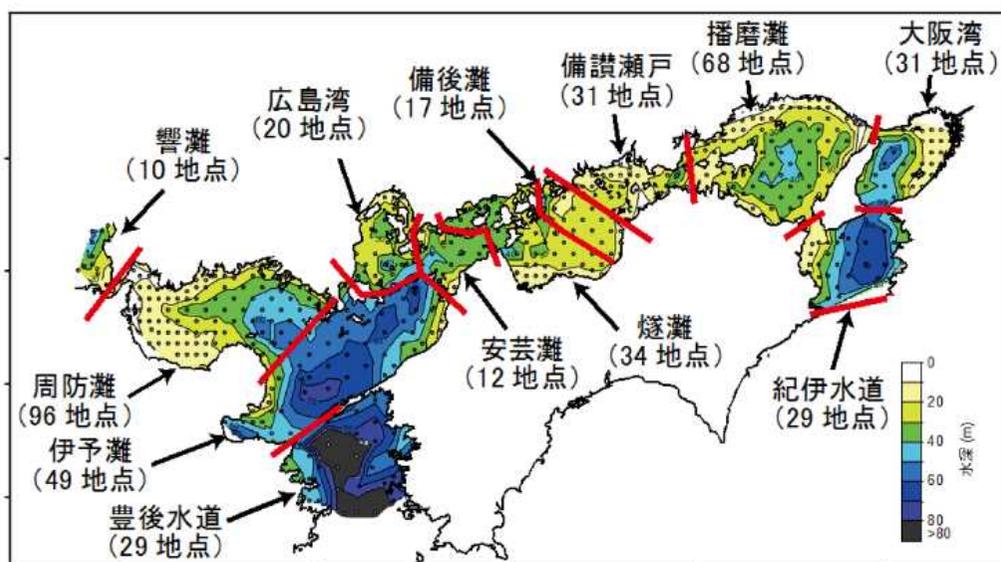
瀬戸内海における過去30年間の表層海水温上昇幅水平分布(浅海定線調査と公共用水質測定それぞれの表層海水温データの季節調整後のトレンド成分の最高水温と最低水温の差)



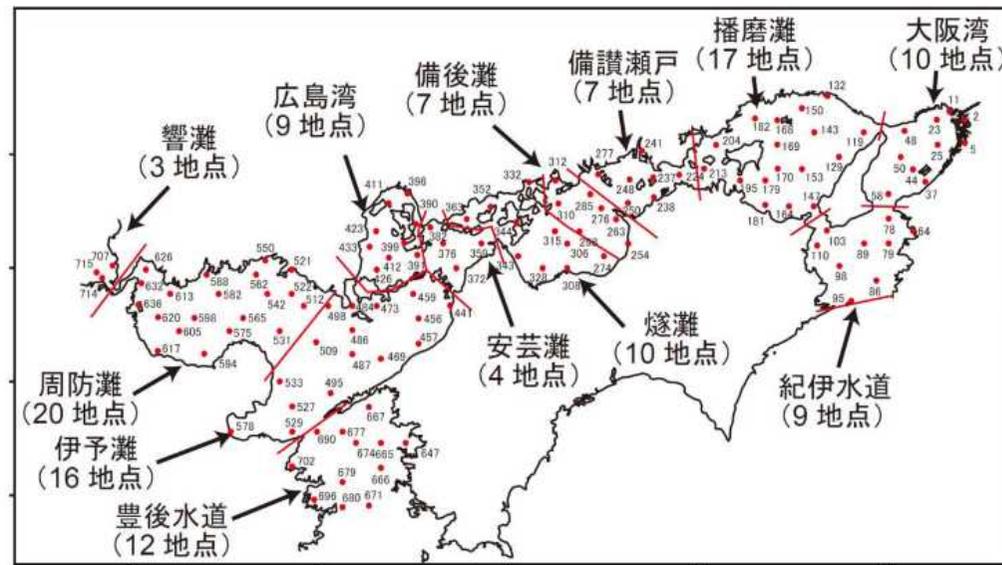
気候変動による影響に係るデータ分析(底質・底生生物)

- 瀬戸内海における底質及び底生生物調査は、「瀬戸内海環境情報基本調査」として4回実施されている。(第1回:昭和56~60年度、第2回:平成3~6年度、第3回:平成13~16年度、第4回:平成27~29年度)。
- 広域総合水質調査:毎年4回実施されている。

瀬戸内海環境情報基本調査



広域総合水質調査



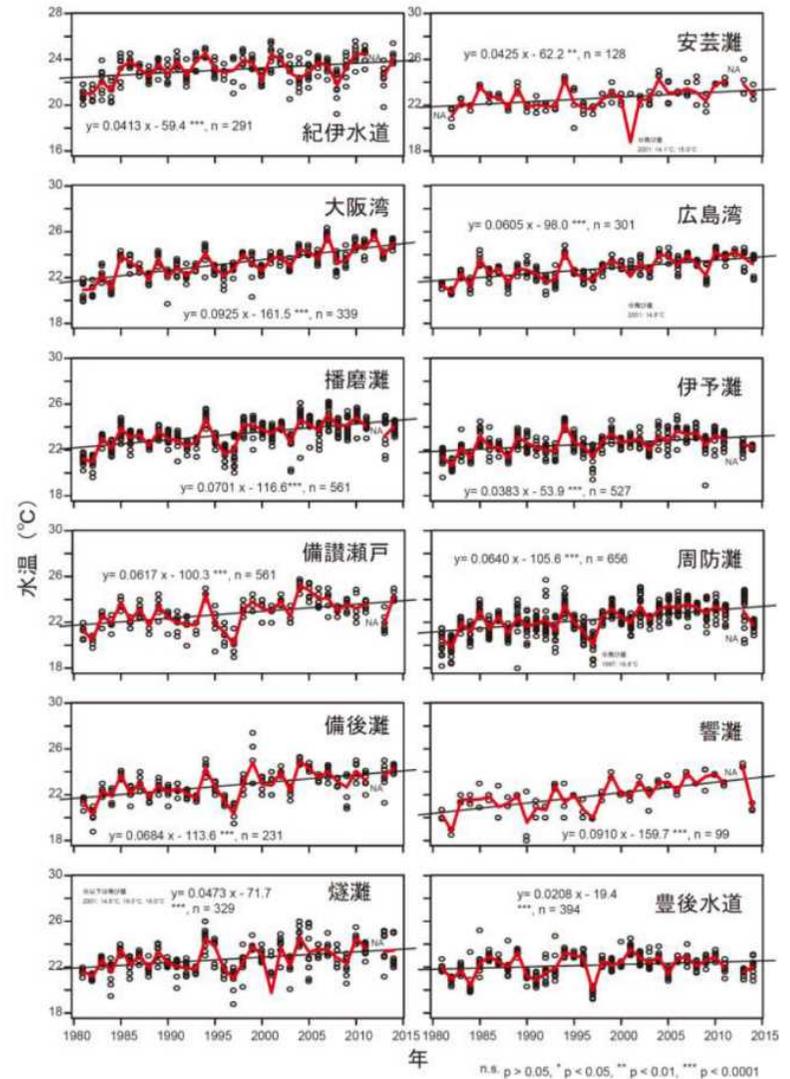
気候変動による影響に係るデータ分析(底質・底生生物)

○ 底層水温について、瀬戸内海のほとんどの海域で経年的に有意な上昇がみられた。変化速度は10月が最大で、特に、大阪湾、播磨灘、響灘で顕著であった。

海域	底層水温の経年変化速度 ($\Delta^{\circ}\text{C yr}^{-1}$)			
	1月 ^a	5月 ^a	7月 ^a	10月 ^a
紀伊水道	0.0440	0.0289	-0.0294	0.0413
大阪湾	0.0490	n.s.	0.0200	0.0925
播磨灘	0.0210	0.0188	0.0179	0.0701
備讃瀬戸	0.0149	n.s.	n.s.	0.0617
備後灘	0.0154	n.s.	n.s.	0.0684
燧灘	0.0207	0.0308	0.0254	0.0473
安芸灘	n.s.	0.0359	0.0252	0.0425
広島湾	0.0284	0.0240	n.s.	0.0605
伊予灘	0.0133	0.0197	0.0163	0.0383
周防灘	0.0359	n.s.	n.s.	0.0640
響灘	0.0507	n.s.	n.s.	0.0910
豊後水道	0.0146	0.0182	0.0178	0.0208
全海域平均	0.0280	0.0252	0.0133	0.0582

^a 広域総合水質調査、赤字:変化速度の上位2海域、青字:変化速度が負の海域。

10月の底層水温



気候変動による影響に係るデータ分析(底質・底生生物)

