

伊勢湾の水質と生態系の長期的変化と その要因、及び、 豊かな海の機構解明に関する 三重県との共同研究について

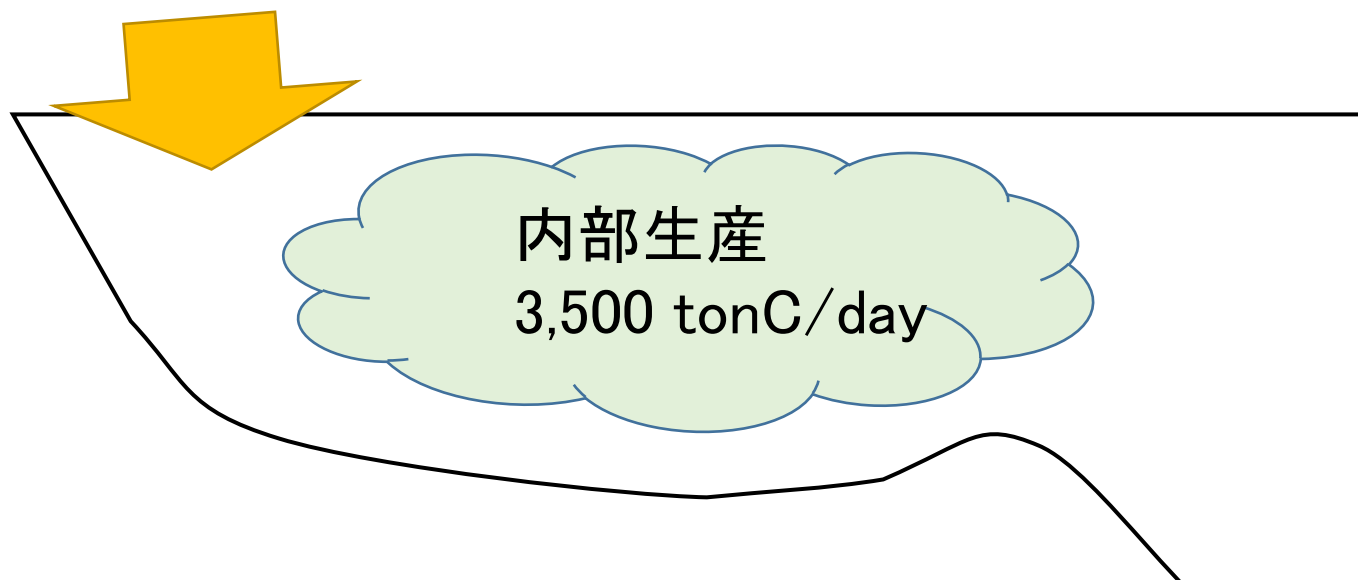
**四日市大学環境情報学部
客員教授 千葉賢**

令和7年7月15日 豊かで美しい三重の海づくり調査特別委員会にて

1. 内部生産と陸域負荷の関係

伊勢湾への陸域負荷量と内部生産量の比較

陸域COD負荷量(現状) $150\text{tonO}_2/\text{day} \div 150\text{tonC}/\text{day}$



純基礎生産 $1.4\text{gC}/\text{m}^2 \times \text{伊勢湾面積} 2500\text{km}^2 = 3,500 \text{ tonC}/\text{day}$

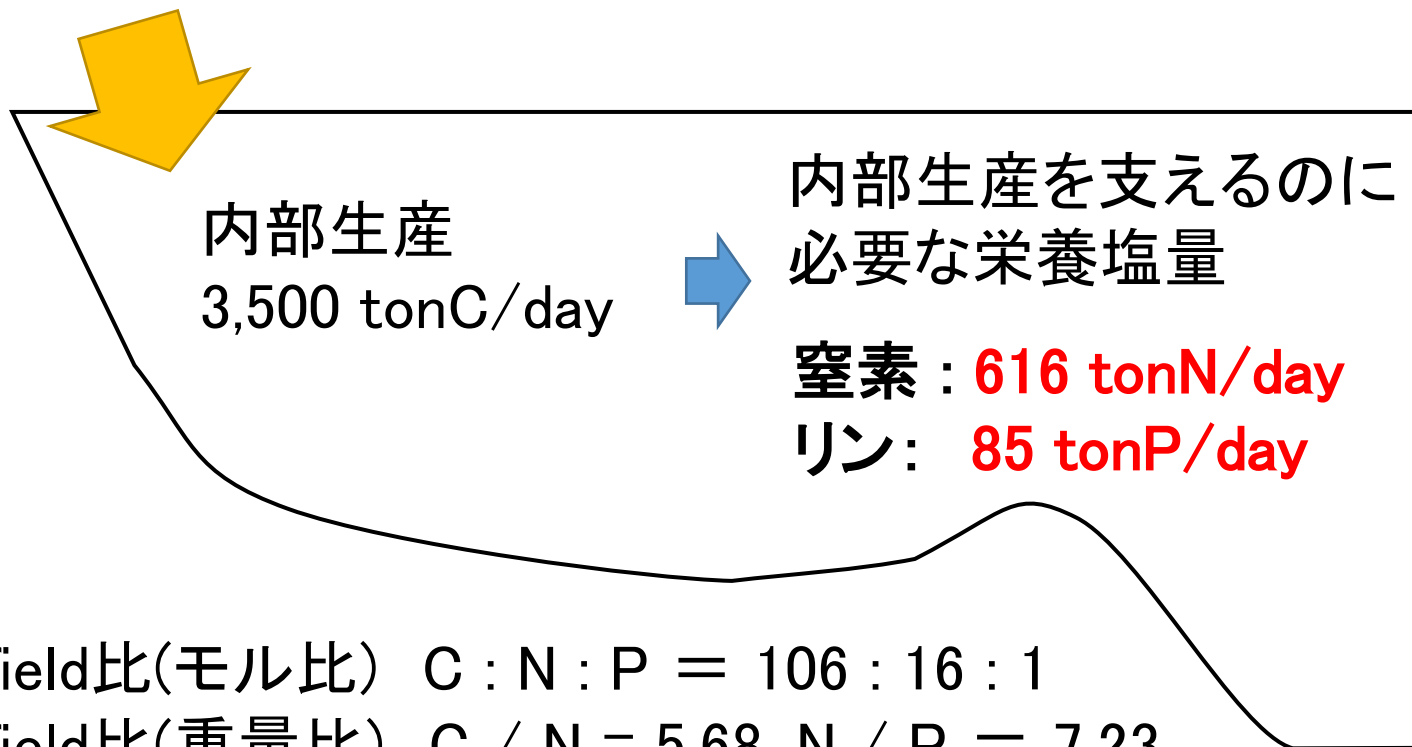
純基礎生産 $1.4\text{gC}/\text{m}^2$ の根拠: 西条八束ら、伊勢湾・三河湾の水質と基礎生産、沿岸海洋研究ノート、第16巻、第1号、1978



陸域からの有機物負荷量は内部生産の4%程度に過ぎない。

伊勢湾の内部生産に必要な栄養塩量

陸域NP負荷量(現状) 110 tonN/day, 8 tonP/day



Redfield比(モル比) $C : N : P = 106 : 16 : 1$

Redfield比(重量比) $C / N = 5.68, N / P = 7.23$

陸域からの栄養塩量では内部生産を維持できない

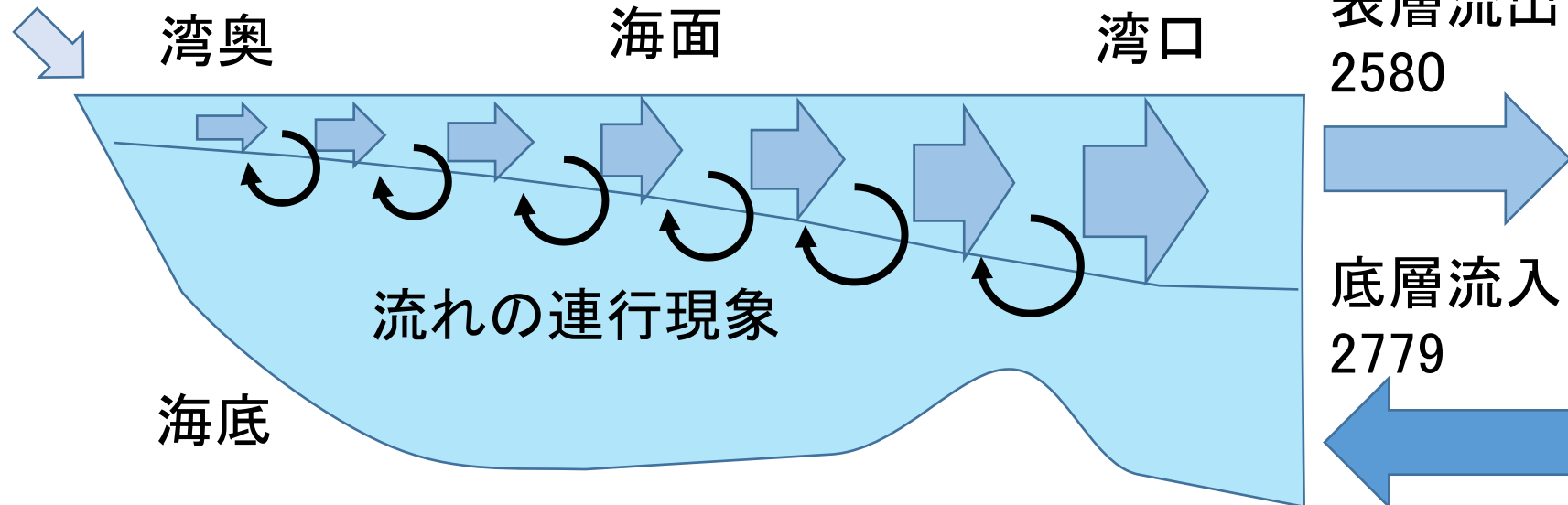
伊勢湾の水収支

(三重県水産研究所の塩分データを用いたボックスモデルの計算結果)

河川水流入

219

単位: 億 m^3 /年

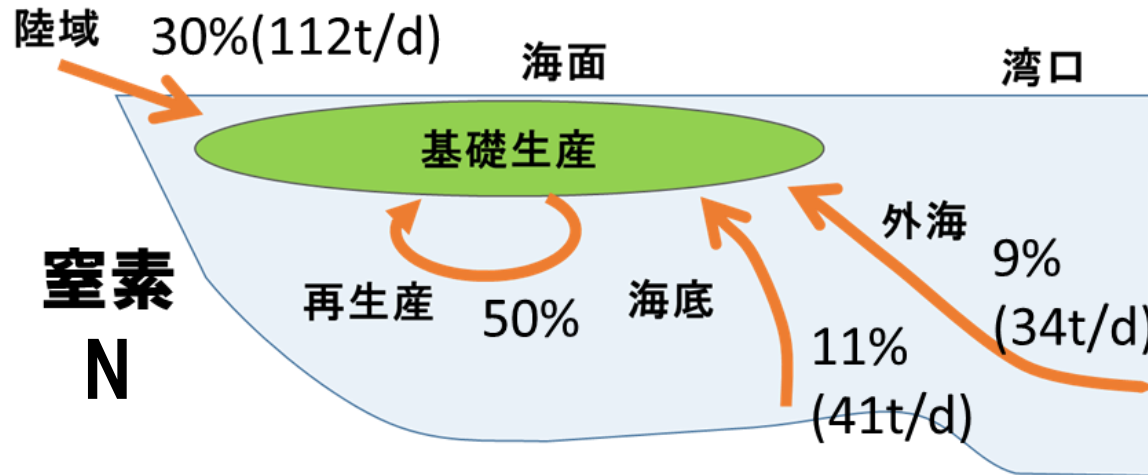


伊勢湾容積 356億 m^3

伊勢湾の海水交換率 7.2 回/年

河川水の10倍以上の海水が外海から流入する。外海の栄養塩濃度は低いが、流量が大きいので湾に流入する栄養塩量も大きなものとなる。

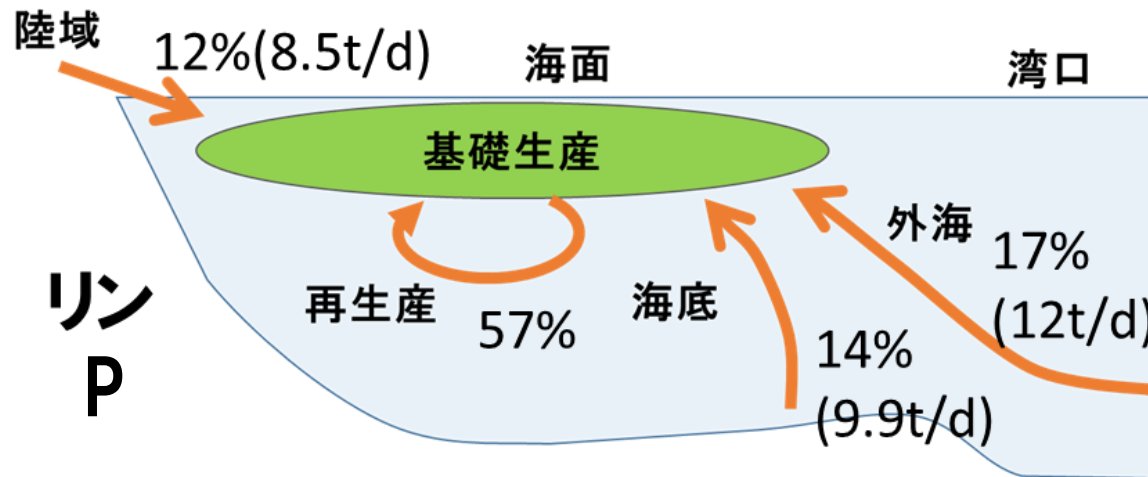
伊勢湾の内部生産が維持される仕組み



2010年を対象とした
数値シミュレーション結果

基礎生産に使われたN総量
=374tonN/day

外海負荷量/陸域負荷量
=0.30 (= 34/112)



基礎生産に使われたP総量
=71tonP/day

外海負荷量/陸域負荷量
=1.41 (= 12/8.5)

伊勢湾の内部生産には外海・海底からのNPと、再生産NPの寄与が大きい

出典: S.Chiba, et al., Field Survey for Refractory Organic Matter Quantity in the Marine Sediment of Ise Bay and Evaluation of its Effect on the Persistency of Hypoxic Water Generation, Proc. Int. Conf. "Managing risks to coastal regions and communities in a changing world", 2016

1の主要点

- ① **(内部生産量の大きさ)** 内部生産される有機物量は陸域から流入する有機物量に比べて遥かに多い(1桁大きい)。
- ② **(内部生産に必要な栄養塩の由来)** 内部生産には陸域由来と外海由来と再生産される栄養塩が利用される。陸域負荷だけで内部生産量が決まるわけではない。
- ③ **(外海からの栄養塩負荷)** コンピューターシミュレーションによれば、外海負荷量と陸域負荷量の比率は、窒素が0.30倍、リンが1.41倍で、リンは外海からの負荷量の方が多い。