- 泥分について、特段の傾向がみられない。
- 底質TOC(全有機炭素)について、多くの海域で低下がみられる。

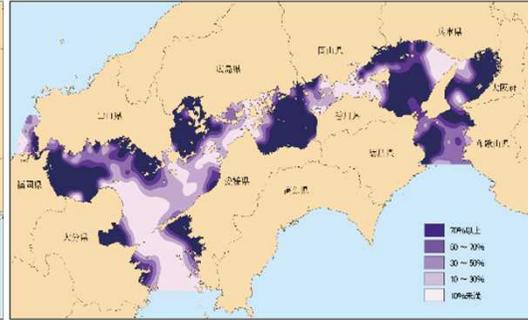
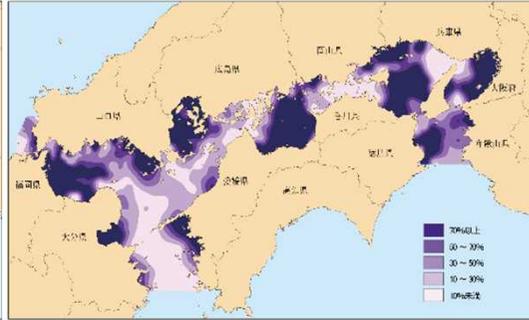
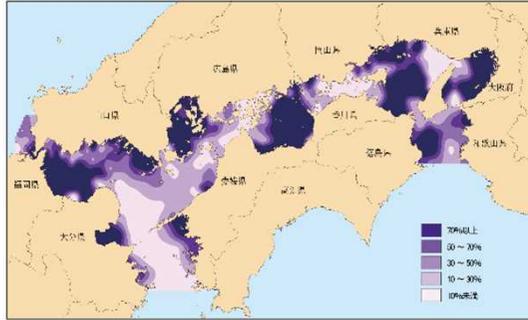
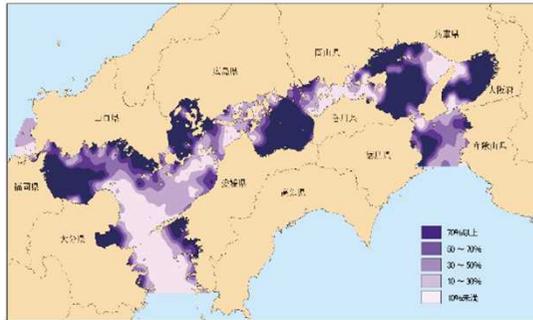
(a) 第1回

(b) 第2回

(c) 第3回

(d) 第4回

泥分



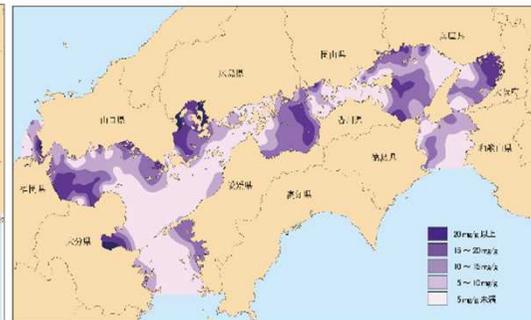
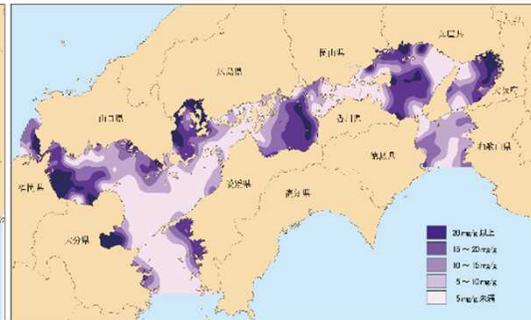
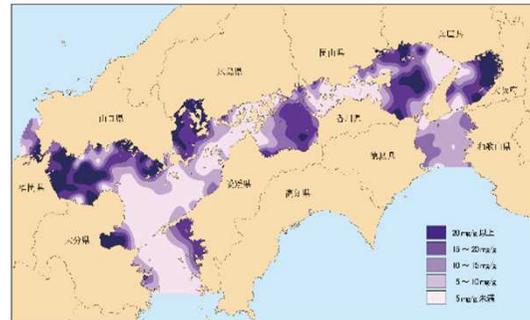
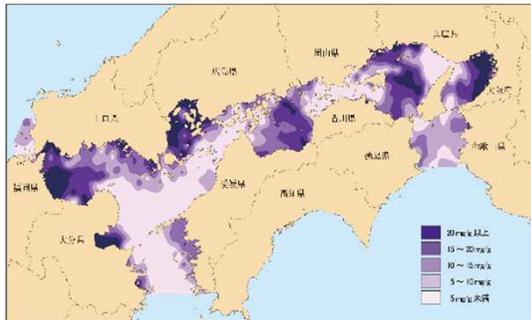
(a) 第1回

(b) 第2回

(c) 第3回

(d) 第4回

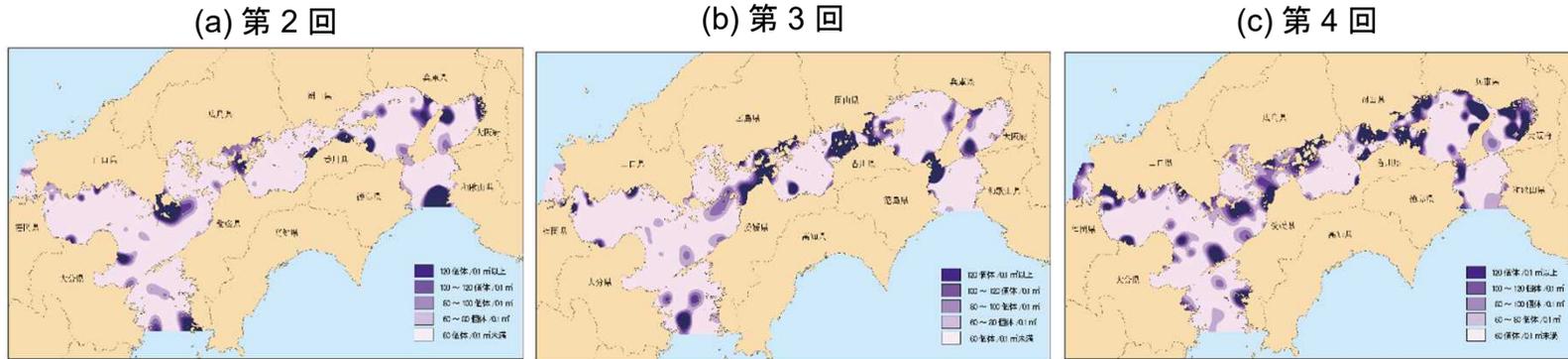
TOC



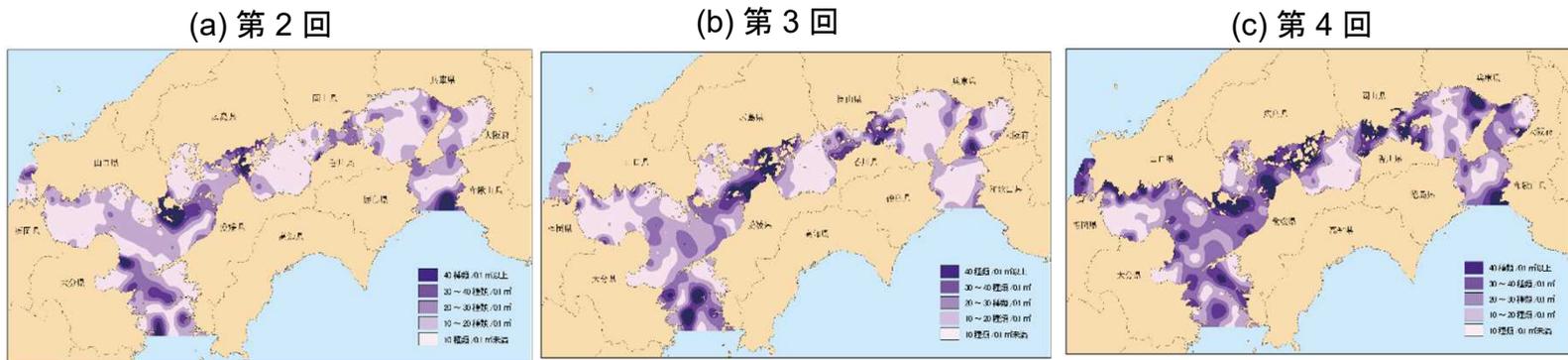
気候変動による影響に係るデータ分析(底質・底生生物)

- 多くの海域で密度・個体数ともに増加傾向がみられる。
- 特に海峡・瀬戸地形の海域において増加傾向がみられる。

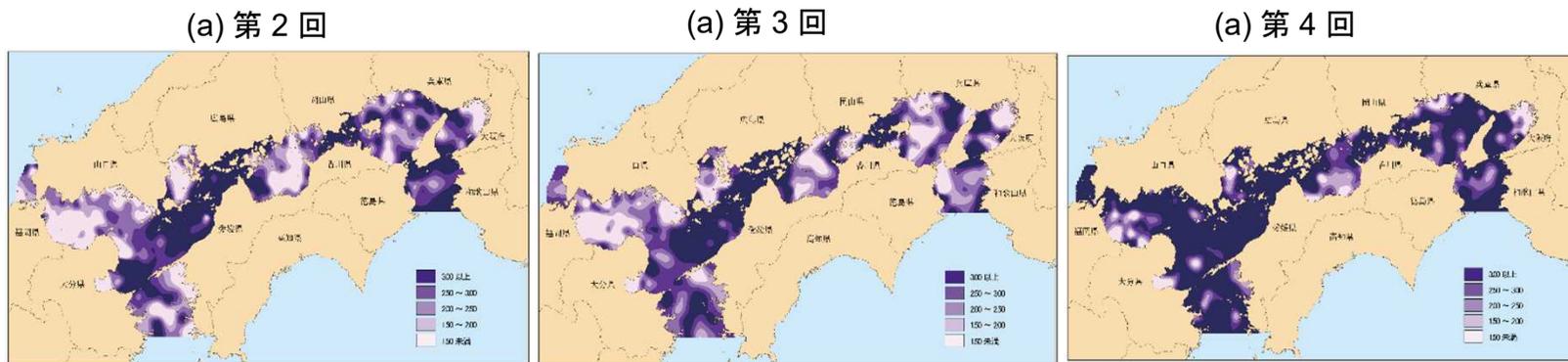
底生生物個体数



底生生物種類数



底生生物多様性指数

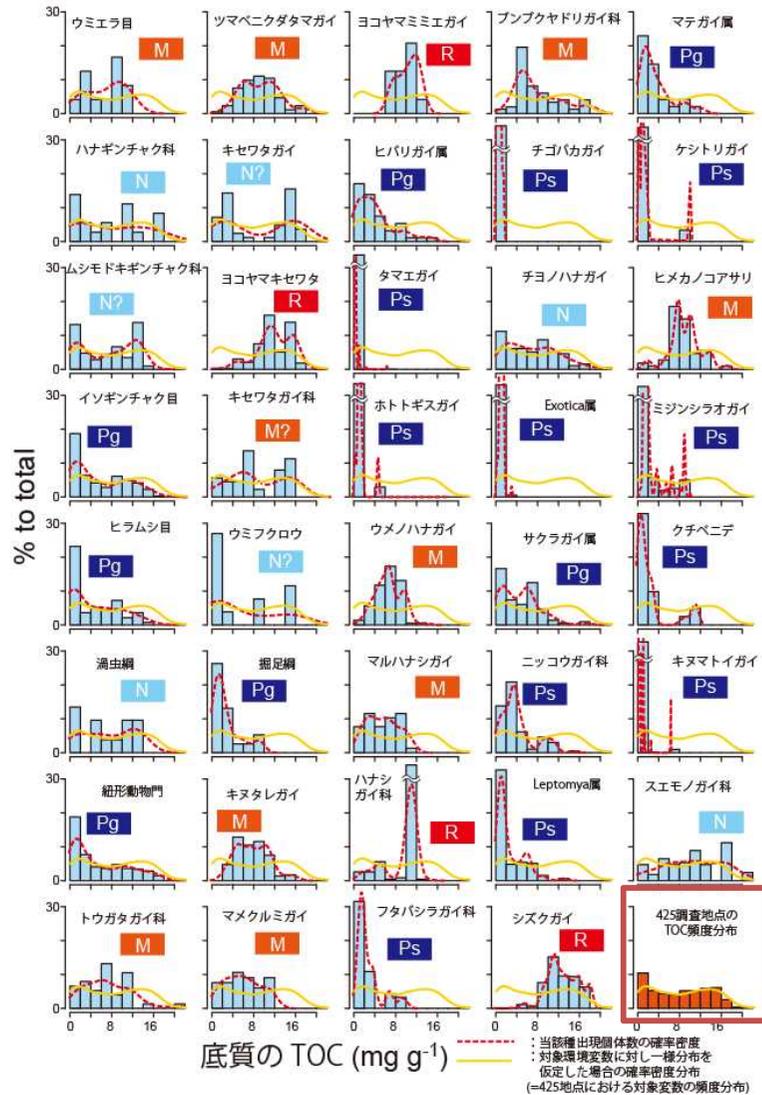


※底生生物個体数、底生生物種類数、底生生物多様性指数のいずれも第1回はデータなし

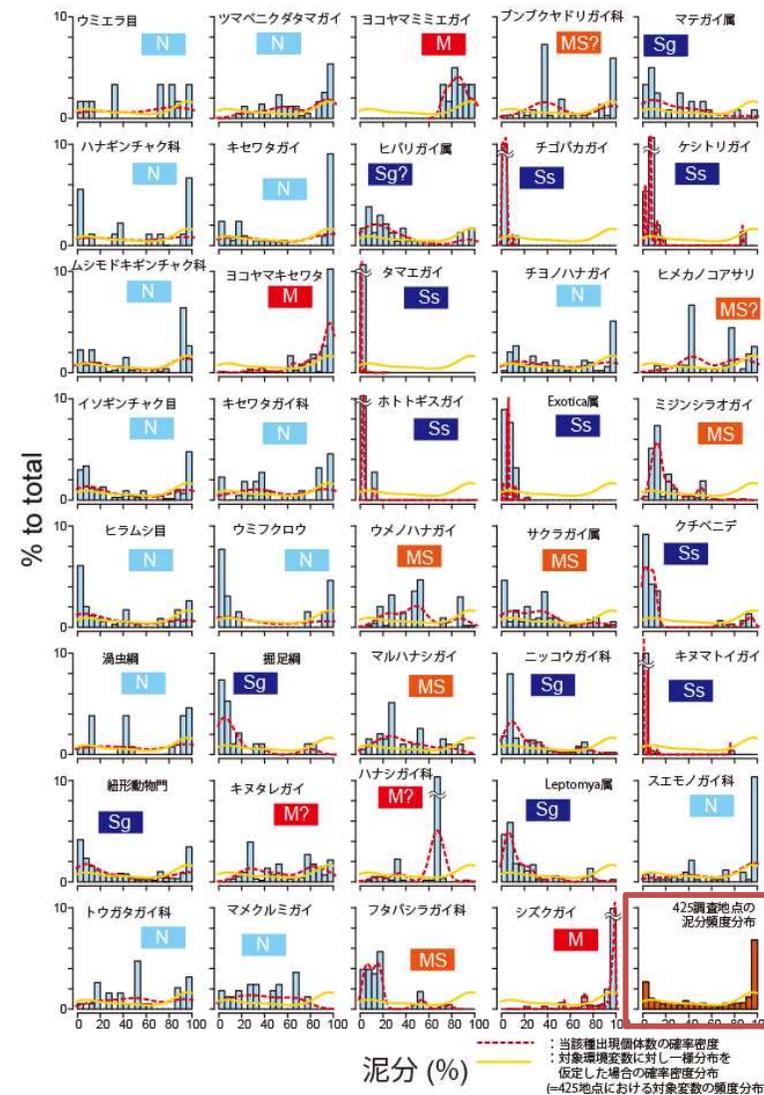
気候変動による影響に係るデータ分析(底質・底生生物)

- 泥分、底質TOC、水深、泥温について、底生生物(193種)の出現頻度分布解析を行った。
- その結果、泥分と底質TOCに対しては、多くの種が当該環境変数に対する調査地点の出現頻度(赤枠)と異なる一山の分布パターン(青枠)の出現頻度を示した。また、泥分よりも底質TOCに対して、多くの種がより応答を示した。
- 一方、泥温と水深に対しては、多くの種が当該環境変数に対する調査地点の出現頻度(赤枠)と近い当該種出現頻度を示し、泥温又は水深と出現頻度との間に明確な関係性はみられなかった。

底質 TOC に対するベントス種の出現頻度分布と確率密度 - 第4回基本調査その1



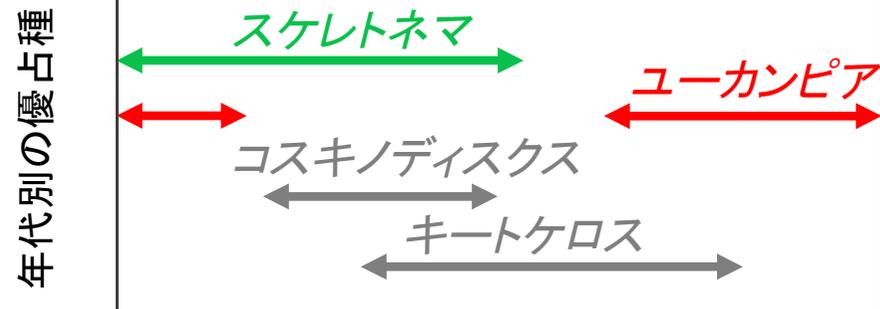
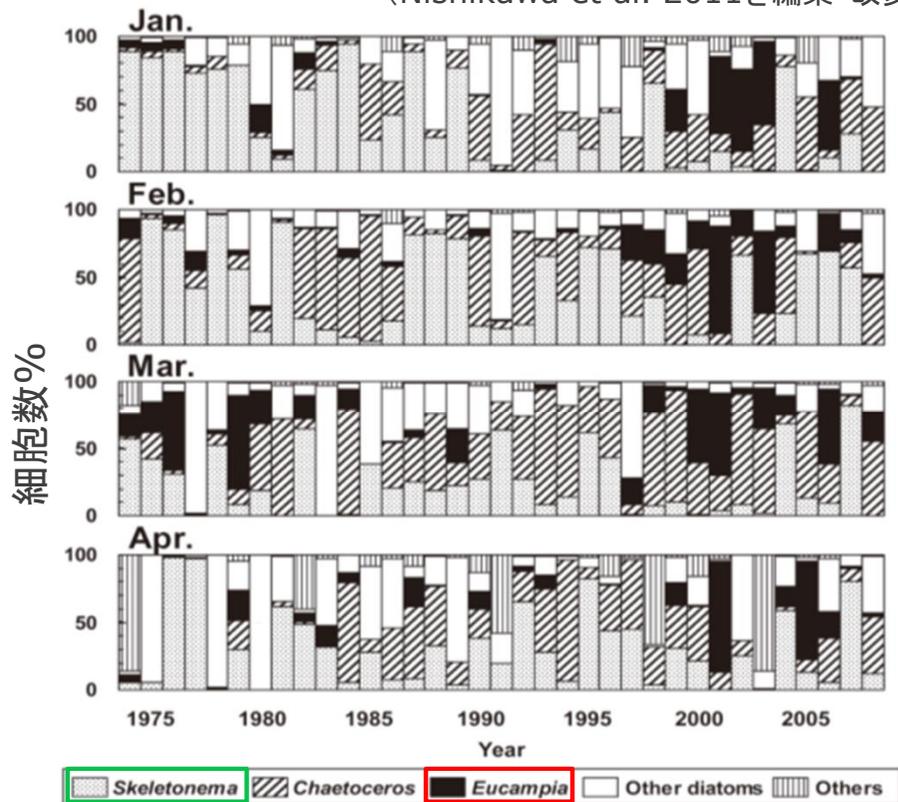
泥分に対するベントス種の出現頻度分布と確率密度 - 第4回基本調査その1