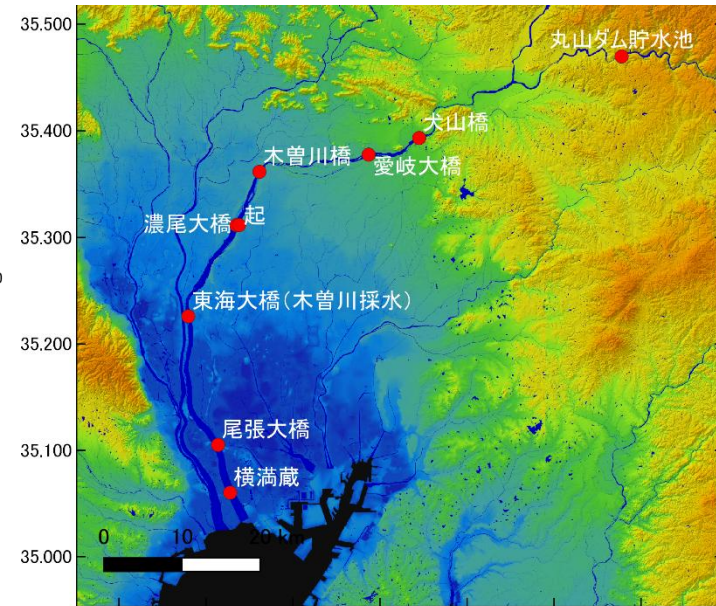
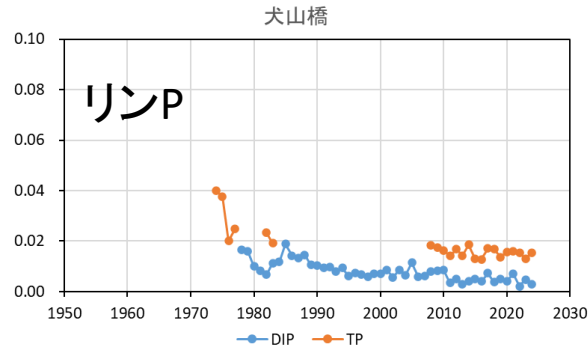
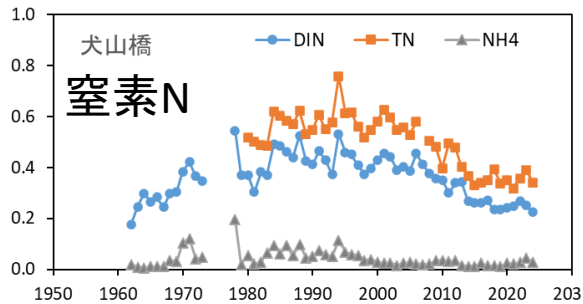
2. 陸域負荷量の推移

木曽川・長良川・揖斐川のNP濃度

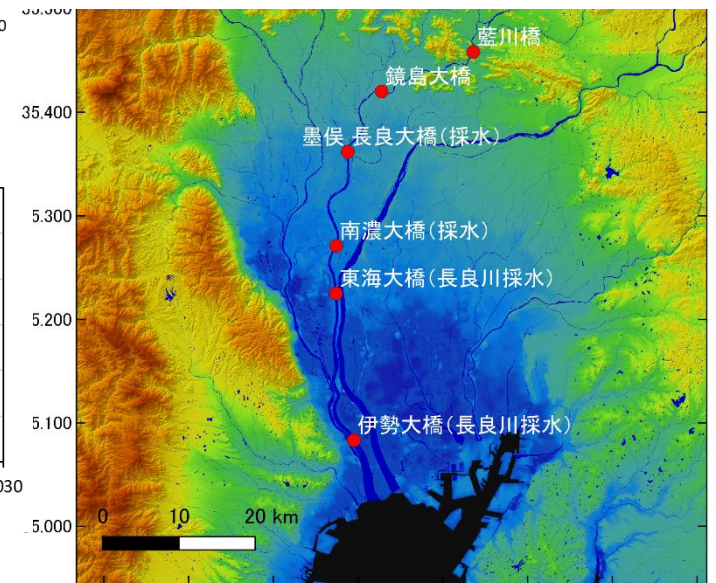
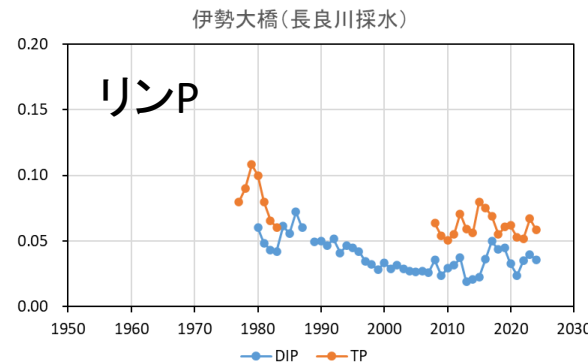
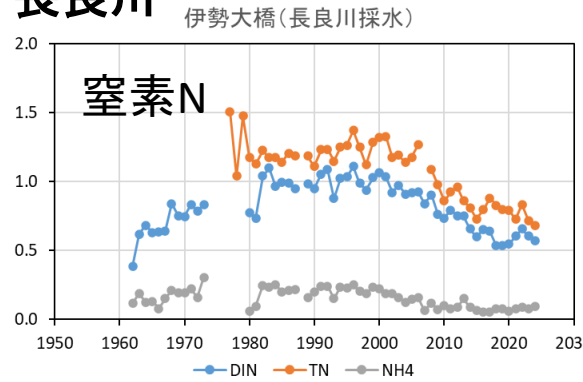
濃度単位: mg/L

公共用水域水質調査結果

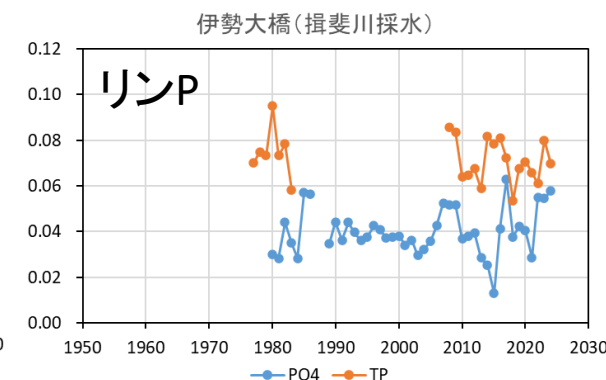
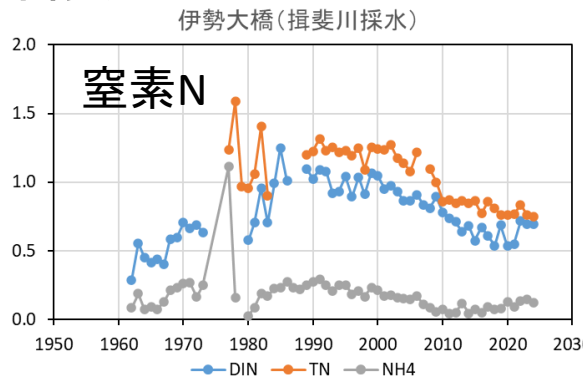
木曽川



長良川



揖斐川



木曽三川の2020年代の窒素濃度は1960年代と同程度

愛知県・三重県一級河川のNP濃度

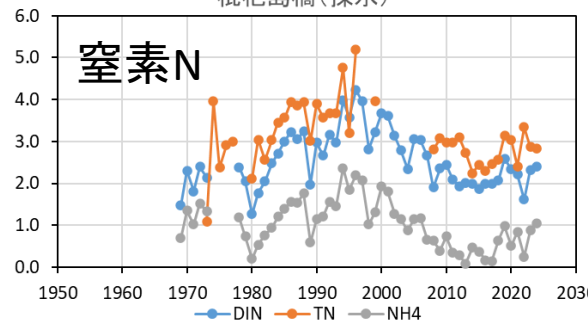
濃度単位:mg/L

公共用水域水質調査結果

庄内川

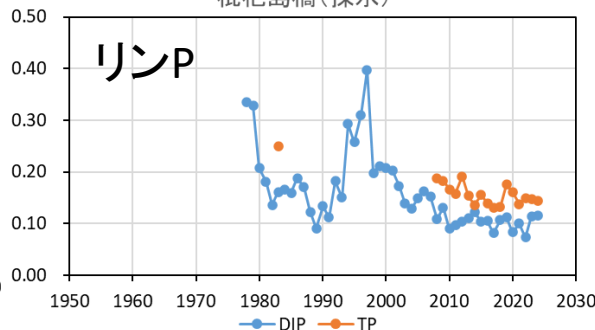
枇杷島橋(採水)

窒素N



枇杷島橋(採水)

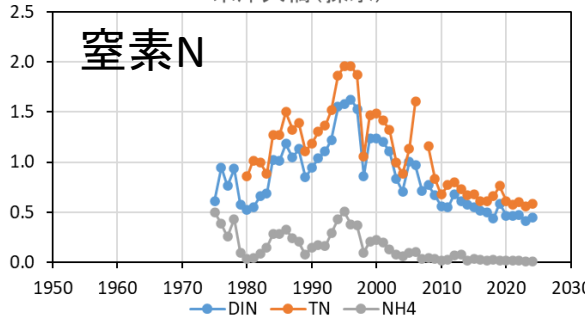
リンP



矢作川

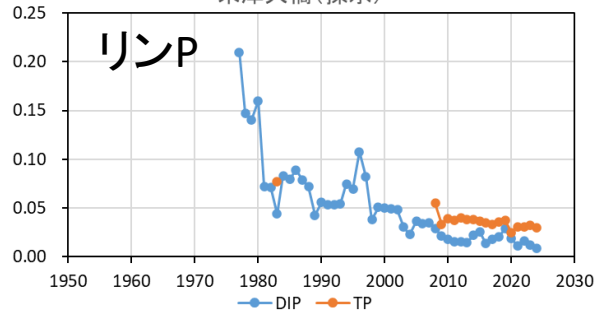
米津大橋(採水)

窒素N



米津大橋(採水)

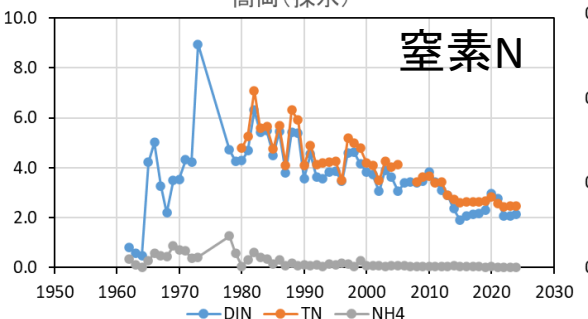
リンP



鈴鹿川

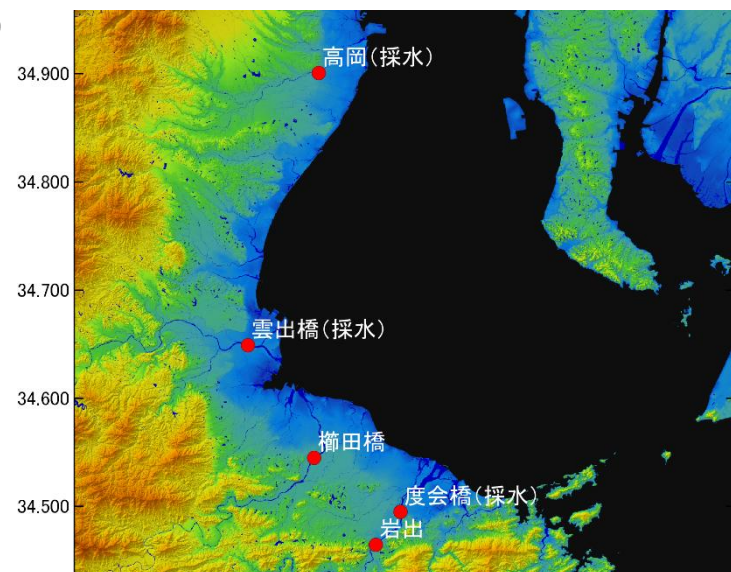
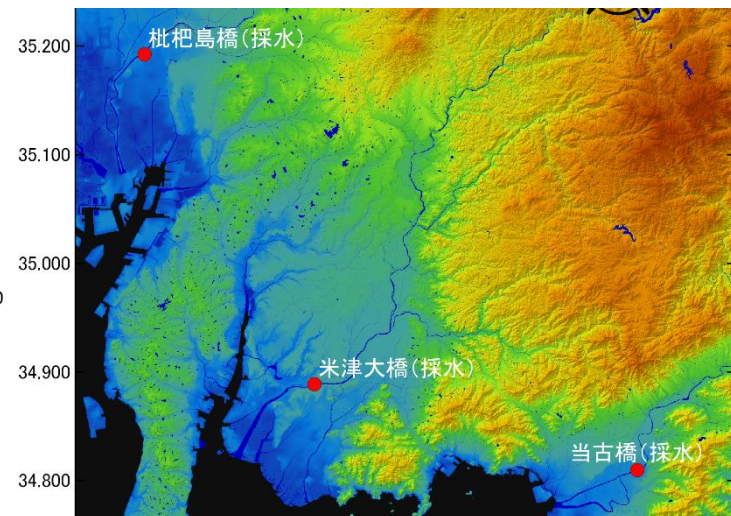
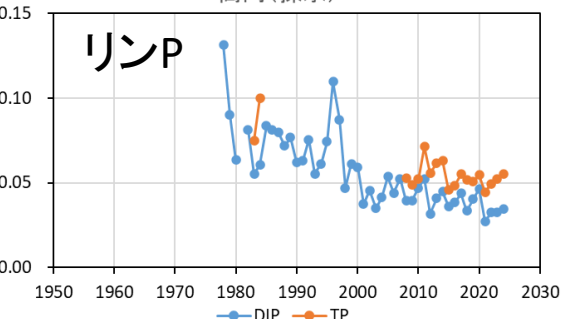
高岡(採水)

窒素N



高岡(採水)