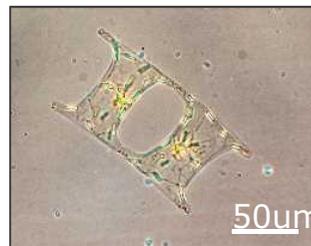
植物プランクトンに着目した実験等に係る検討

○ 冬季の瀬戸内海において、スケルトネマやキートケロスなどの小型珪藻からユーカンピアなどの大型珪藻への優占種交代が生じていることが指摘されている。

播磨灘における植物プランクトン群集組成の経年変化
(Nishikawa et al. 2011を編集・改変)

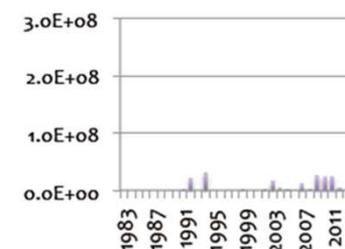


Eucampia zodiacus

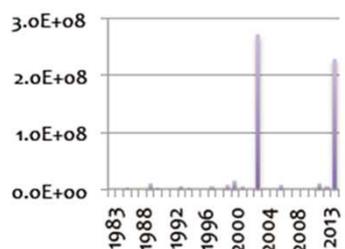


- 冬季に出現する大型珪藻の1種
- 大型珪藻とノリとの栄養塩類を巡る競合

広島湾北部沿岸(連番396)



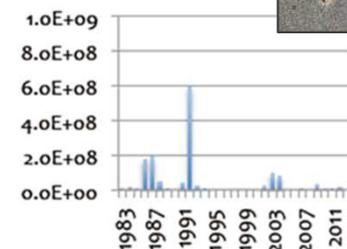
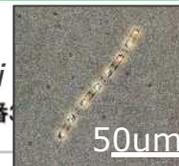
周防灘北西部沿岸(連番632)



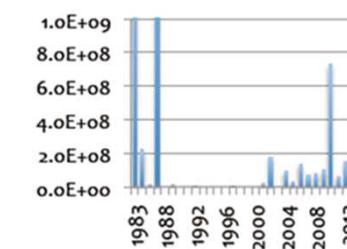
(縦軸:細胞密度cel/m³、横軸:年、
広域総合水質測定(環境省)から作成)

Skeletonema marinoi-dohrnii

広島湾北部沿岸(連番396)

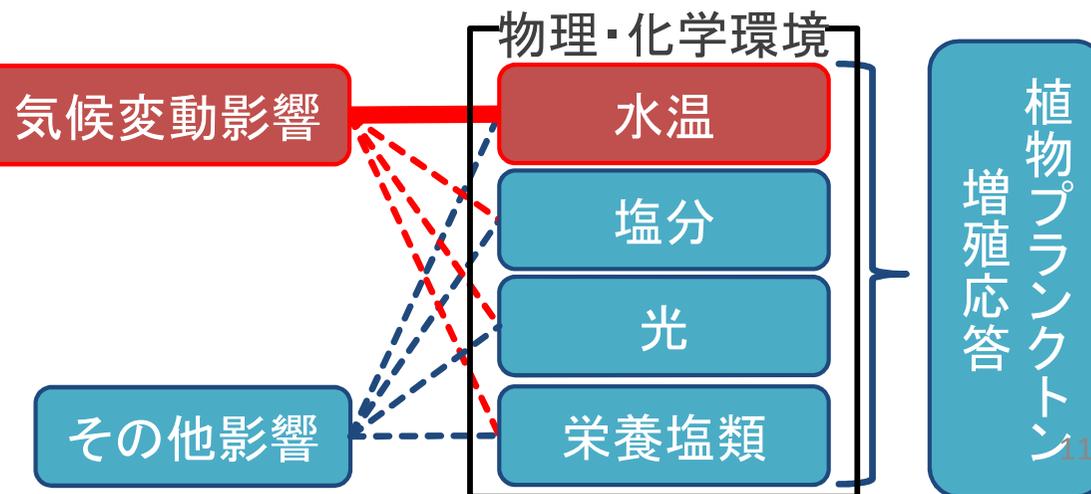


周防灘北西部沿岸(連番632)



(縦軸:細胞密度cel/m³、横軸:年、
広域総合水質測定(環境省)から作成)

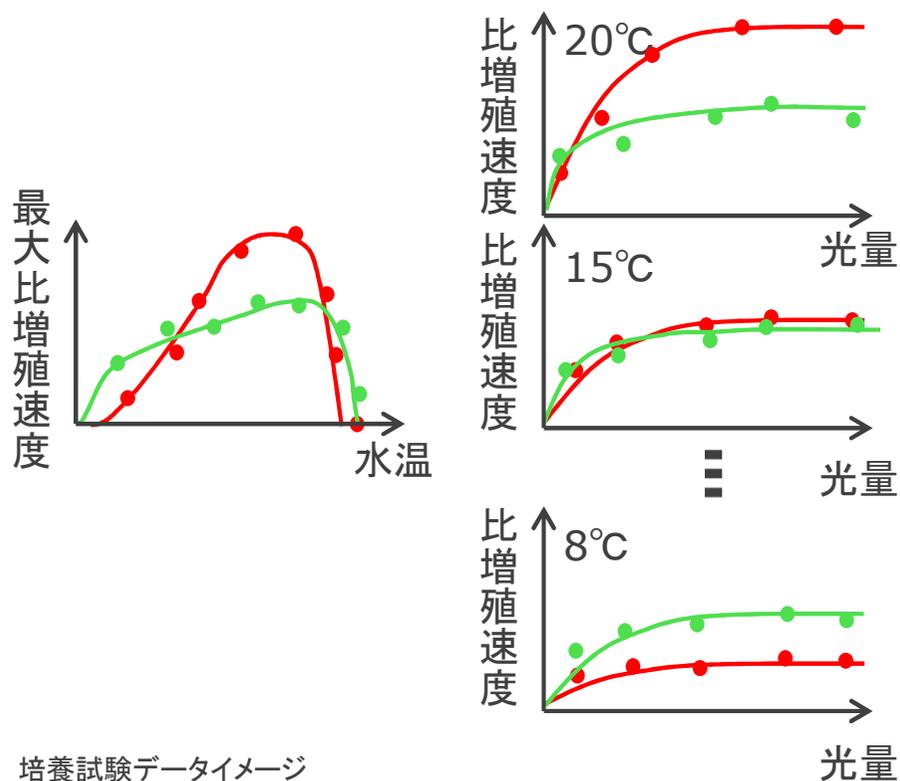
植物プランクトン増殖応答のイメージ



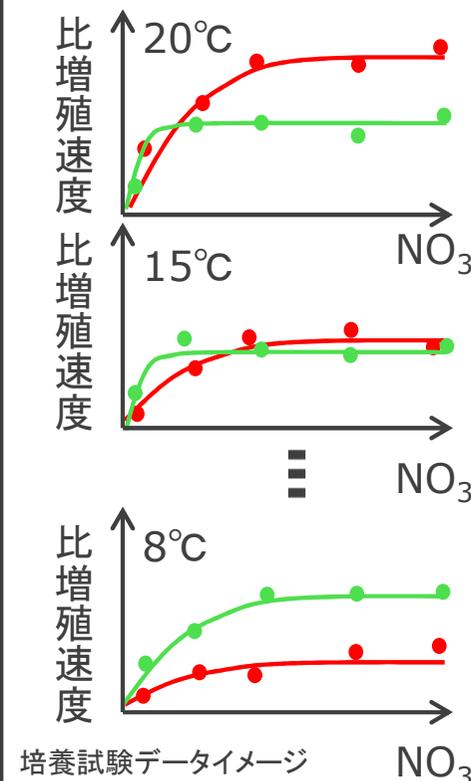
植物プランクトンに着目した実験等に係る検討

- 培養試験により、複数の水温、光量、硝酸態窒素濃度におけるスケルトネマ、ユーカンピア等の比増殖速度を計測した。
- この結果、種ごとに最大比増殖速度、硝酸態窒素濃度に対する比増殖速度の半飽和定数並びに光量に対する比増殖速度の半飽和定数及び補償光量について水温依存性を考慮した関数を構築した。

水温・光量制限実験



硝酸態窒素制限実験



多頻度培地交換型半連続自動培養装置



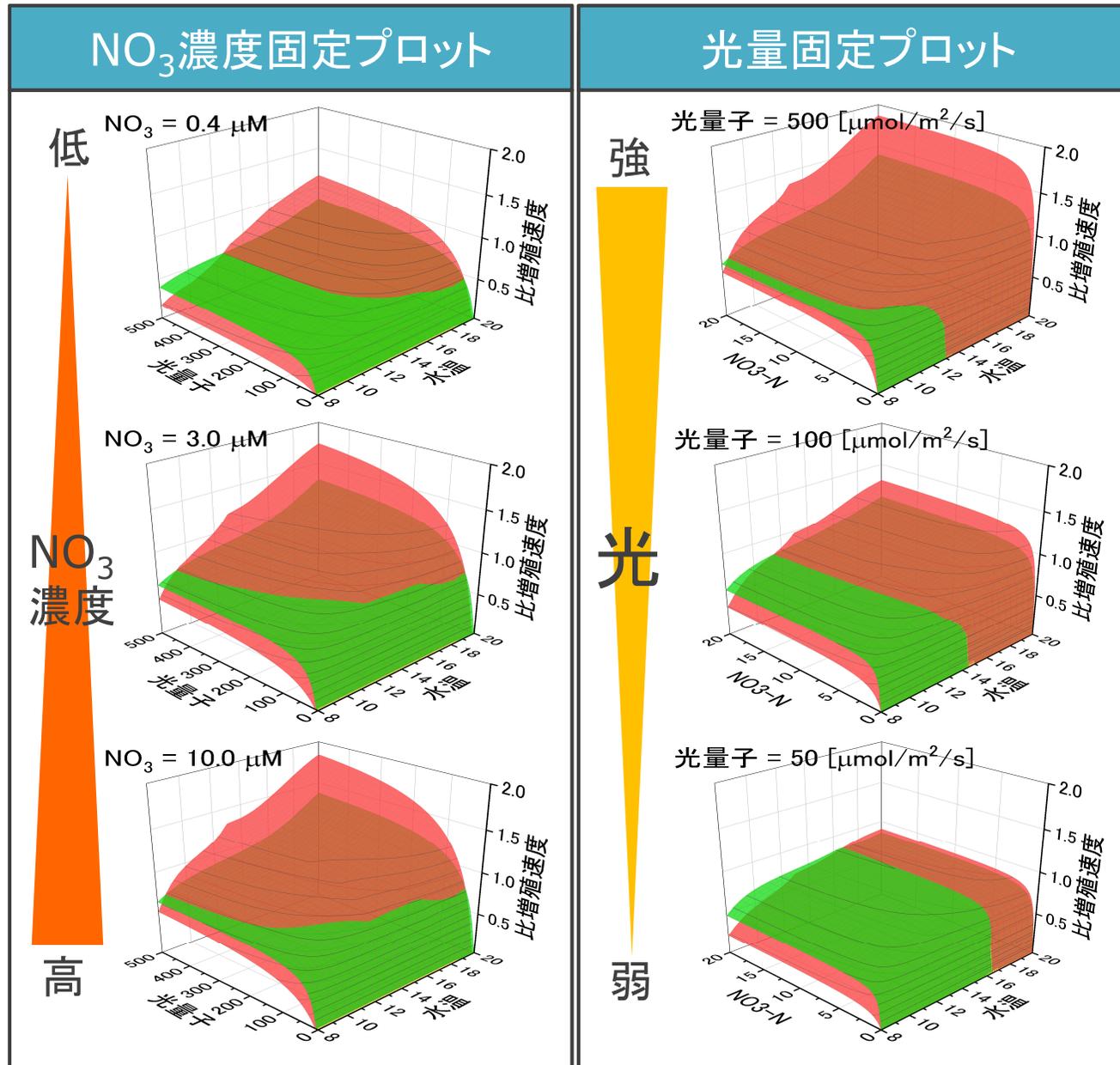
培養フラスコ

水温・光量・硝酸態窒素を変数とする比増殖速度推定関数(μ_T)

$$\mu_T = \{f(\mu_{max(T)})\} \cdot \left\{ \frac{I - f(I_o(T))}{(I - f(I_o(T))) + (f(K_I(T)) - f(I_o(T)))} \right\} \cdot \left\{ \frac{NO_3}{f(K_{NO3(T)}) + NO_3} \right\}$$

植物プランクトンに着目した実験等に係る検討

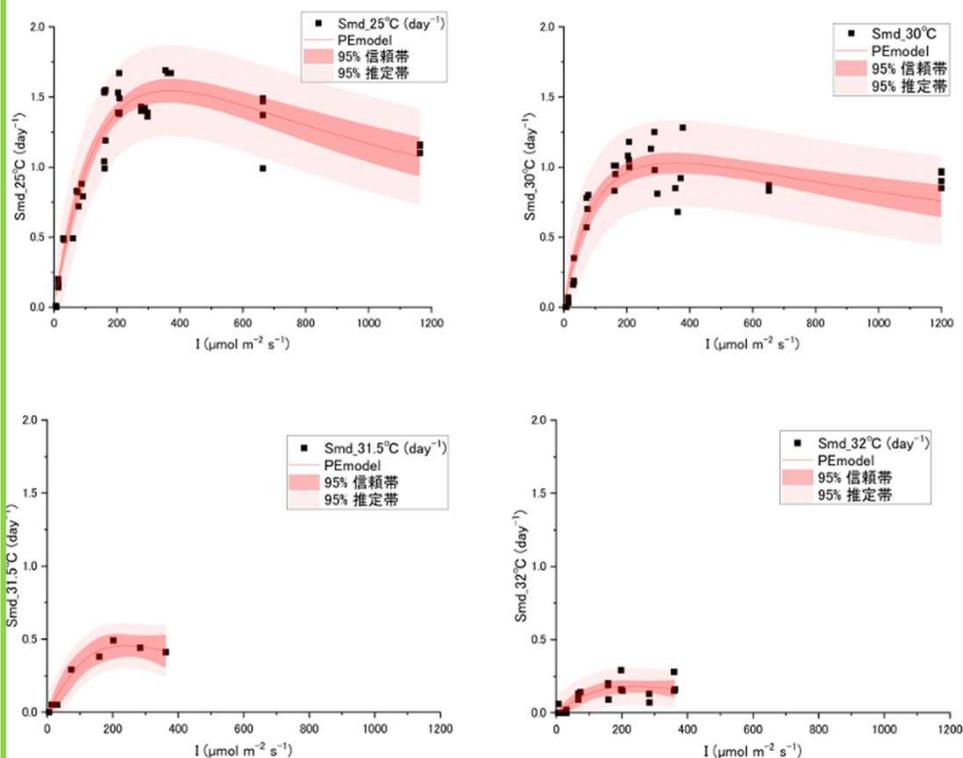
○ 長期的な硝酸態窒素の低下よりも、むしろ水温や透明度の上昇によって、ユーカンピアの優占化が生じやすくなることが示唆された。



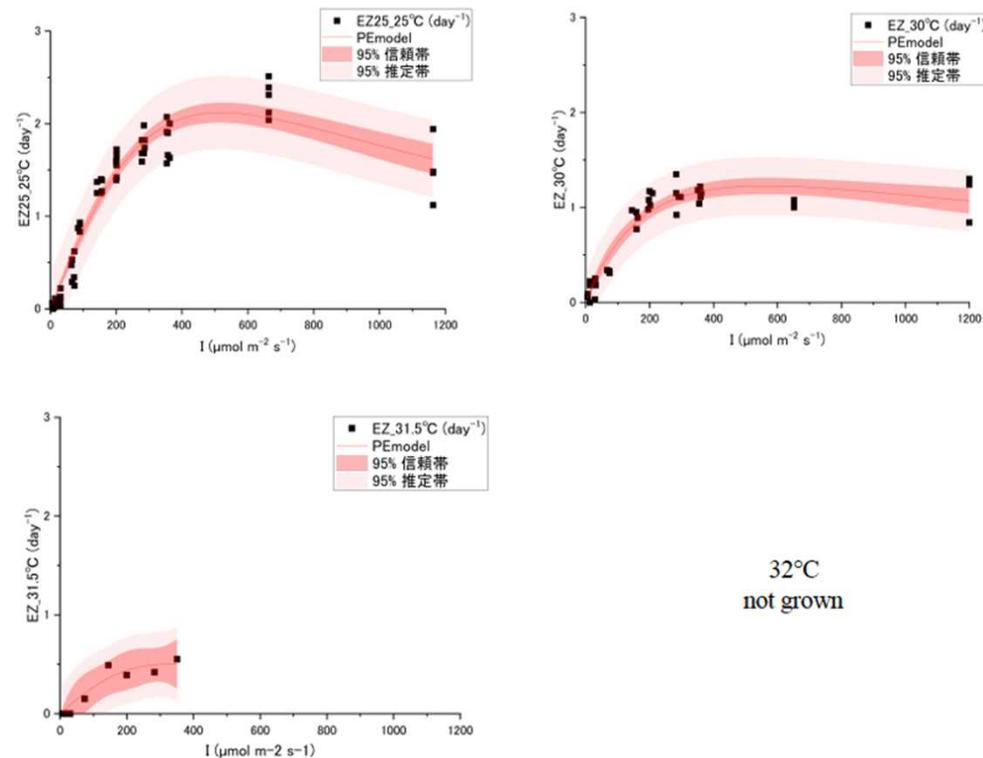
植物プランクトンに着目した実験等に係る検討

- 水温32℃の高温条件においては、スケルトネマの増殖はみられたが、ユーカンピアの増殖はみられなかった。水温32.5℃になると、両種とも増殖はみられなかった。
- スケルトネマは水温10、25、30℃では664 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ から比増殖速度の低下がみられた一方、ユーカンピアは水温10、30℃では664 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ から、25℃では1163 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ から比増殖速度の低下が見られた。