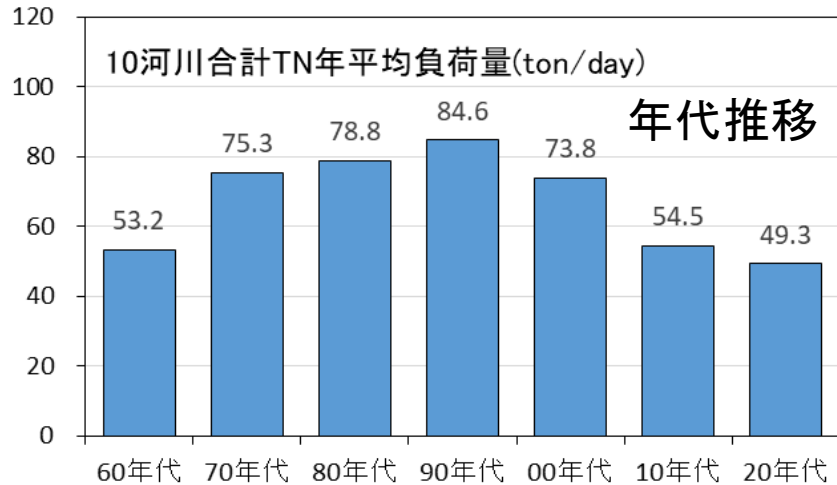
リンP



愛知県・三重県の一級河川の2020年代の窒素濃度も
1960年代と同程度

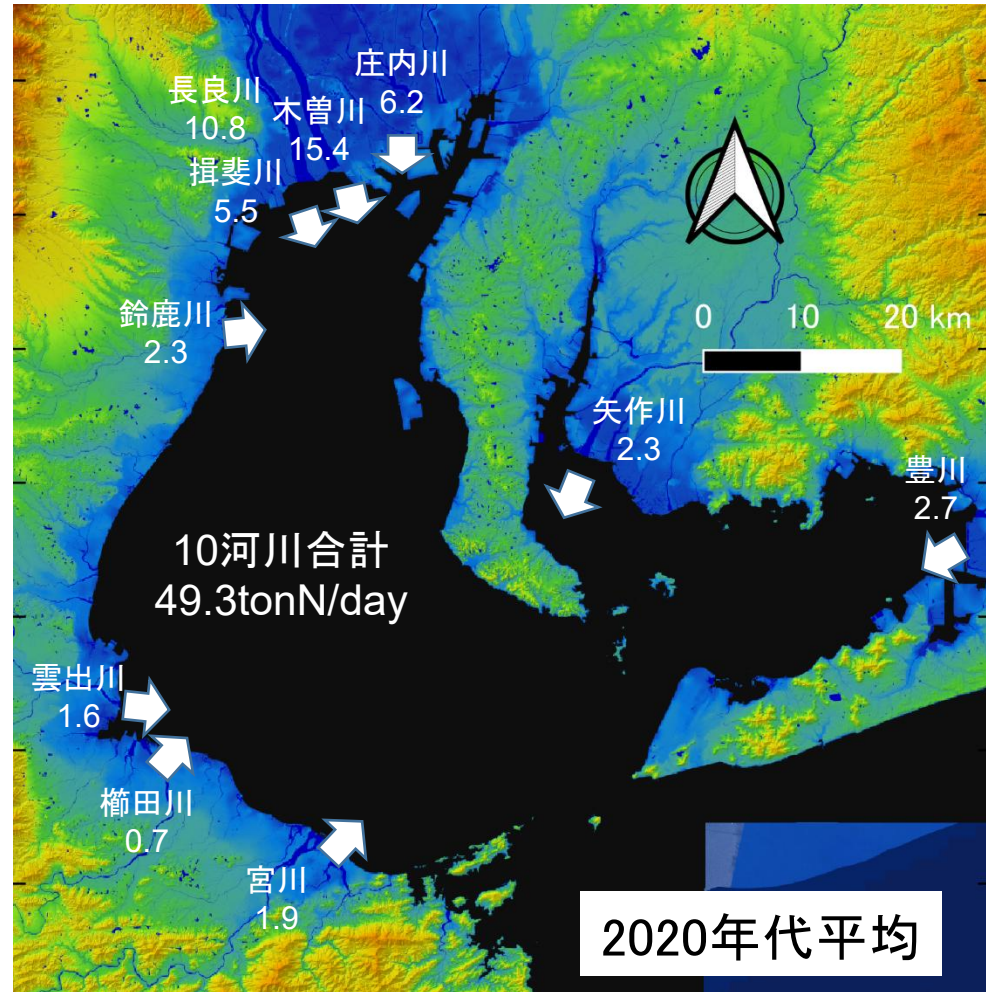
一級河川の全窒素負荷量

全窒素負荷量＝全窒素濃度（公共用水域水質調査）× 流量（国交省水文水質データベース）



負荷量計算に用いた測点

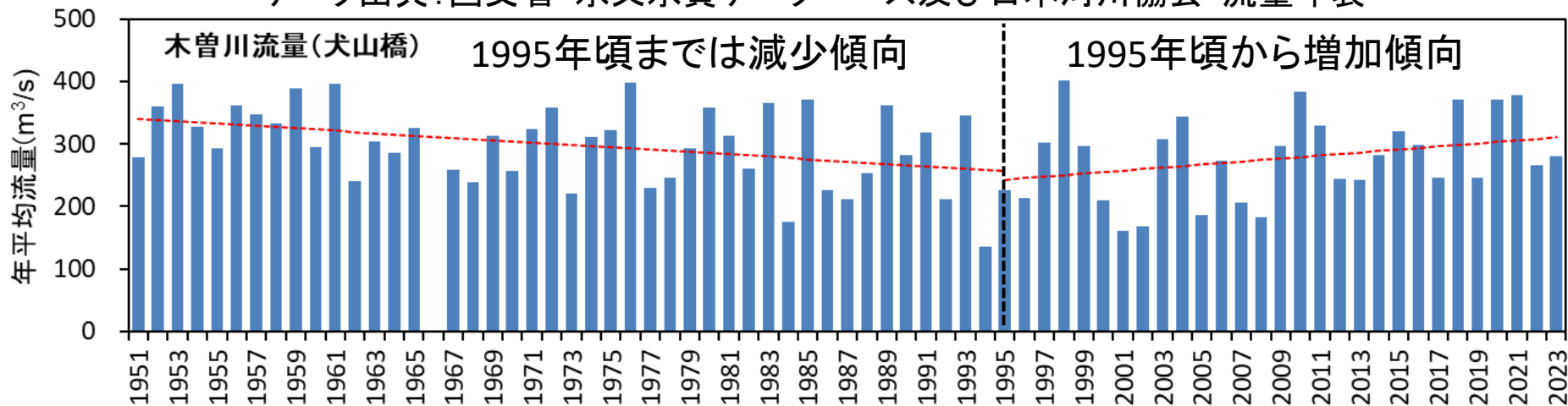
河川名	水質測点	流量測点
木曽川	犬山橋	起
長良川	伊勢大橋	墨俣
揖斐川	伊勢大橋	万石
庄内川	枇杷島大橋	枇杷島
矢作川	米津大橋	米津
豊川	当古	当古
鈴鹿川	高岡	高岡
雲出川	雲出川橋	雲出川橋
櫛田川	櫛田橋	櫛田橋
宮川	渡会橋	岩出



1級河川による2020年代の全窒素負荷量は1960年代と同程度

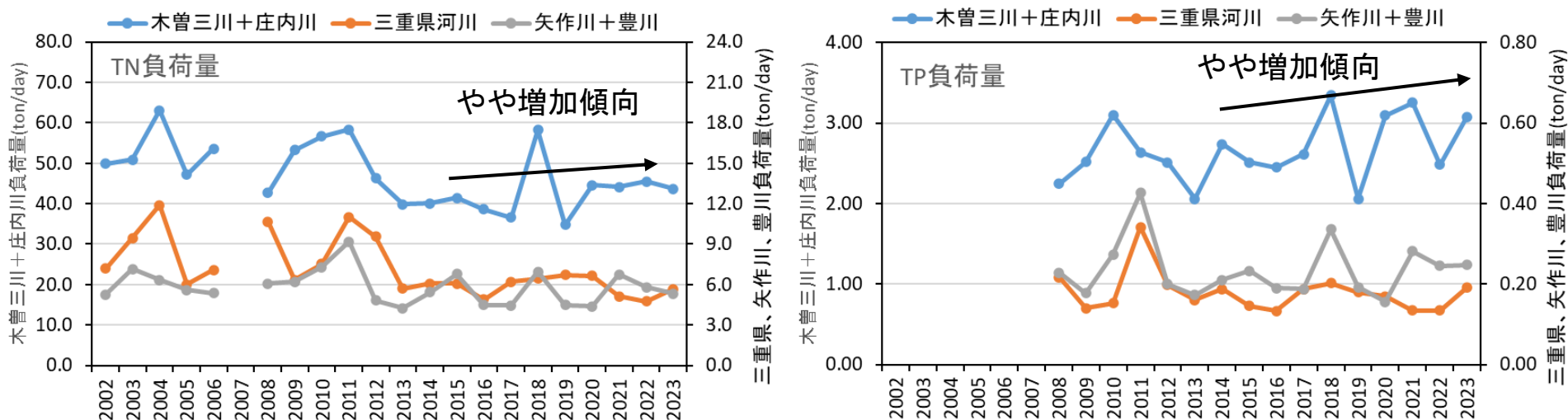
木曽川流量の長期的変化

データ出典：国交省・水文水質データベース及び日本河川協会・流量年表



2000年代以降の一級河川からの負荷量

データ出典：国交省・水文水質データベース及び公共用水域水質調査結果



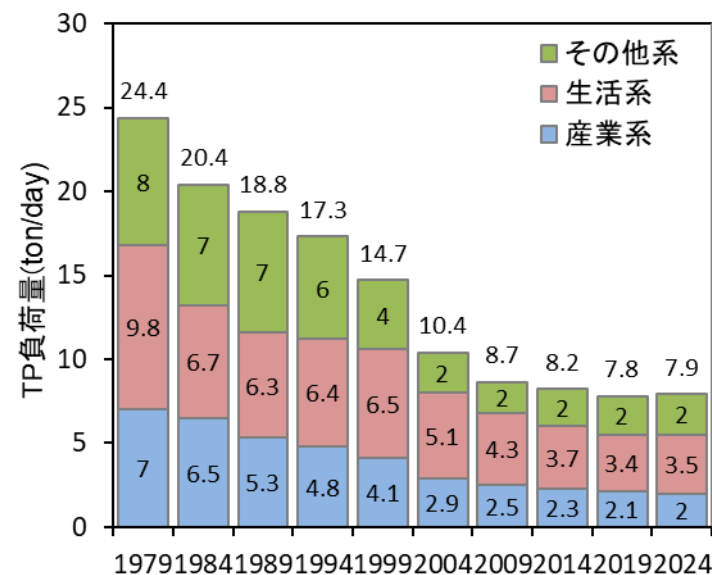
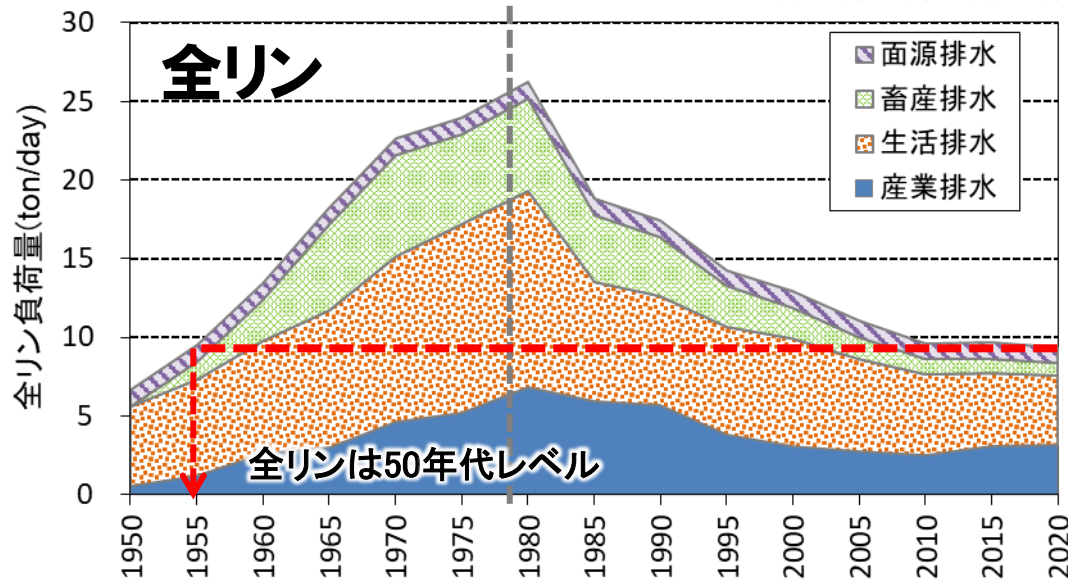
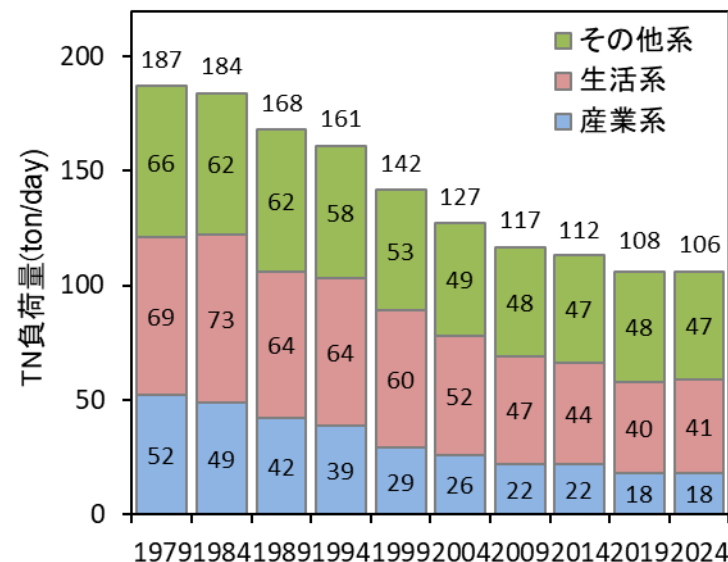
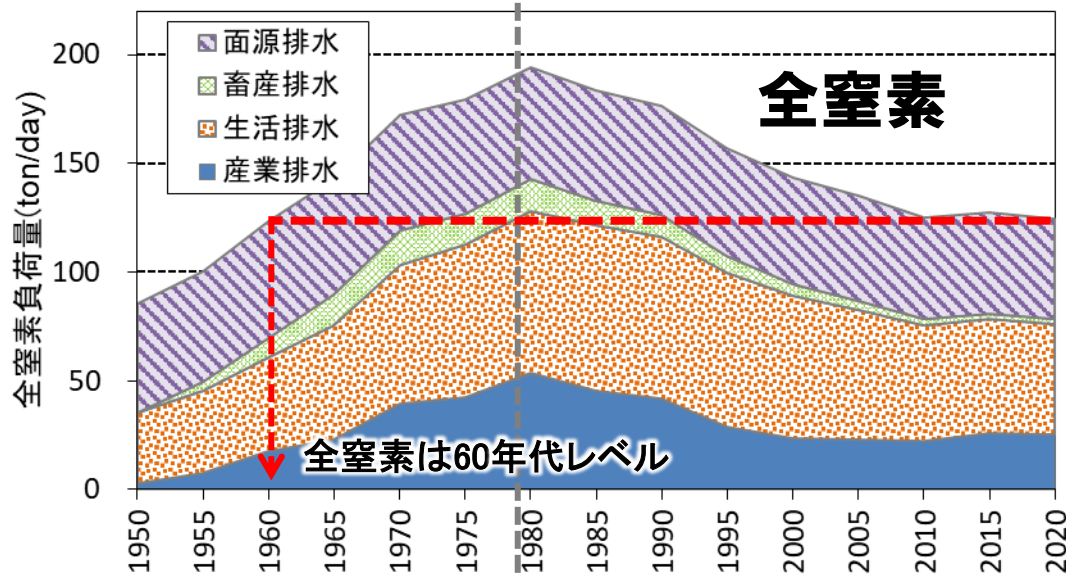
最近の10年間(2014~2023)の一級河川からのTNとTPの負荷量はやや増加傾向にある。

1950年からの陸域負荷量(栄養負荷量)

原単位法による計算値

→ 水質総量規制

国の公表値



原単位法データ:「千葉賢、四日市大学環境情報論集、第19巻、第1号、平成28年」に2015と2020年のデータを加えた

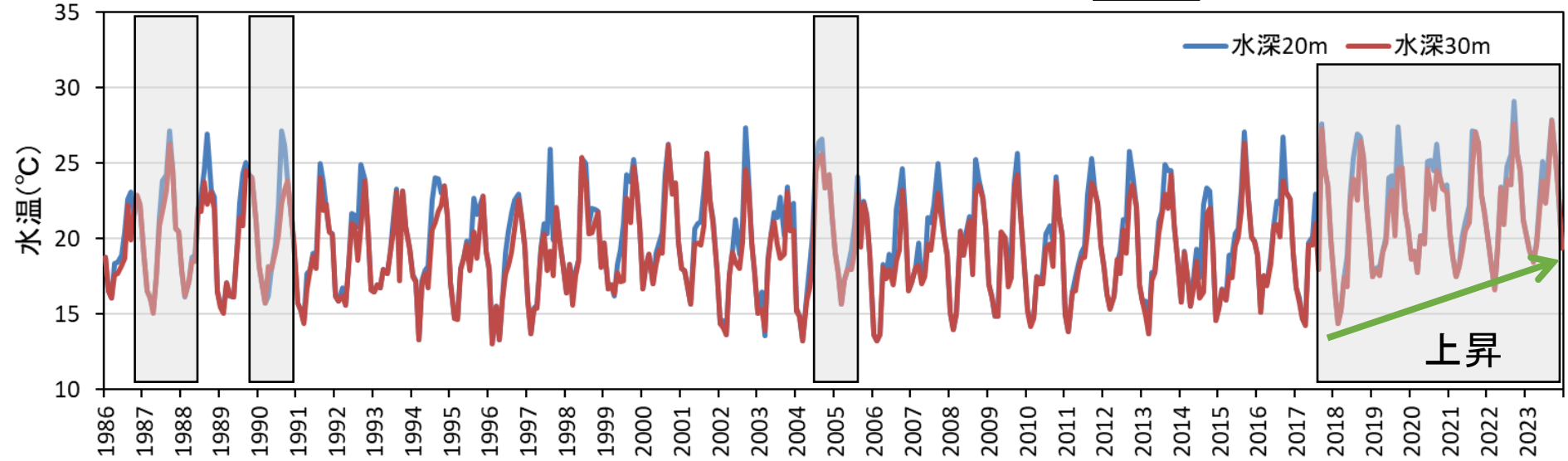
2の主要点

- ①（**豊かな海の時代の陸域負荷量**） 豊かな海が存在していた1960年以前の栄養塩の陸域負荷量は2020年代と同程度か、さらに少なかった可能性がある。
- ②（**貧相な海と陸域負荷の関係**） 現在の伊勢湾の生態系の貧相化は、陸域負荷量の減少だけでは説明できない。
- ③（**近年の陸域負荷量の実**） 最近10年間の一級河川からの全窒素と全リンの負荷量は減少傾向にはない。海域表層の栄養塩減少の原因は他にある。