スケルトネマ

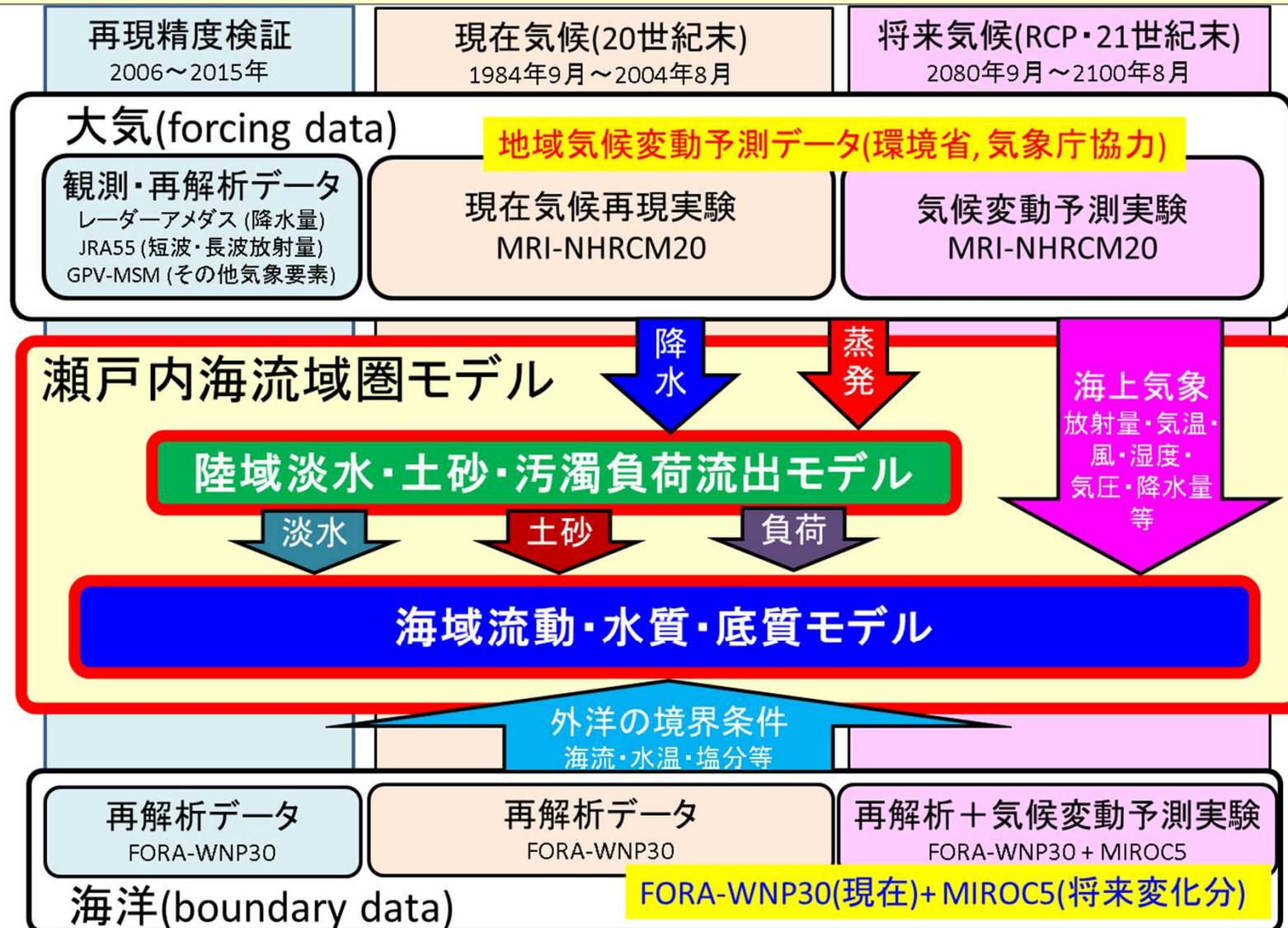


ユーカンピア



気候変動の将来予測及び影響評価に係る検討

- 瀬戸内海の集水域全体を3次メッシュ(1km)で解析する陸域淡水汚濁負荷量流出モデルと植物プランクトンの増殖特性を考慮した海域の流動・水質・底質モデルを組み合わせたモデルを構築。
- 瀬戸内海における気候変動や気候変動による水質への影響について、本モデルに、RCPシナリオ※を前提としたMRI-NHRCM20による気候予測情報を用い、2080～2100年の将来予測を実施。



※ RCPシナリオには、RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5がある。この数値が大きいほど2100年までの温室効果ガス排出量が大きく、将来的な気温上昇量が大きくなる。なお、RCP8.5は政策上緩和策を行わないことを想定、RCP2.6は産業革命以降の温暖化2℃以下に抑えることを想定したシナリオ。

気候変動の将来予測及び影響評価に係る検討

- RCP8.5では、年間を通じて3~4°C程度昇温する。
- RCP8.5では、瀬戸内海の中央部や奥部では8月の平均水温が30°Cを超える。

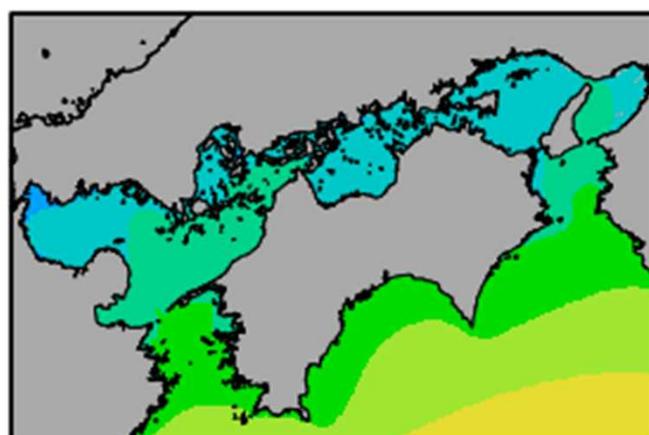
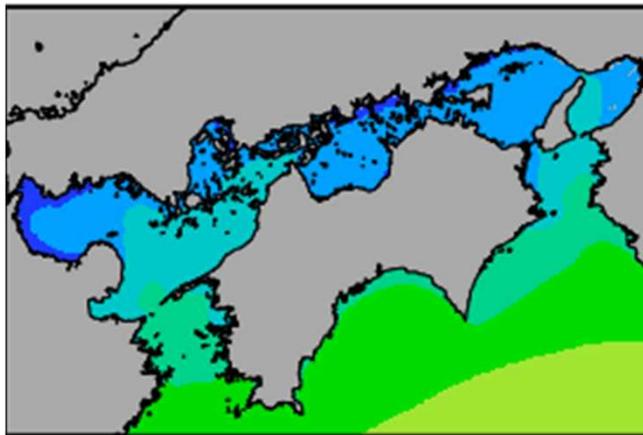
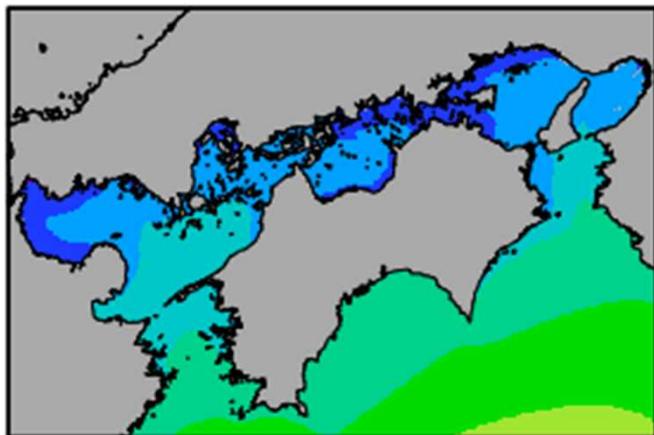
表層水温

現在気候

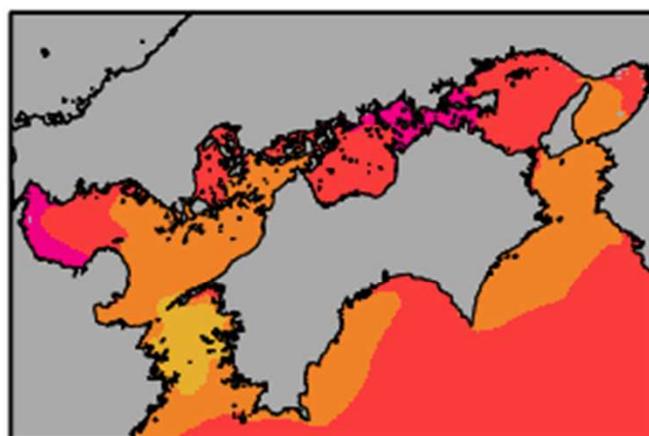
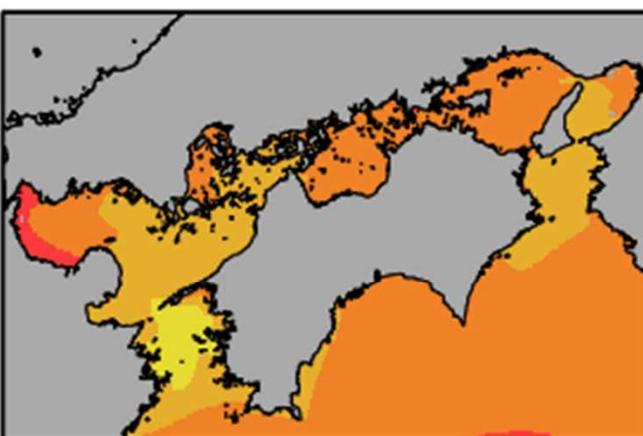
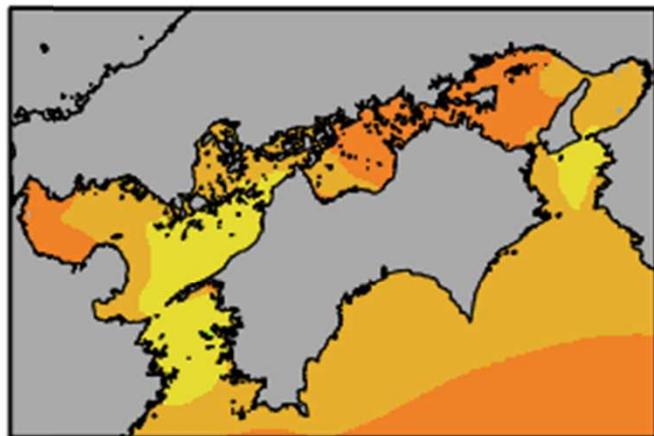
RCP2.6.

RCP8.5.

2月



8月



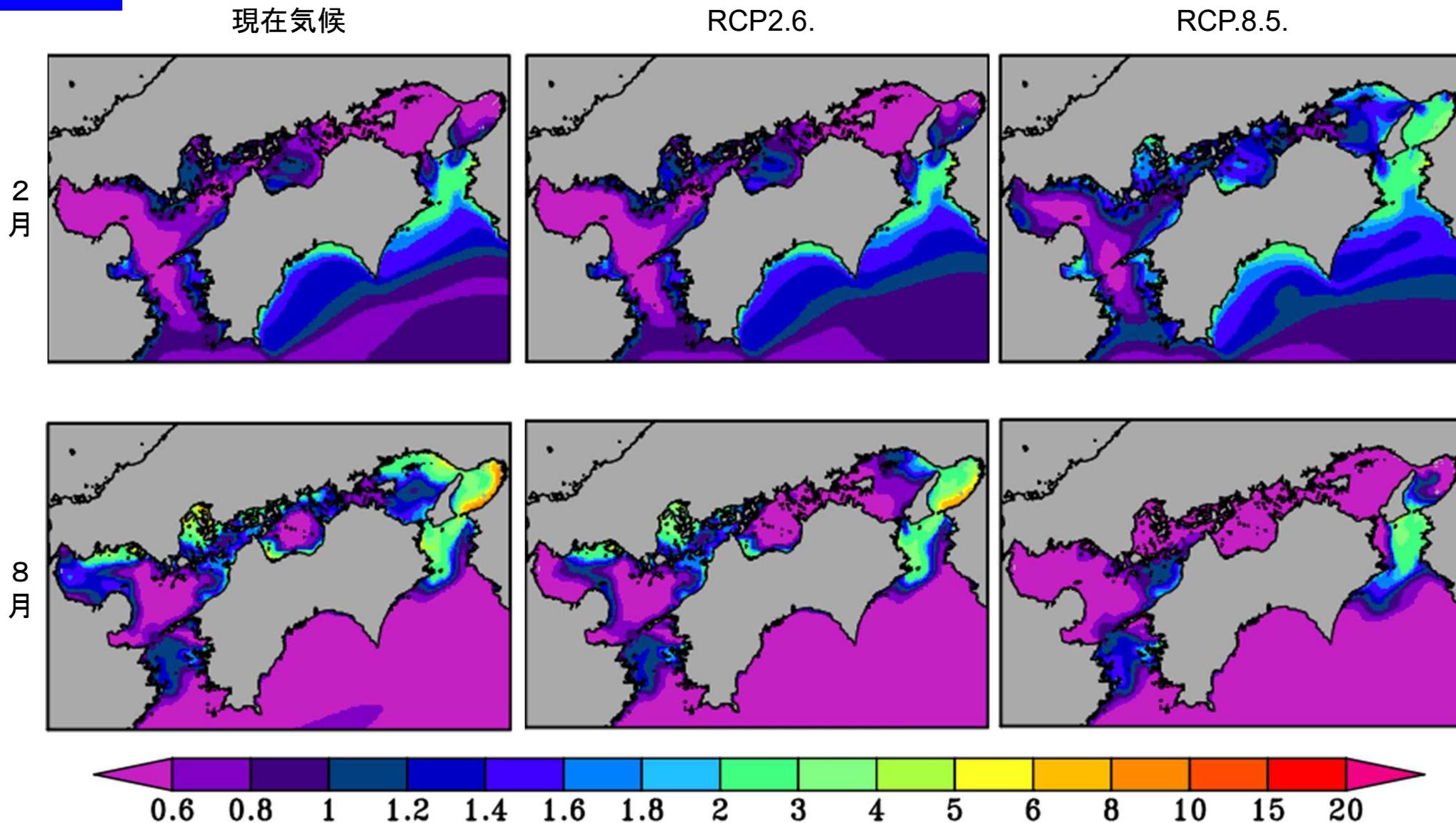
表層水温 (°C)

5 7.5 10 12.5 15 17.5 20 22.5 25 27.5 30 32.5

気候変動の将来予測及び影響評価に係る検討

○ 将来的な気温上昇量が大きいRCPシナリオほど、特にRCP8.5では、冬の表層Chl.aは増加する。夏～秋の表層Chl.aは、瀬戸内海の中央部や奥部を中心に低下する。

表層Chl.a

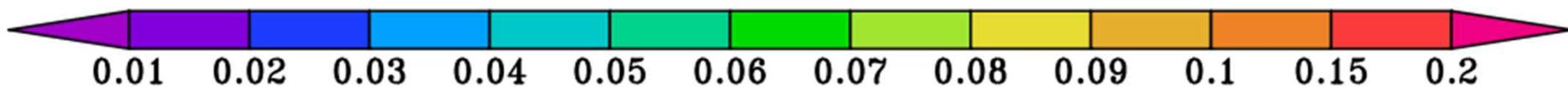
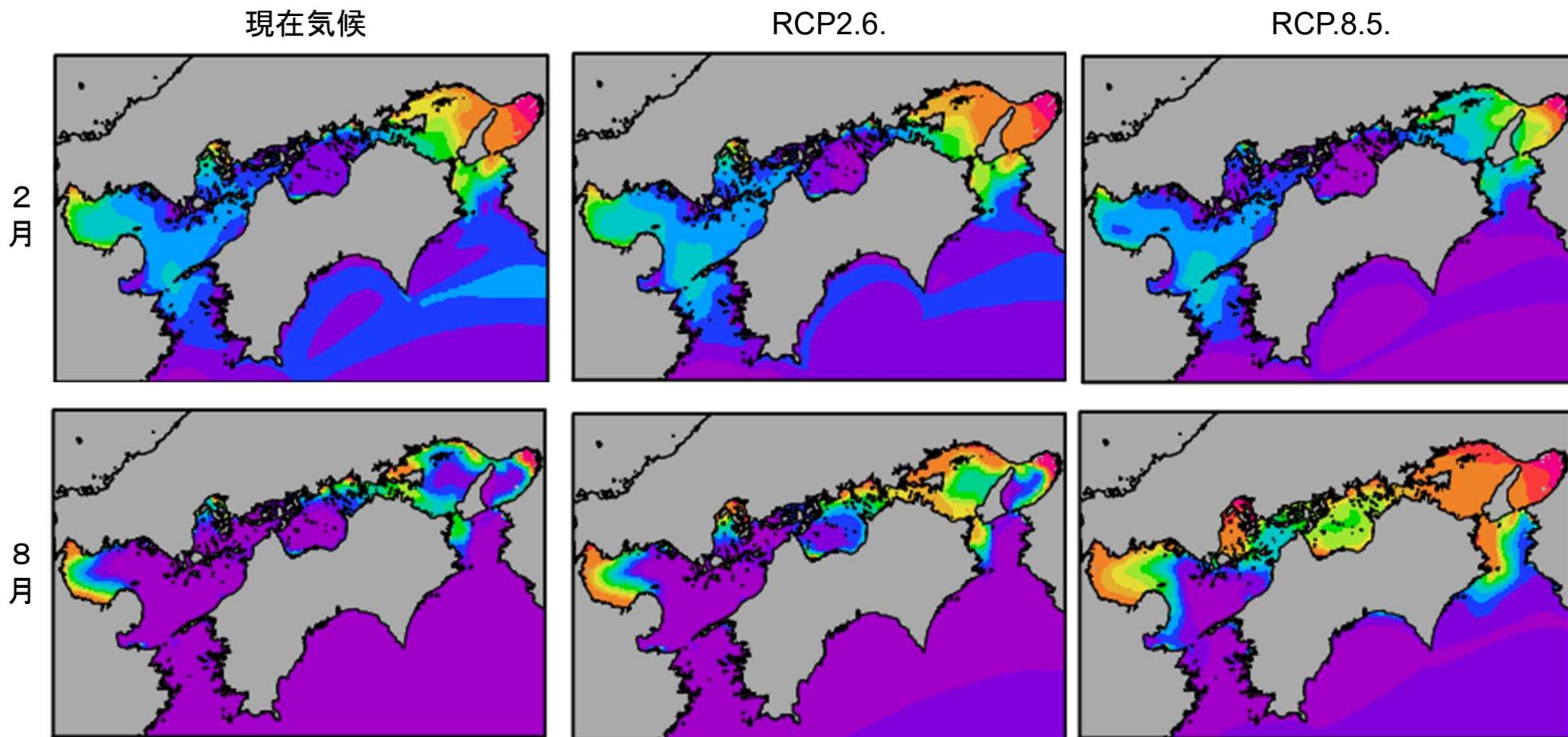


表層Chl.a(mg/m³)

気候変動の将来予測及び影響評価に係る検討

○ 将来的な気温上昇量が大きいRCPシナリオほど、特にRCP8.5では、表層DINは冬に減少、夏～秋に増加する。

表層DIN



表層DIN (mg/L)

気候変動の将来予測及び影響評価に係る検討

○ 現在気候では、大阪湾の湾奥部の一部において夏に貧酸素水塊が生じているが、将来気候では、貧酸素水塊が発生する範囲が広がる傾向にあり、貧酸素水塊の発生期間が長期化する可能性がある。