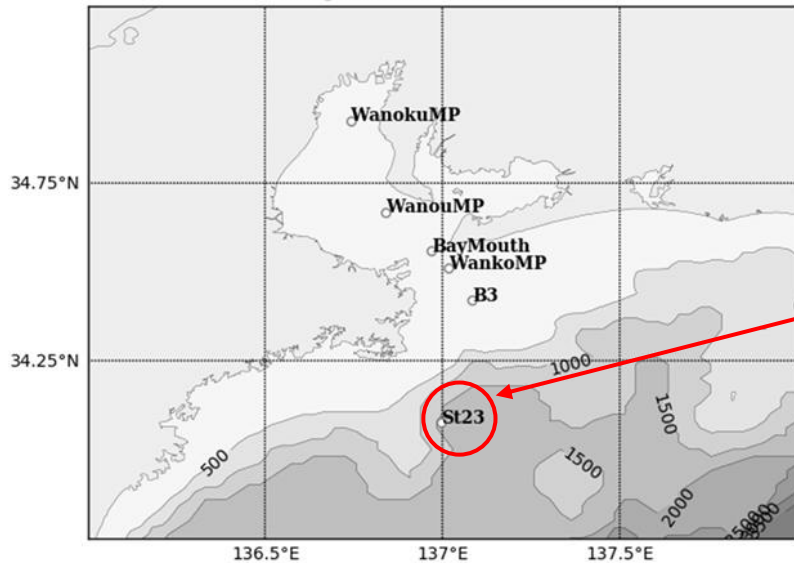
3. 伊勢湾内外の水質の特徴と推移

熊野灘St.23測点の水温の長期変化

黒潮大蛇行の期間

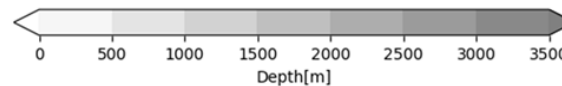


Monitoring Posts & Stations for Evaluation



黒潮大蛇行の始まった2017年後半から2023年末までに、水深20m層の冬季の水温は約2.4°C、夏季の水温は約1.5°C上昇した。

三重県水産研究所
熊野灘沿岸定線観測
St.23

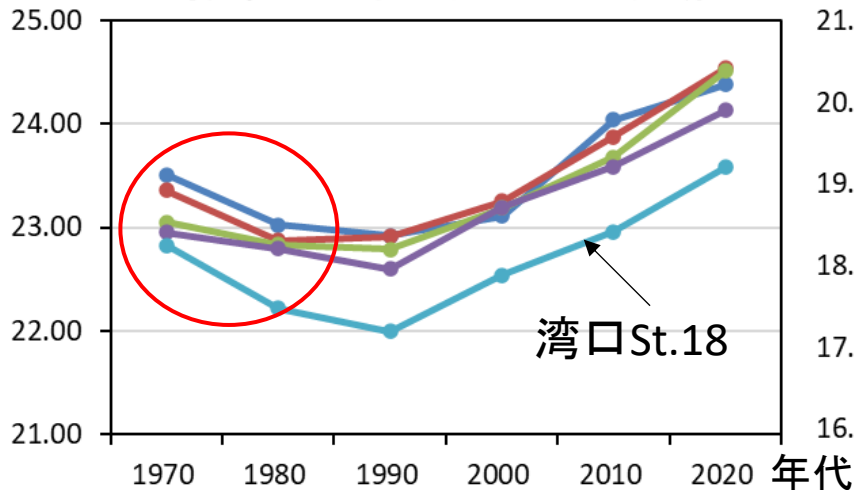


データ出典：三重県水産研究所

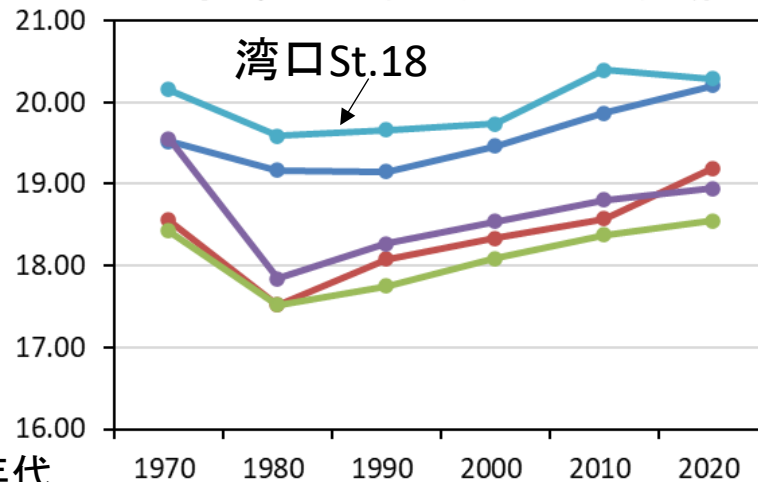
伊勢湾内の水温の年代変化

データ出典: 三重県水産研究所

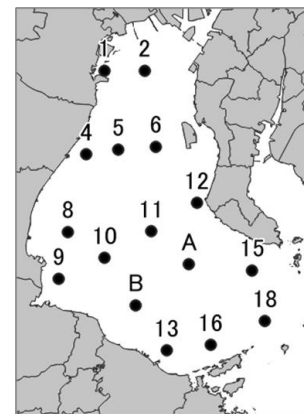
海面直下の水温(°C) 5-10月期



海底直上の水温(°C) 5-10月期

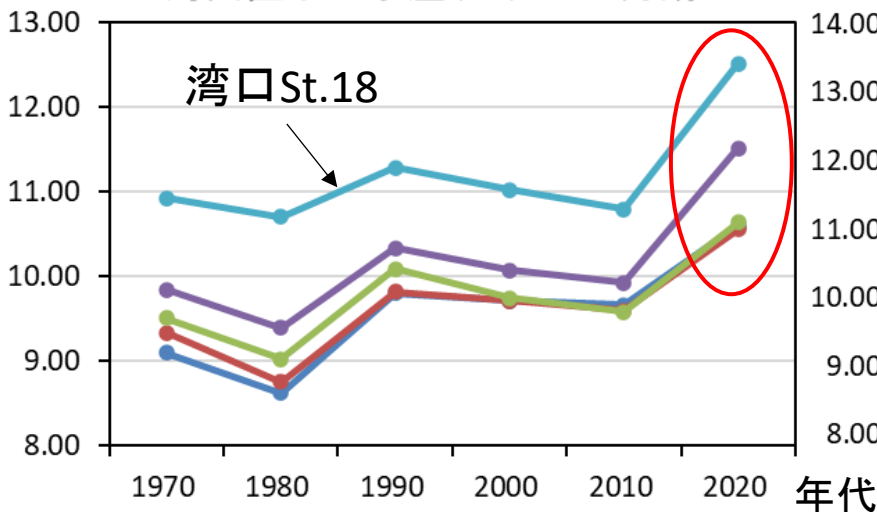


- 2 湾奥
- 6
- 11 湾央
- A
- 18 湾口

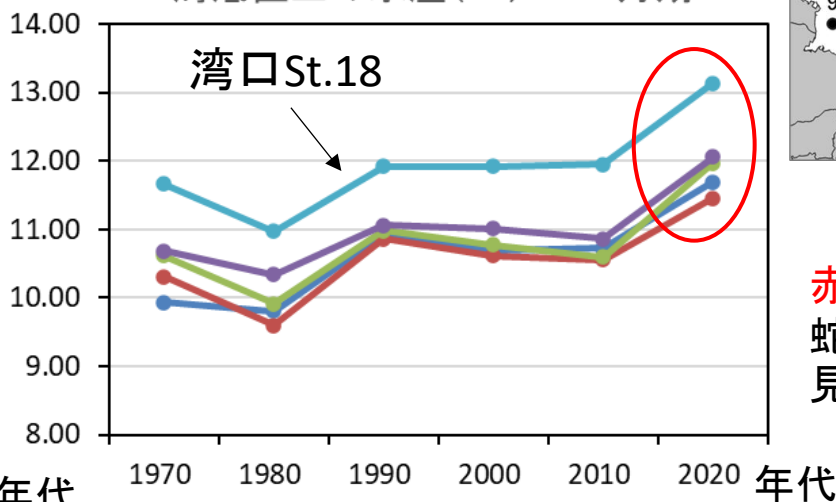


赤丸は黒潮大蛇行の影響と見られる箇所

海面直下の水温(°C) 1-3月期



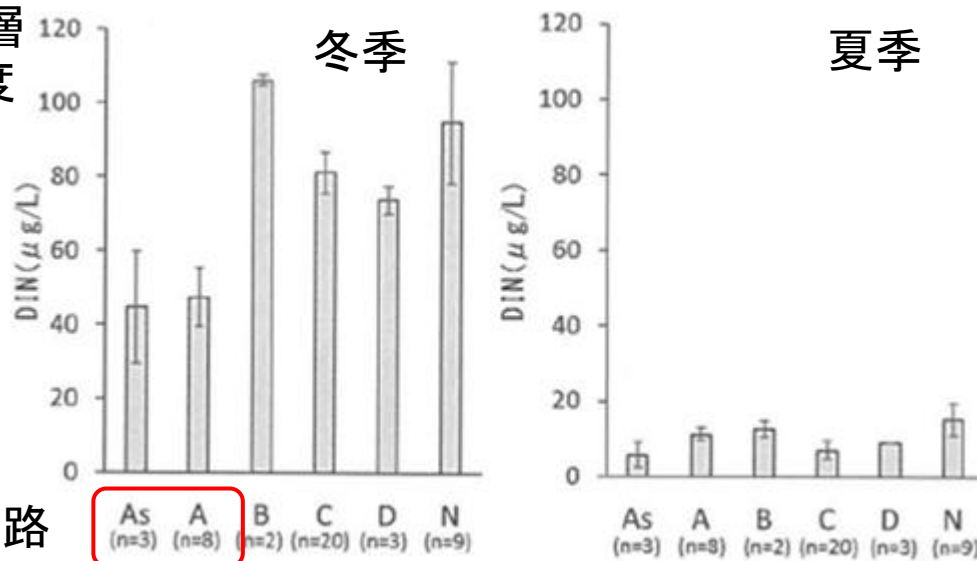
海底直上の水温(°C) 1-3月期



伊勢湾内の水温は、地球温暖化と黒潮蛇行などの影響を受けて上昇傾向にある。
2020年代の1-3月期に水温上昇が見られるが、黒潮大蛇行の影響の可能性がある。

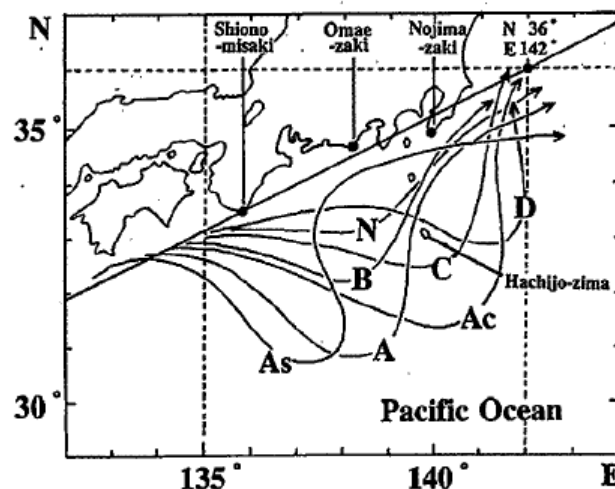
遠州灘A10測点の栄養塩濃度と黒潮流路の関係

水深20m層
のDIN濃度



黒潮流路
(横軸)

大蛇行時

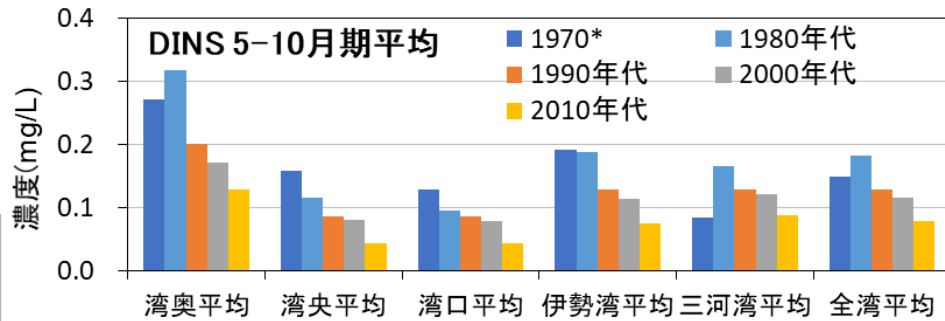
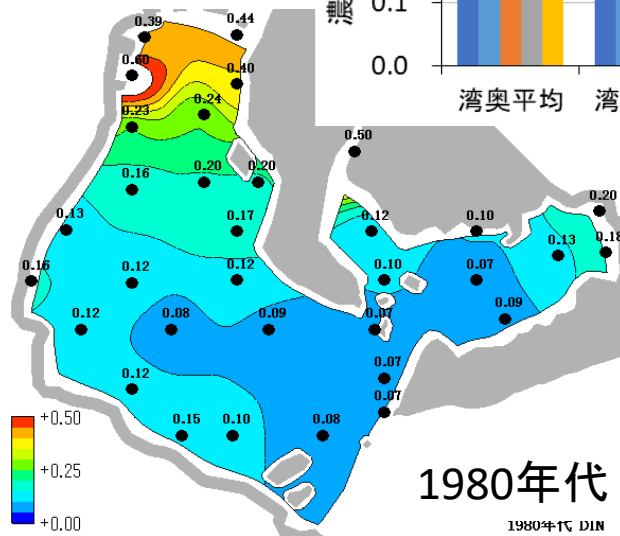
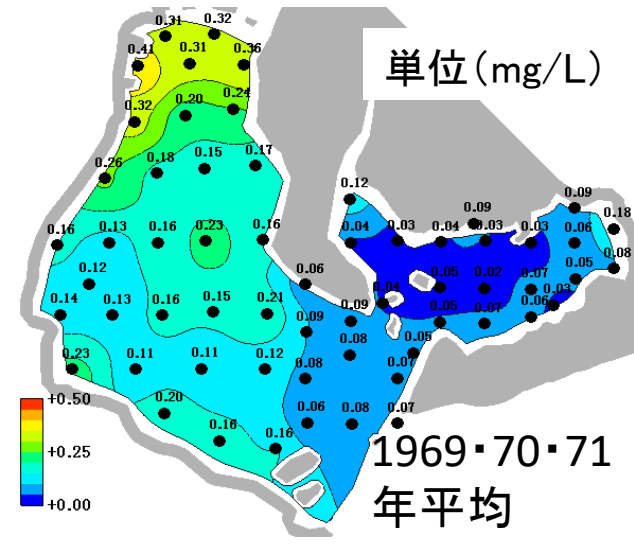


大蛇行時(流路はAs、A)に伊勢湾外海の水深20～50m層の栄養塩濃度が冬季に低くなる。

出典: 中野哲規、黒田伸郎、曾根亮太、中村元彦、渥美外海における栄養塩の動態と黒潮流路の関係、黒潮の資源海洋研究、中央水産研究所、2023-03、24、51-57

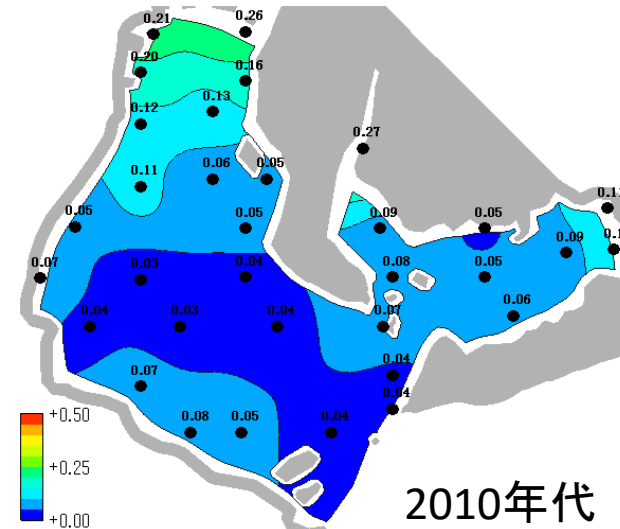
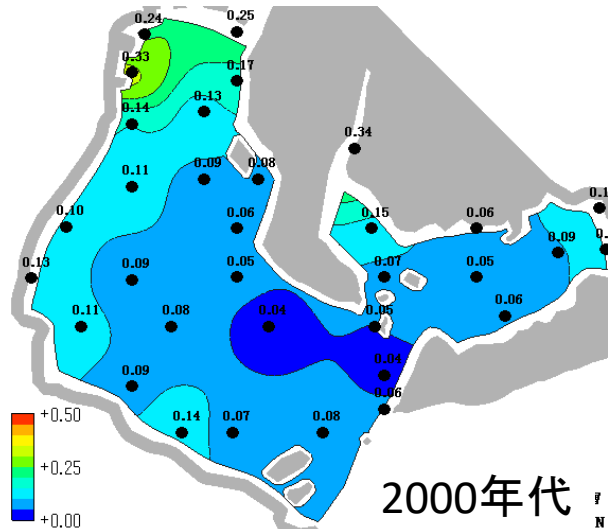
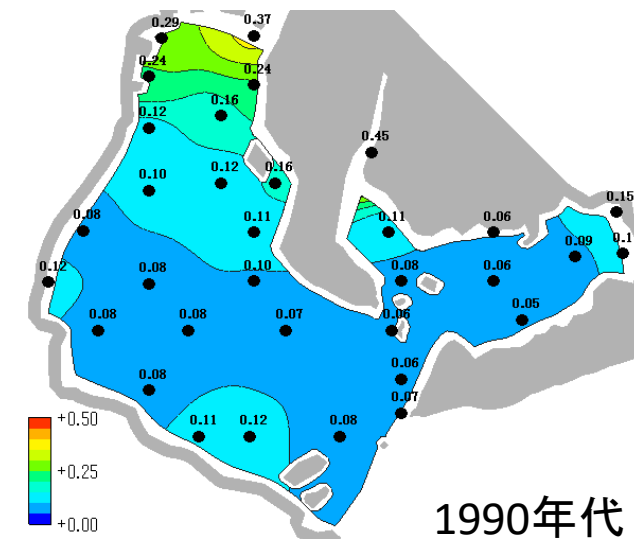
湾表層のDIN(溶存無機態窒素)の年代推移

伊勢湾・三河湾水底質調査報告 5-10月期平均値



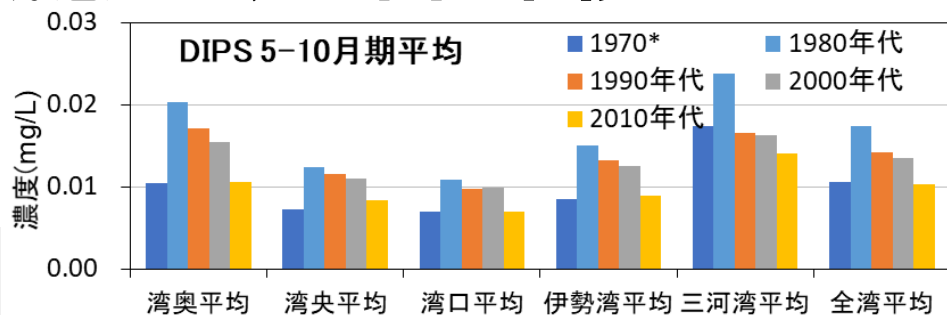
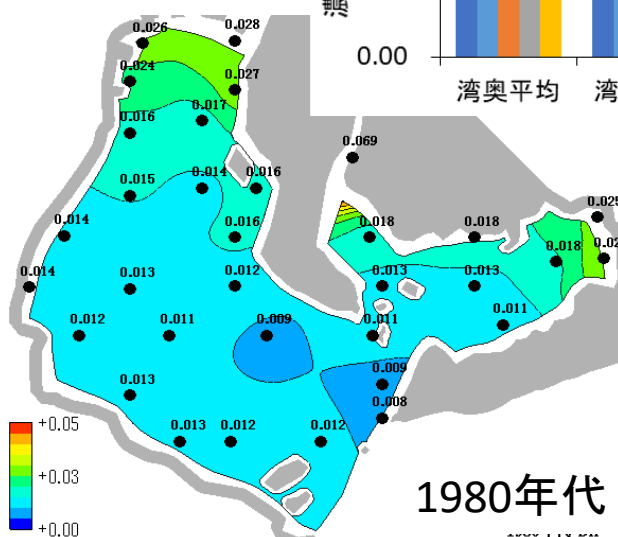
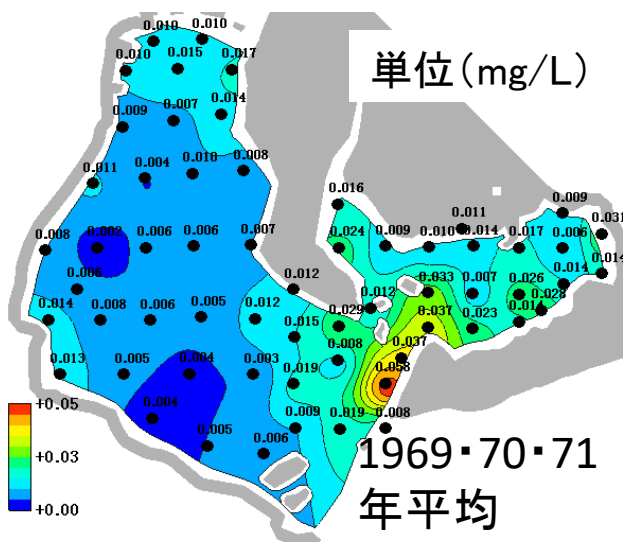
広域総合質調査 5-10月期平均値 単位(mg/L)

1980年代以降は全湾で単調減少傾向にあるが、1970年前後DINは1980年代より低い海域もある。



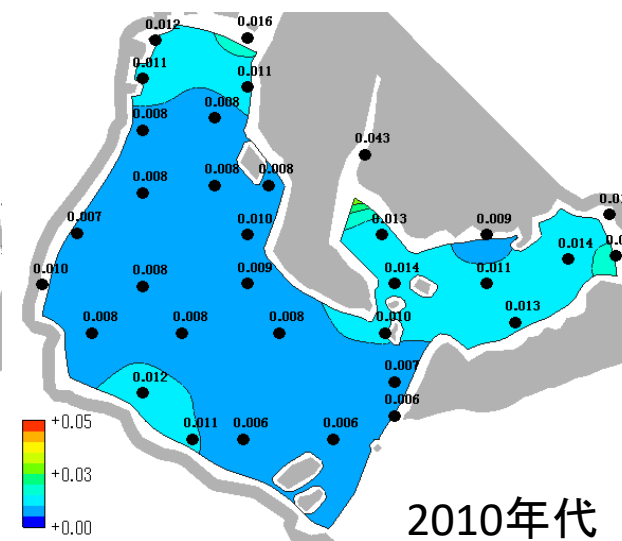
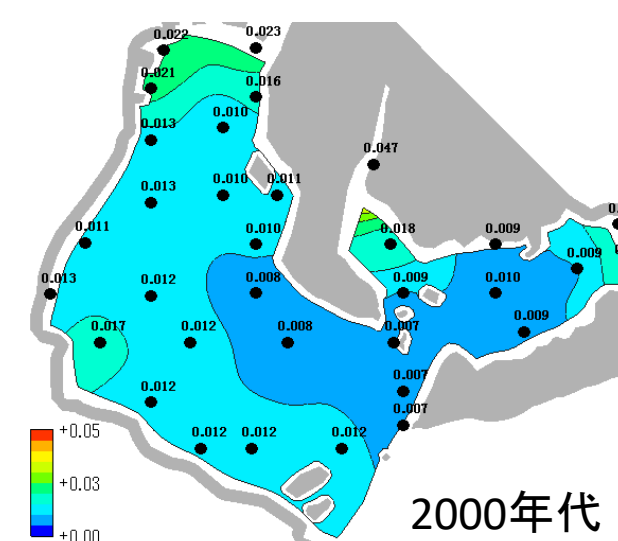
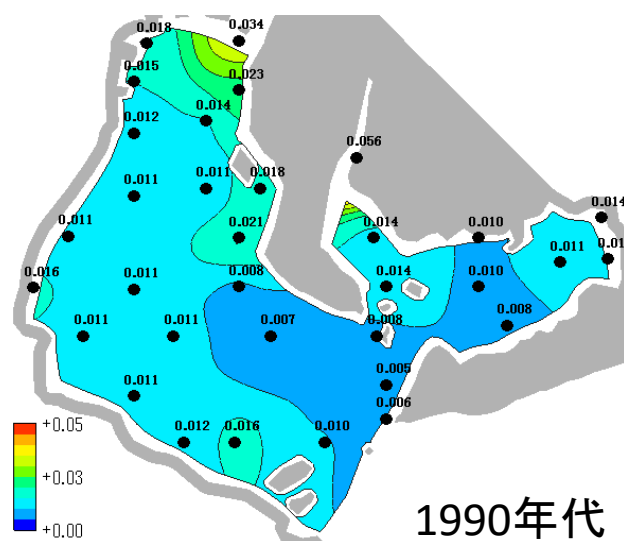
湾表層のDIP(溶存無機態リン)の年代推移

伊勢湾・三河湾水底質調査報告 5-10月期平均値



広域総合質調査 5-10月期平均値 単位(mg/L)

1980年代以降は全湾で単調減少傾向にあるが、1970年前後DIPは全湾で1980年代より低く、2000年代並みである。



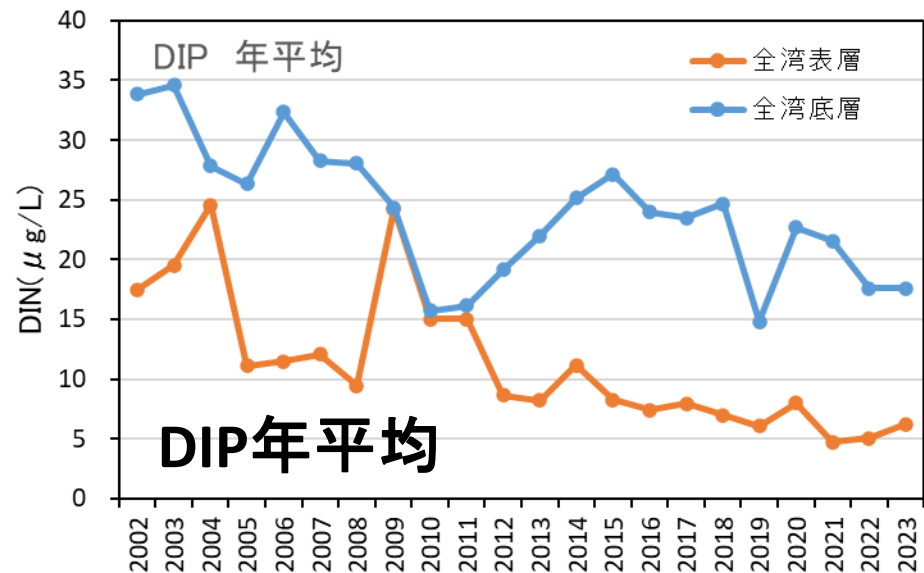
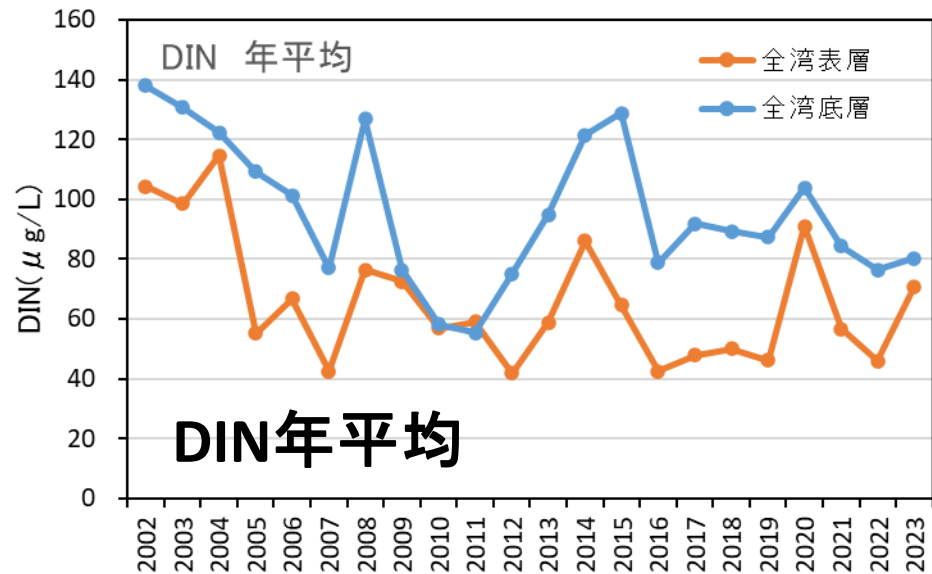
2002年以降の湾内栄養塩の詳細な変化

データ出典：三重県水産研究所浅海定線調査



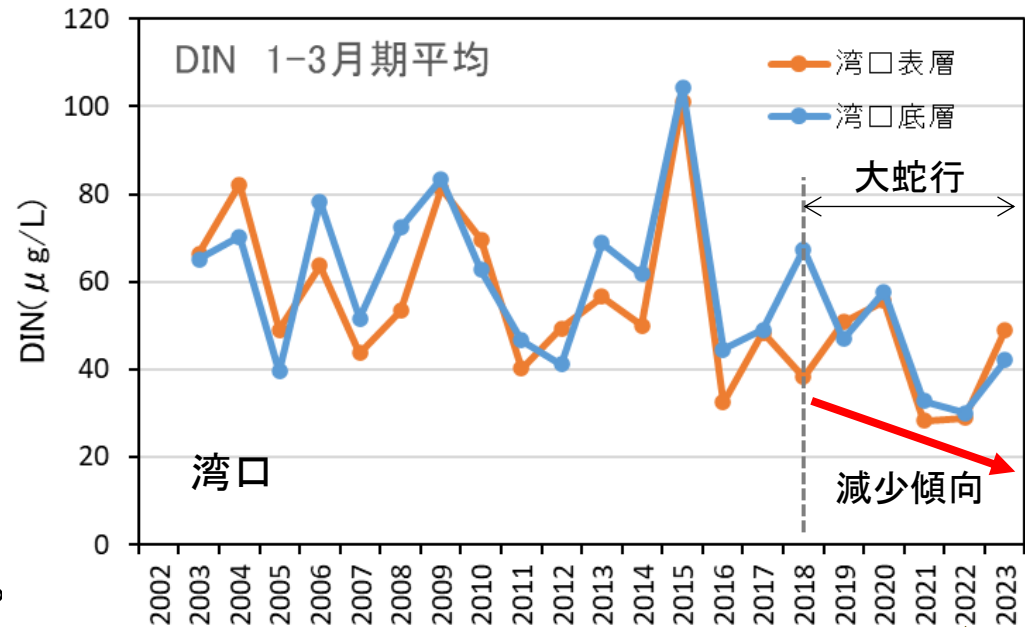
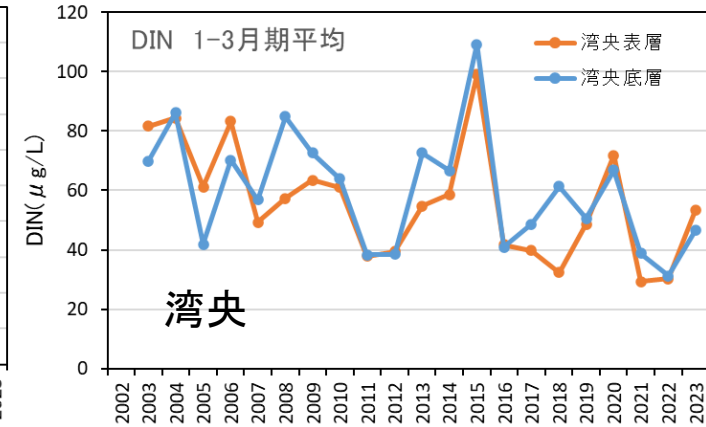
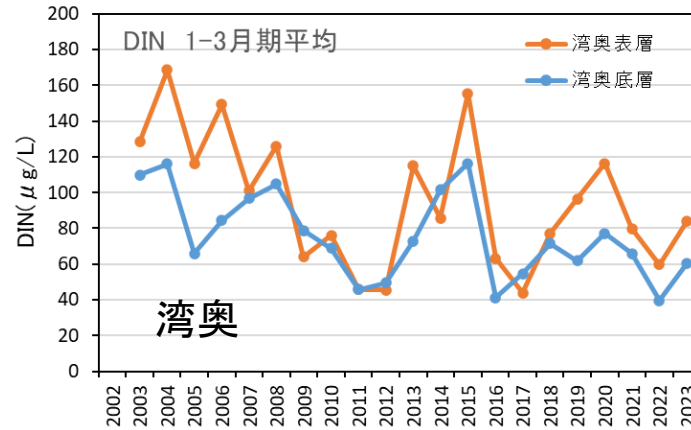
測点