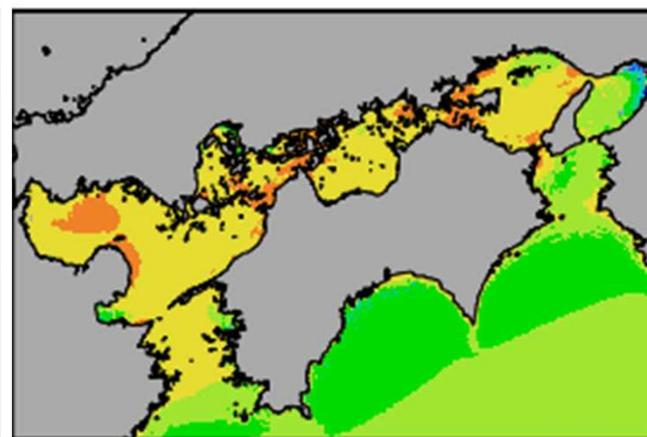
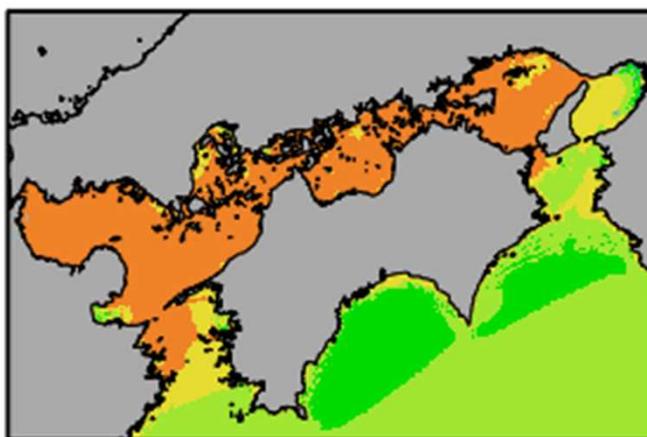
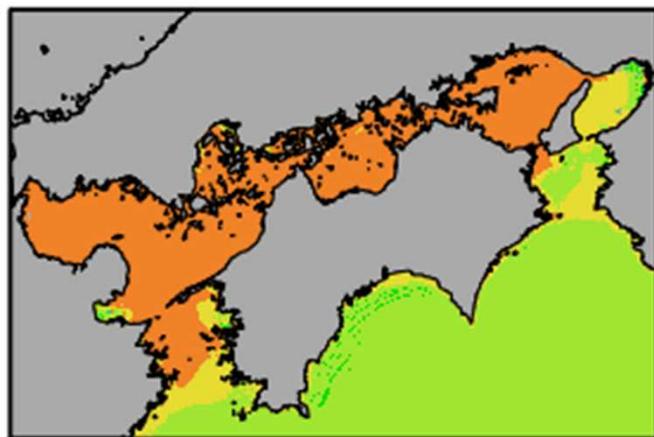
底層DO

現在気候

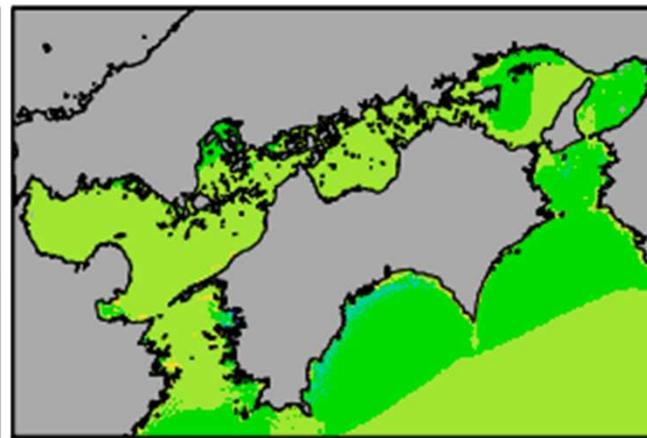
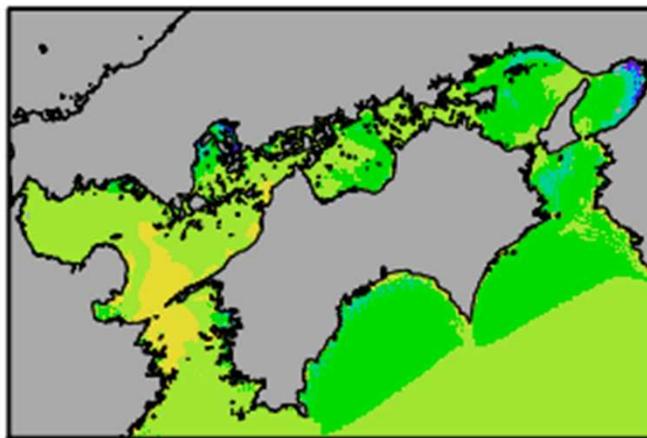
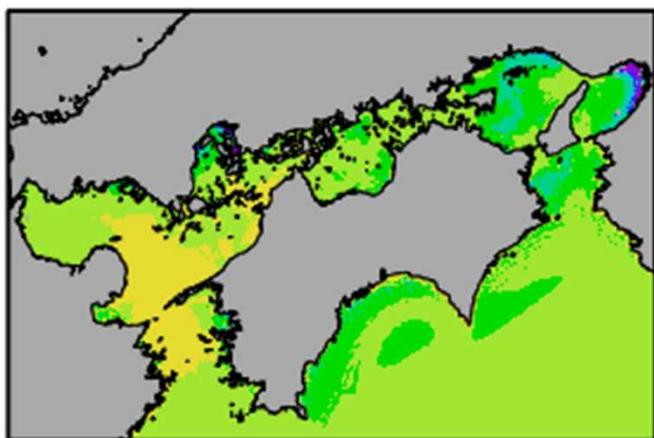
RCP2.6.

RCP.8.5.

4月



8月



底層DO(mg/L)

気候変動影響等のまとめ

■ 1 : 気候変動による影響に係るデータ分析（水温・水質）

- 瀬戸内海における海水温変動トレンドは湾・灘ごとに異なる特徴を有した。
- 瀬戸内海の多くの海域で底層を含む水温が上昇傾向にあることが明らかになった。

■ 2 : 気候変動による影響に係るデータ分析（瀬戸内海のベントス多様性）

- 底生生物の個体数と密度は広範囲で増加した。これは、底質有機物含量が低下したことが1つの要因と考えられた。

■ 3 : 植物プランクトンに着目した実験棟に係る検討

- 環境変化が両種の比増殖速度に及ぼす影響について培養実験により把握した結果、長期的な硝酸態窒素の低下よりも、むしろ水温や透明度の上昇によって、ユーカンピアの優占化が生じやすくなることが示唆された。

■ 4 : 気候変動の将来予測及び影響評価に係る検討

- IPCCの将来気候シナリオの中で、将来的な気温上昇量が大きいRCPシナリオほど、特にRCP8.5では、現在気候に比べ、夏～秋における表層Chl. aの低下、冬の表層DIN濃度の減少や、夏の貧酸素水塊の長期化がみられた。

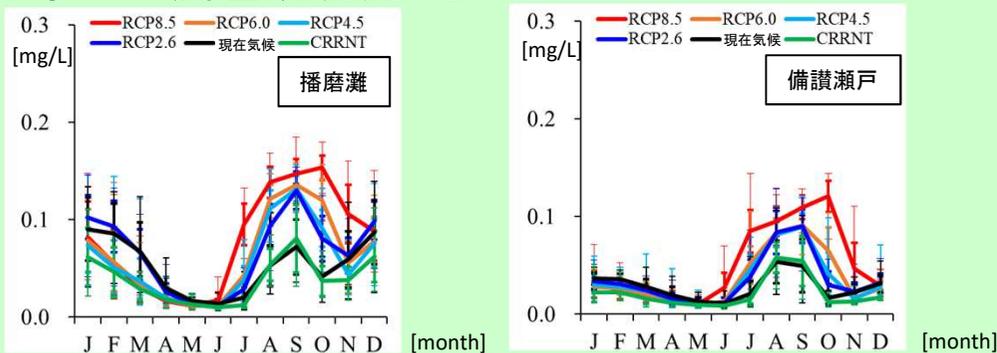
気候変動適応に係る検討

- 季節ごとや湾・灘ごと、更には湾・灘内の特定の海域によって、気候変動による水環境への影響が異なる。
- このため、瀬戸内海の環境保全に関する施策は、気候変動への適応策を組み込むため、より湾・灘等の実情に応じて実施できるようにする必要な措置を講じることにより、総合的かつ計画的に推進されることが必要。

播磨灘・備讃瀬戸等

<気候変動影響>

● 冬季の栄養塩類濃度減少



● 水温の上昇等による植物プランクトンの種組成の変化

小型種 大型珪藻 (Eucampia属)



栄養塩類を巡る競争

養殖ノリ等の色落ち被害が発生

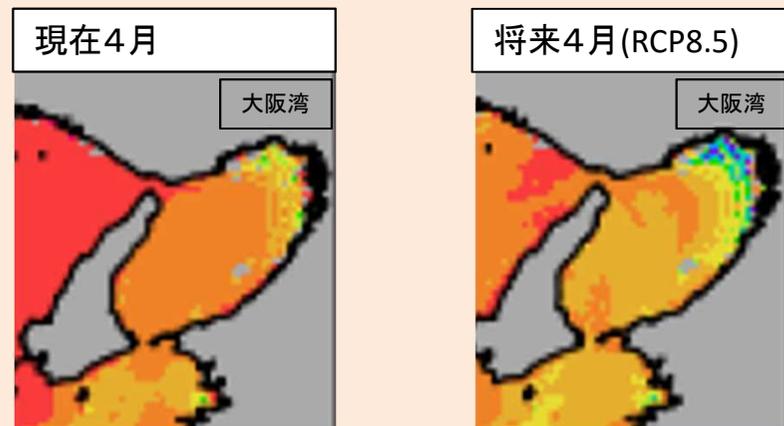
<適応策>

- きめ細やかな栄養塩類等管理の推進 等
- ⇒ 栄養塩類管理の手順の明確化等一定のルール化

大阪湾等

<気候変動影響>

● 貧酸素水塊発生期間の長期化



<適応策>

- 藻場・干潟の保全・再生・創出
- ⇒ 自然海浜保全地区の指定対象の拡充
- 底質改善・流況改善 等