全湾平均・年平均のDINとDIPは、2002年から2010年頃までは減少傾向にある。
2010年代後半以降、DINと底層のDIPは維持、表層のDIPはやや減少傾向にある。



1-3月期の湾内DINの変化

データ出典：三重県水産研究所浅海定線調査

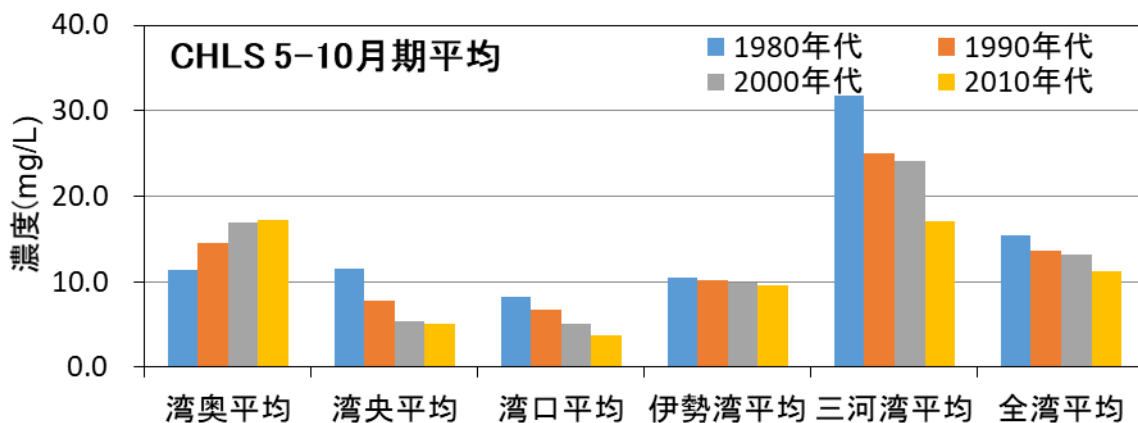
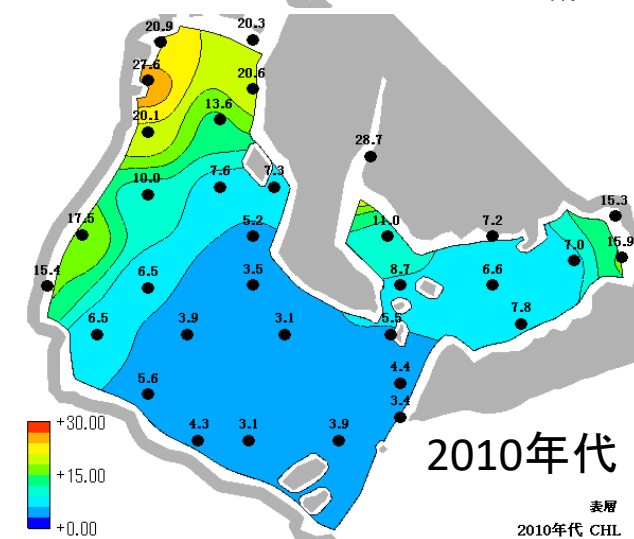
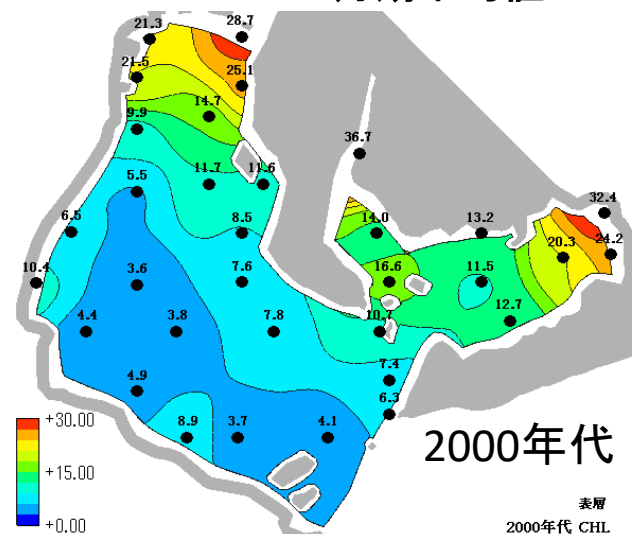
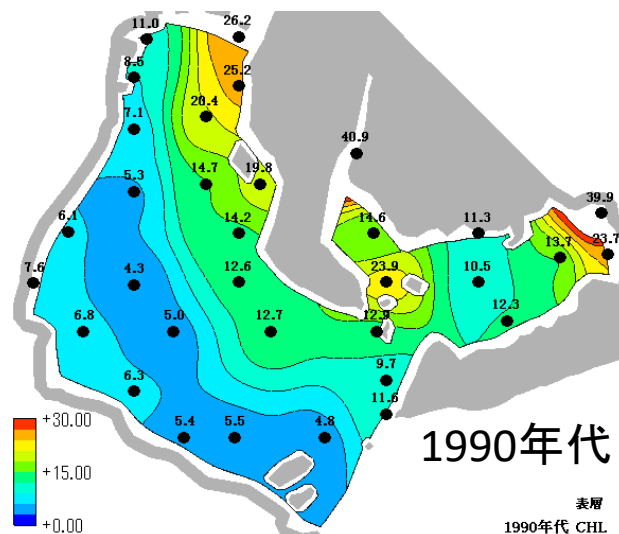
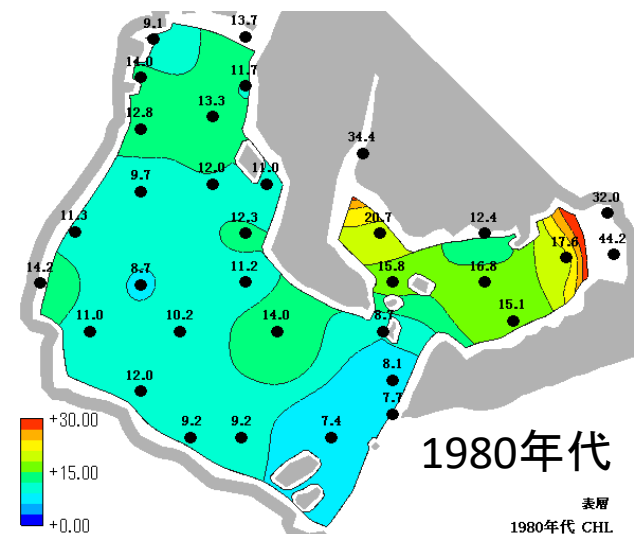


1-3月期平均のDINは、湾奥、湾中央、湾口のいずれでも減少傾向が見られる。黒潮大蛇行の影響の可能性がある。

黒ノリの色落ちの激しかった年

伊勢湾表層のクロロフィルの年代推移

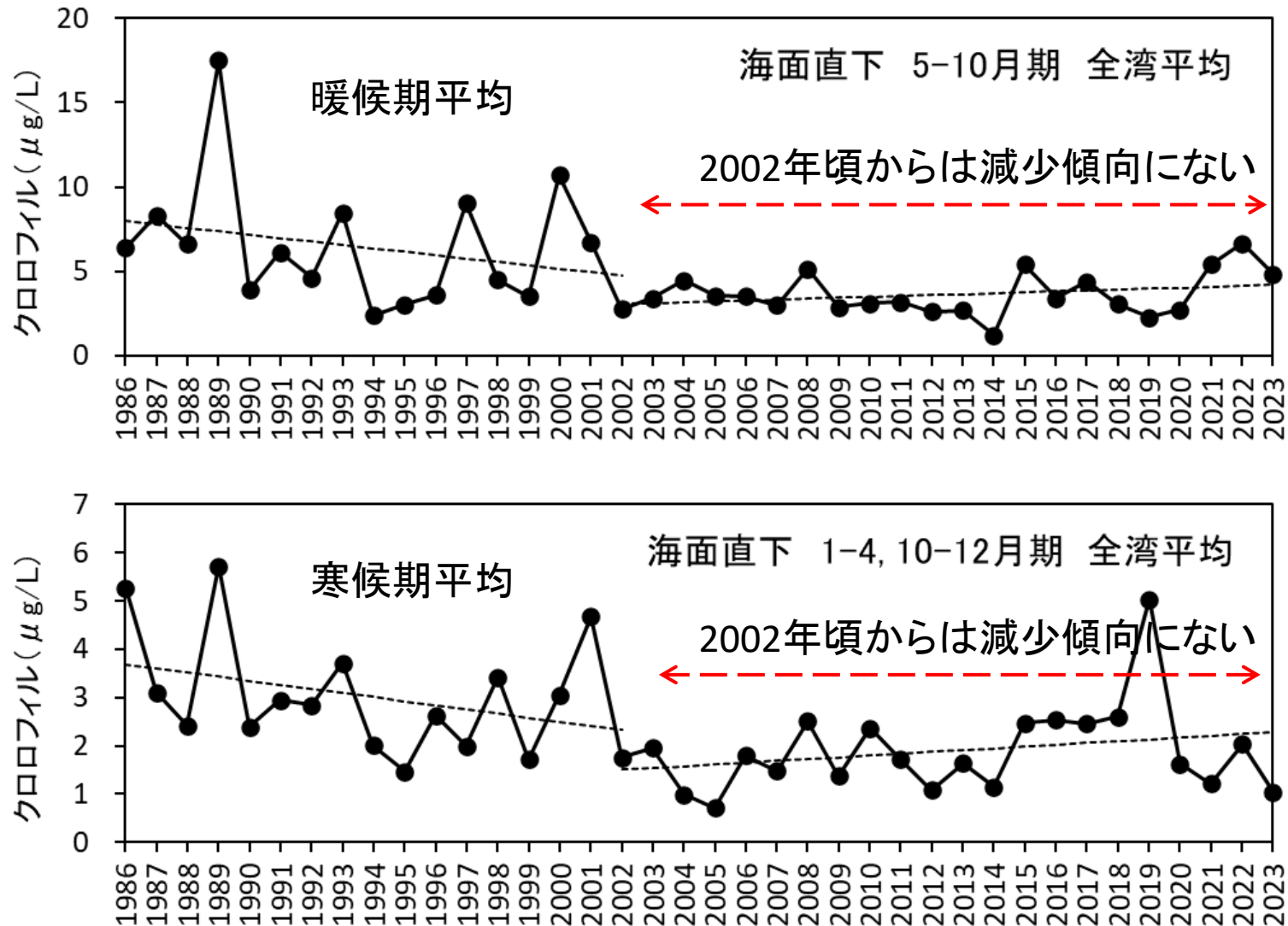
広域総合質調査
5-10月期平均値



湾奥で上昇、湾央、湾口、三河湾では減少してきた。栄養塩濃度低下の中で、湾奥でクロロフィル濃度が上昇した機構は良く分かっていない。

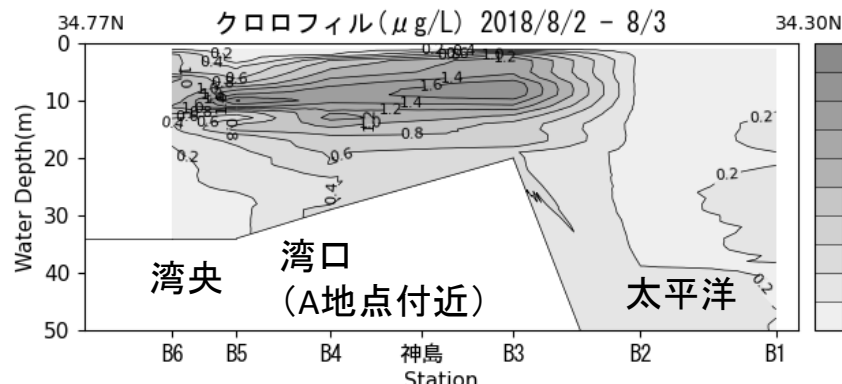
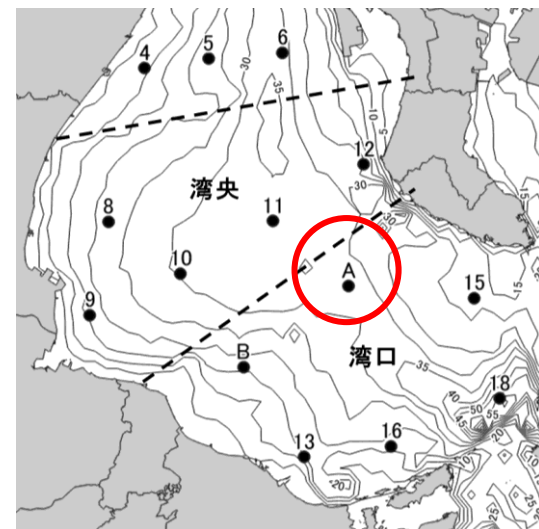
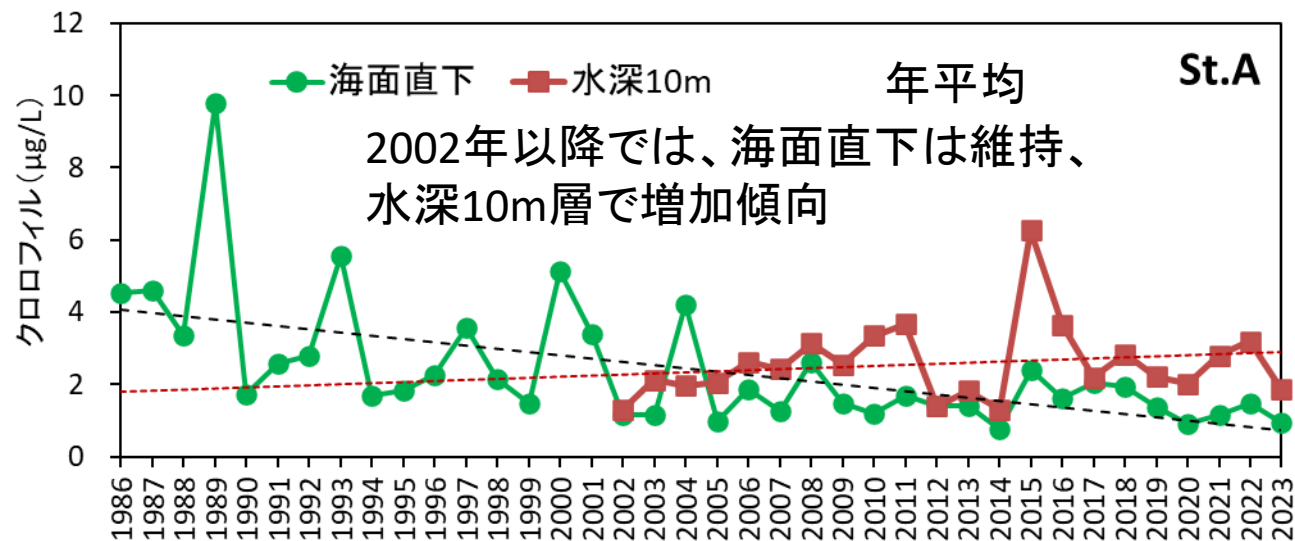
狭義伊勢湾・海面直下のクロロフィル経年変化

データ出典：三重県水産研究所浅海定線調査

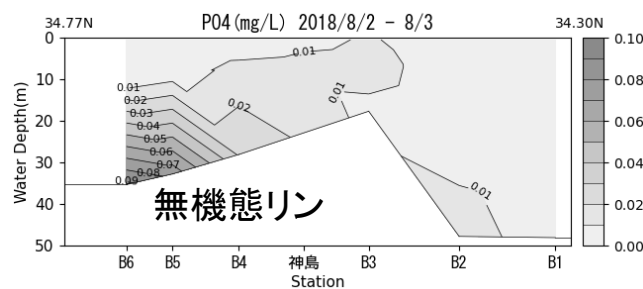
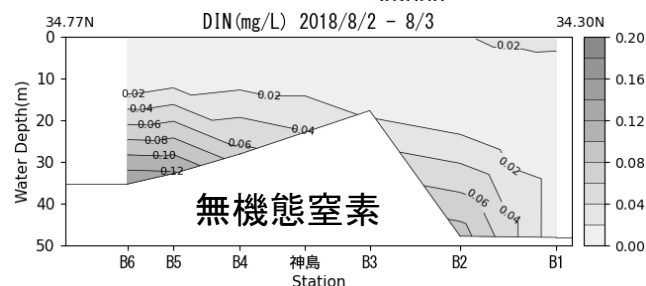


注記：本データは現場型蛍光光度計の測定値で、クロロフィル抽出法の値の1/2程度である

伊勢湾口・海面直下と水深10m層のクロロフィル経年変化



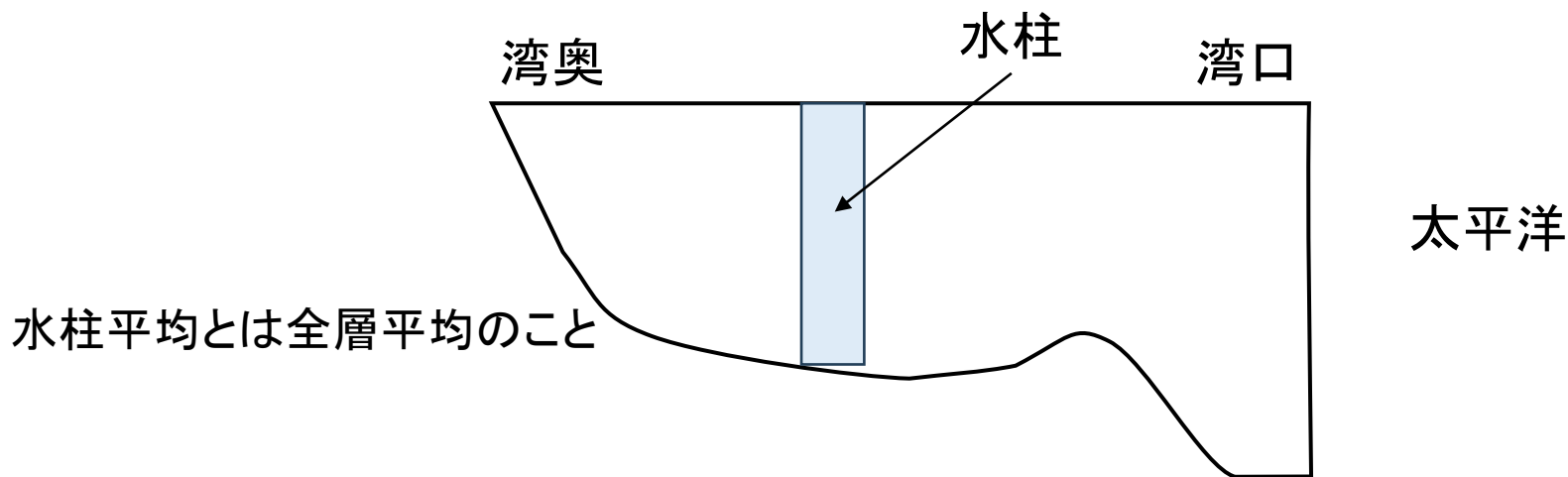
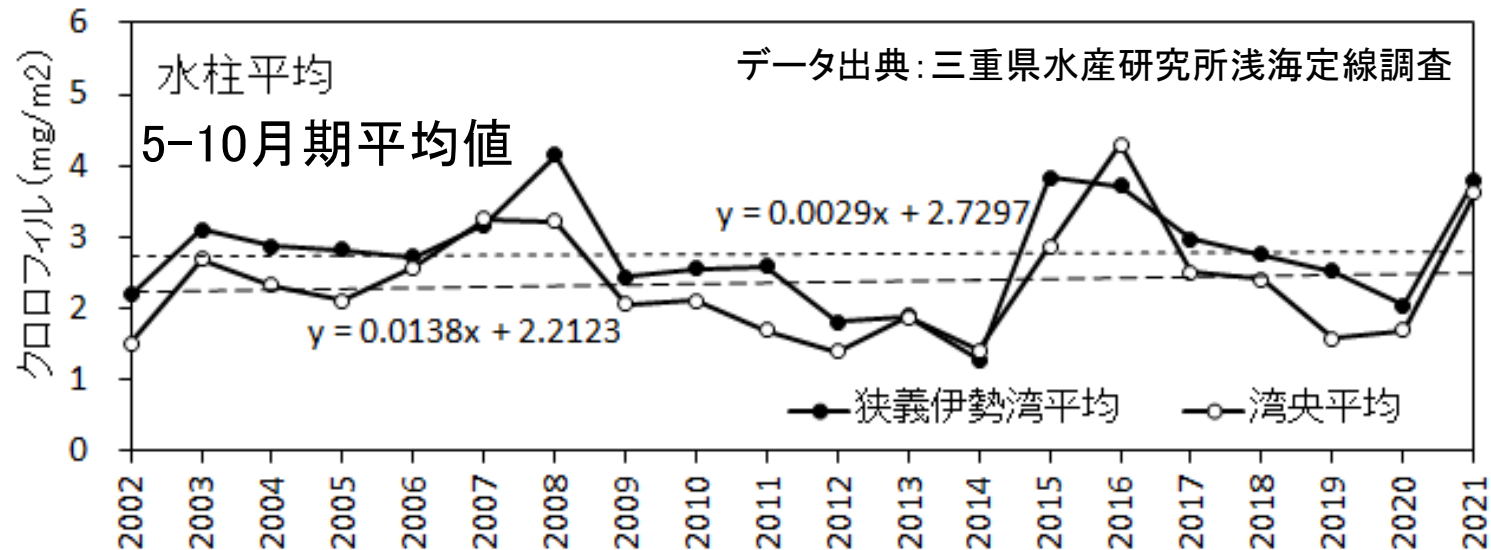
湾口付近では表層の植物プランクトンは減少したが、そのために日射が深い所まで届くようになり、水深10m付近のクロロフィルは増加傾向となったとみられる。底層には外海からの栄養塩が存在し、それにより増殖しているとみられる。



2018年8月初旬の湾口付近の鉛直断面のクロロフィルと栄養塩濃度(千葉、2025)

狭義伊勢湾・水柱平均のクロロフィル経年変化

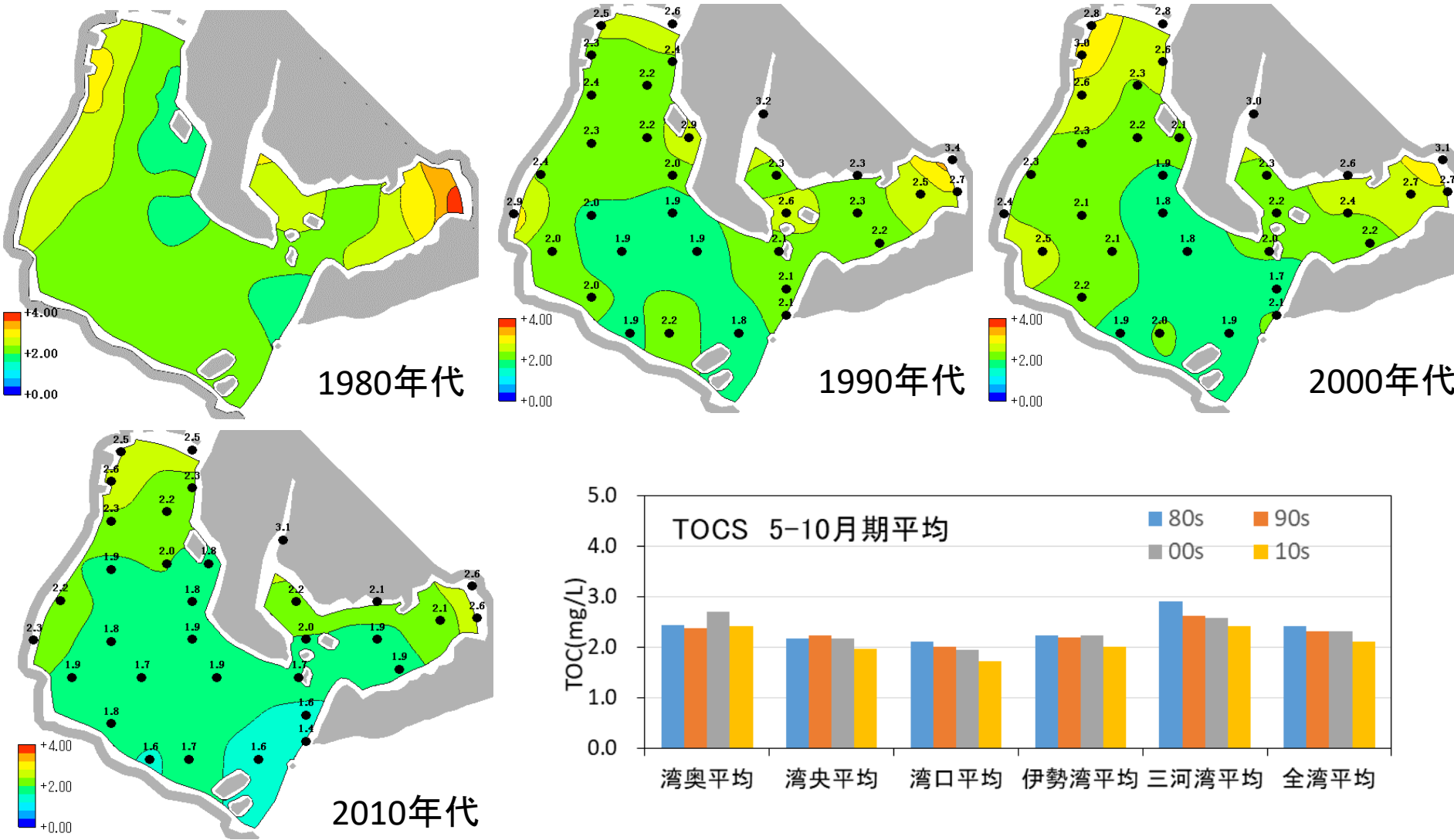
注記: 本データは現場型蛍光光度計の測定値で、クロロフィル抽出法の値の1/2程度である



2002年以降、狭義伊勢湾のクロロフィルは減少傾向にはない。クロロフィルと植物プランクトンの炭素量はほぼ比例関係にある。伊勢湾の有機炭素量の大半は植物プランクトン態の炭素量なので、伊勢湾の有機炭素量も減少傾向にないということになる。

湾表層のTOC(全有機炭素)の年代推移 広域総合質調査5-10月期平均値

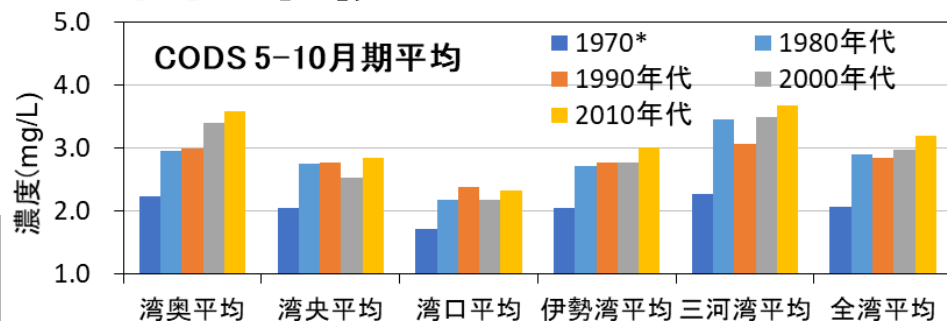
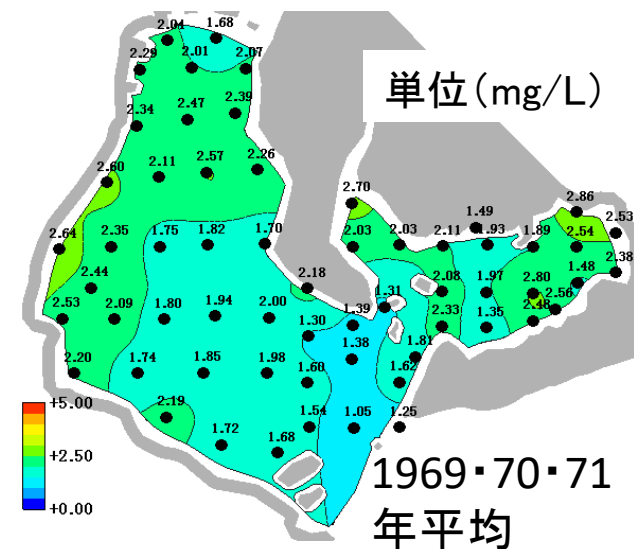
注記) 三重県側データに+0.5mgC/Lの補正を実施



全湾で僅かに減少傾向にあるが、栄養塩濃度と植物プランクトンの低下に比べてTOCの減少割合は小さい。TOCは基礎生産量にほぼ比例すると考えられる。植物プランクトンはなお、TOCには約1.0mgC/Lの外海から流入した難分解性DOCが含まれる。

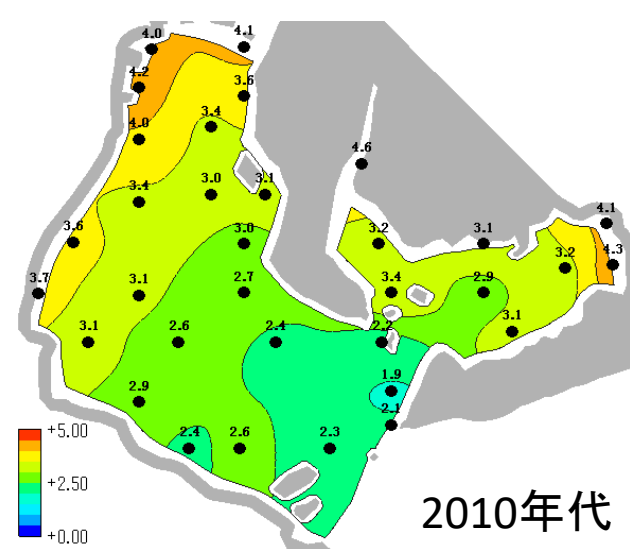
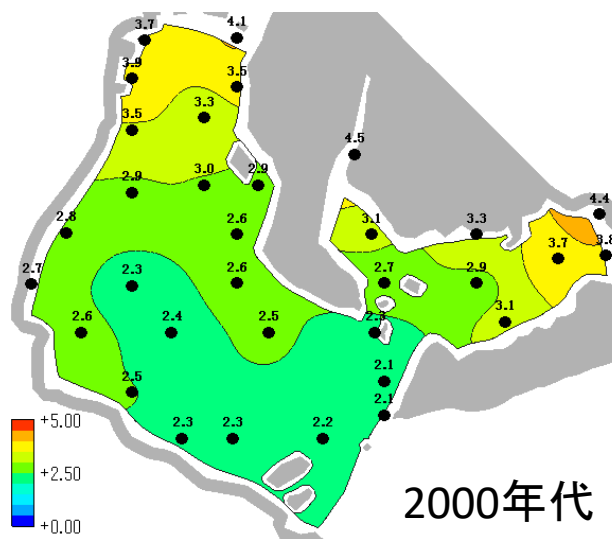
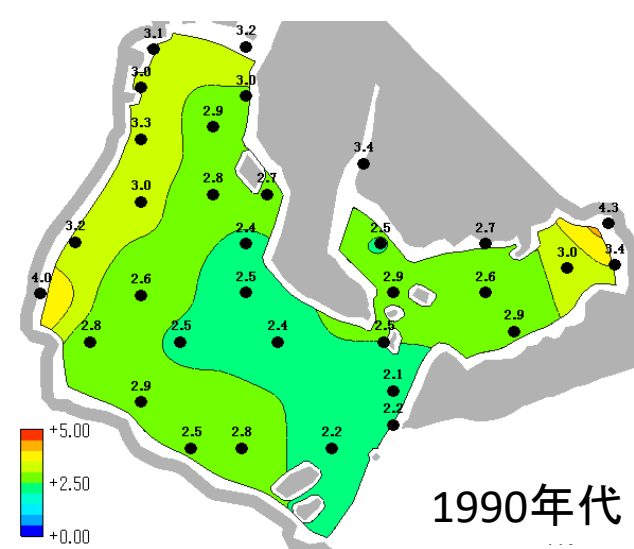
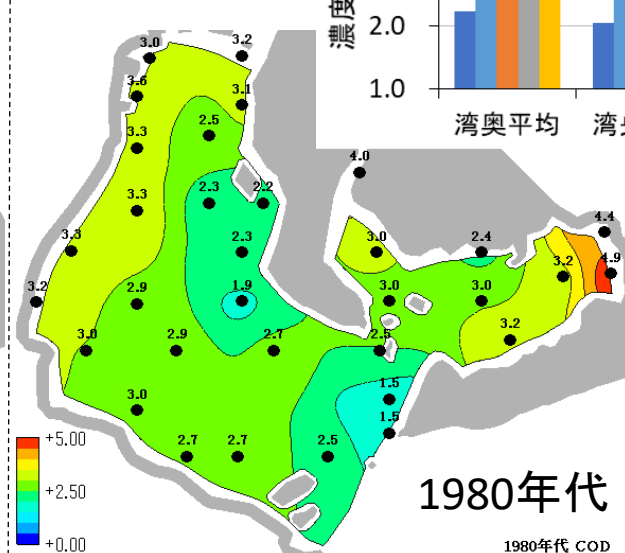
湾表層のCODの年代推移

伊勢湾・三河湾水底質調査報告 5-10月期平均値



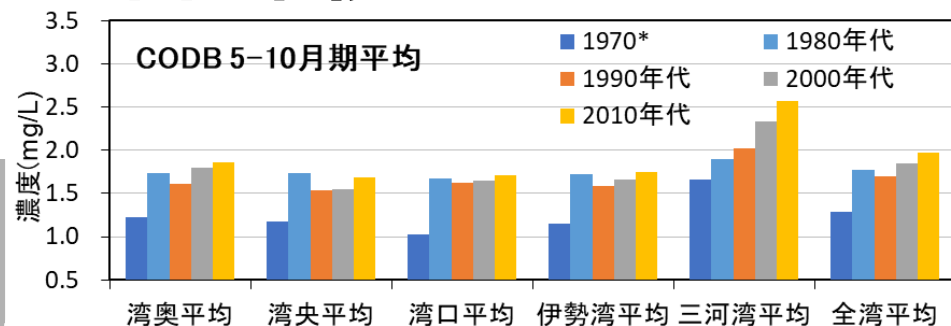
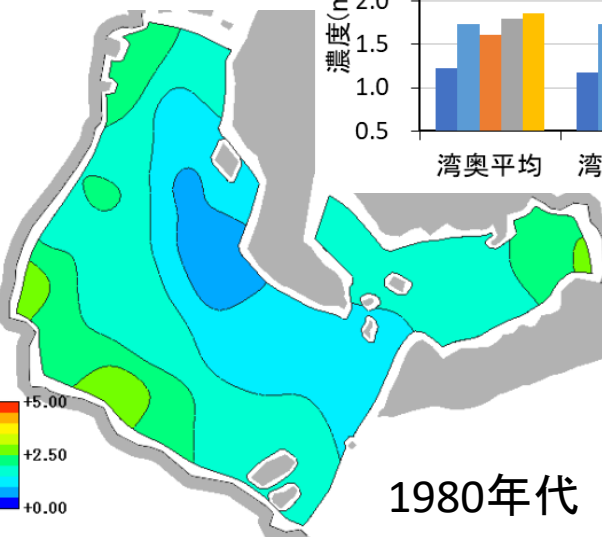
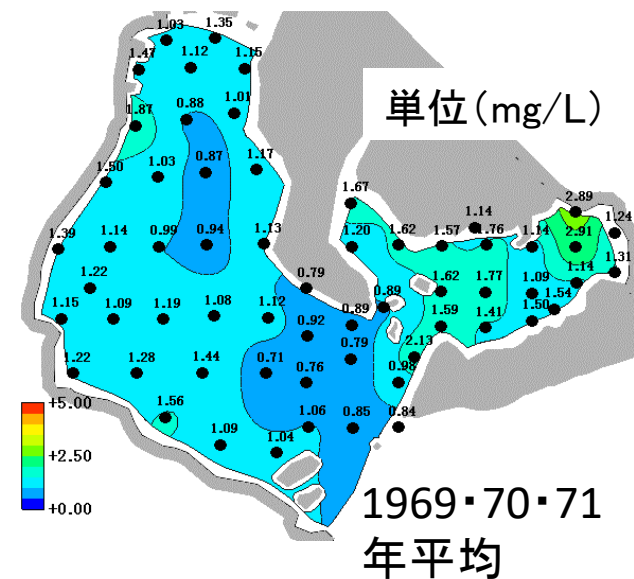
広域総合質調査 5-10月期平均値 単位 (mg/L)

TOCは僅かに減少傾向にあるが、もうひとつの有機物量の指標値であるCODは全湾で増加傾向にある。



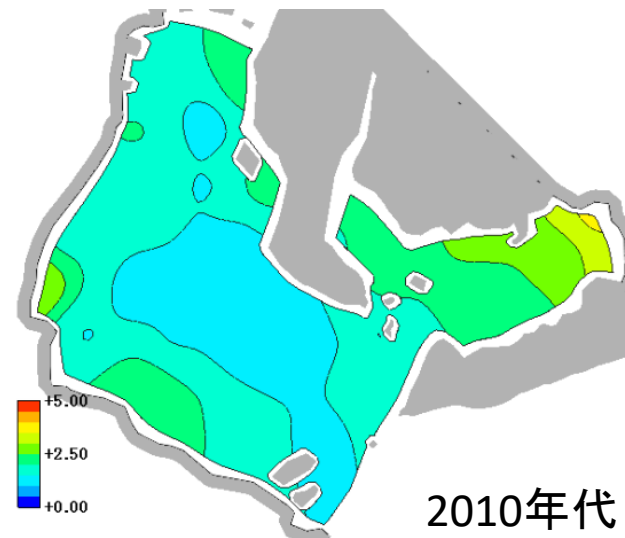
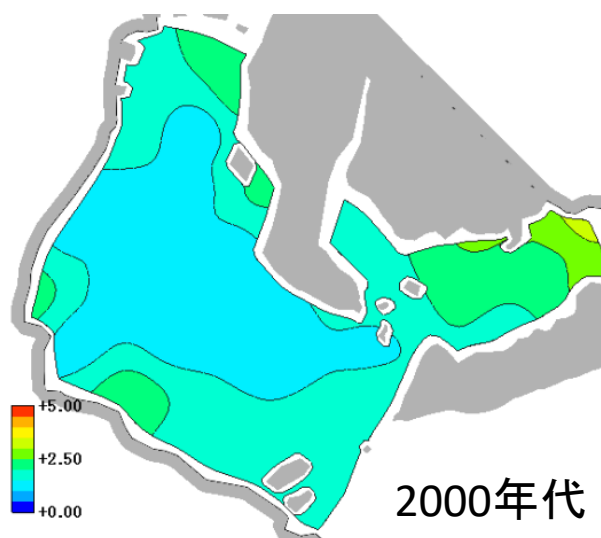
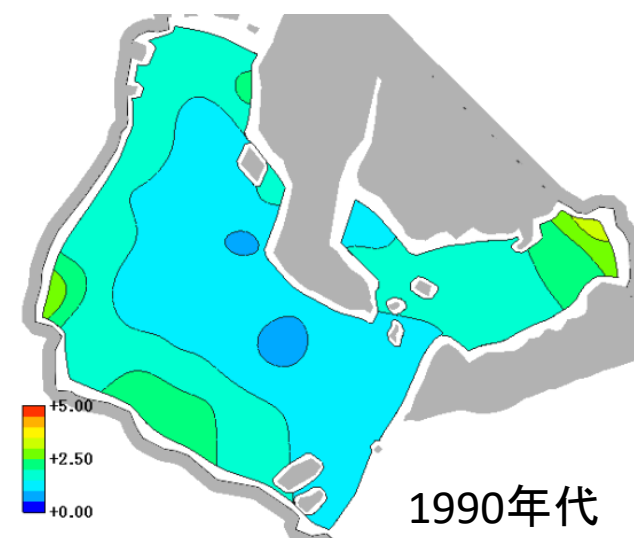
湾底層のCODの年代推移

伊勢湾・三河湾水底質調査報告 5-10月期平均値



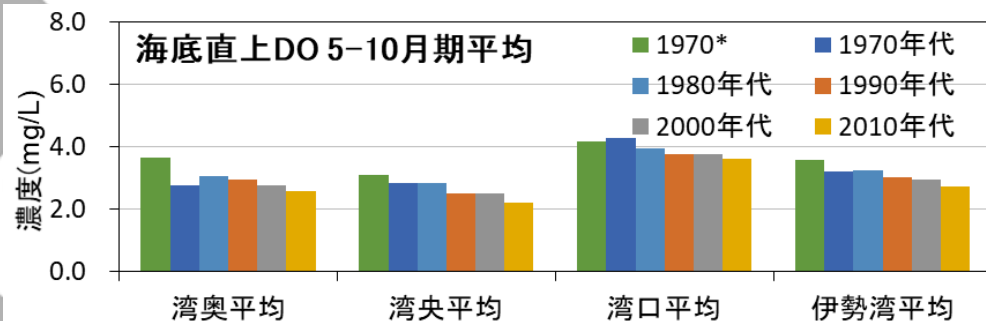
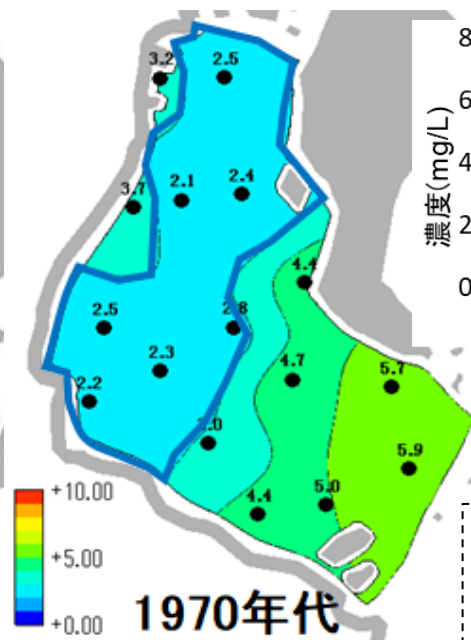
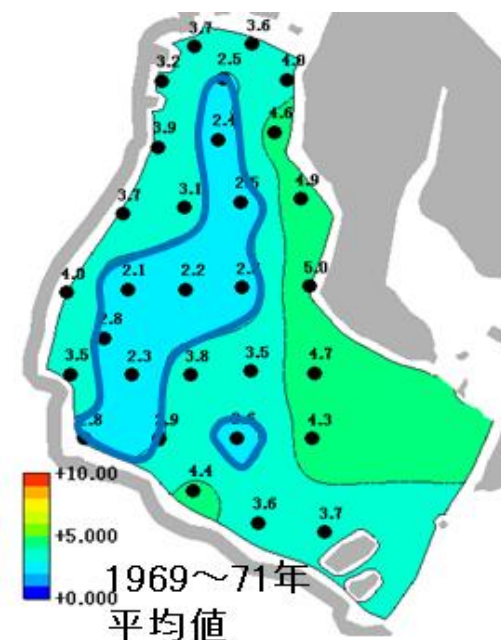
広域総合質調査 5-10月期平均値 単位 (mg/L)

底層のCODも全湾で増加傾向にある。CODは分解性の有機物量なので、貧酸素との関係が推測される。



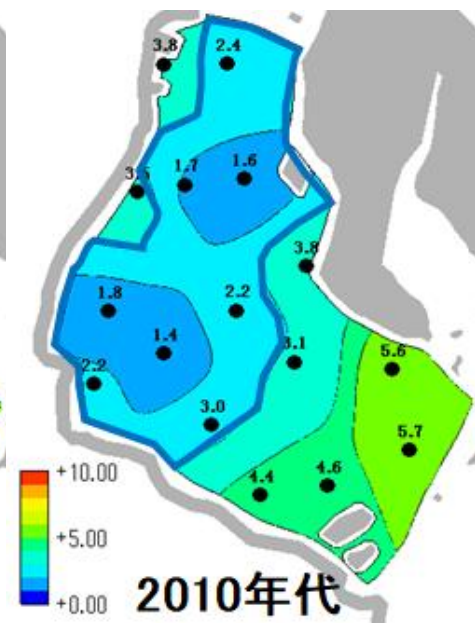
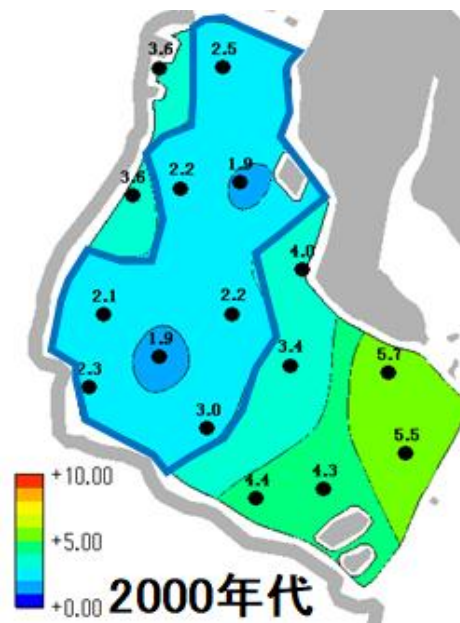
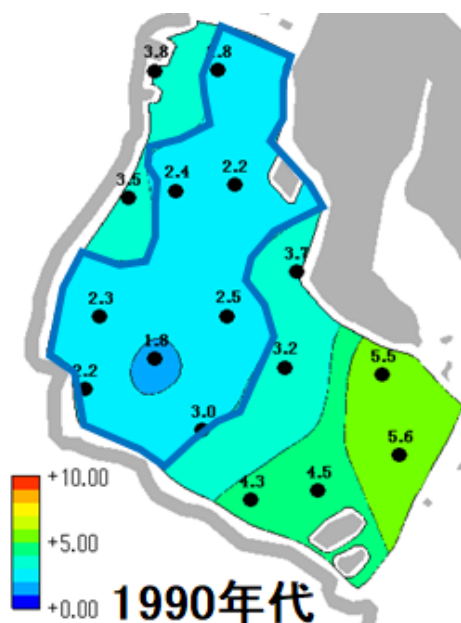
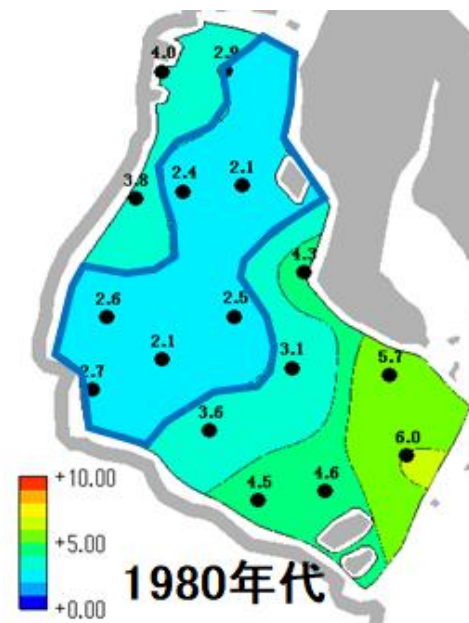
海底直上の酸素濃度の年代推移

1969～1971年平均値・伊勢湾・三河湾水底質調査報告
1970年代以降：三重県水産研究所



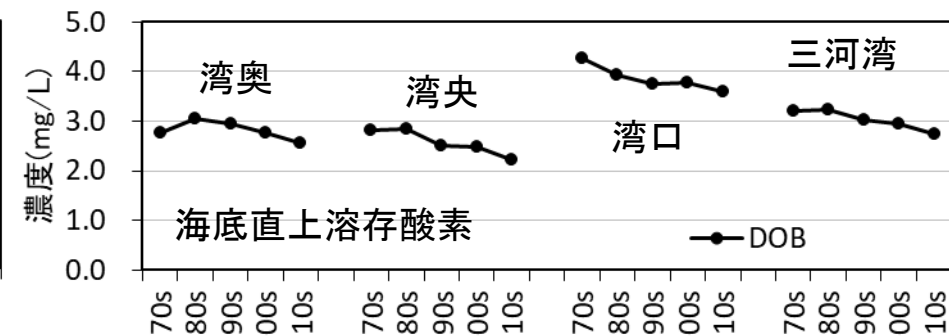
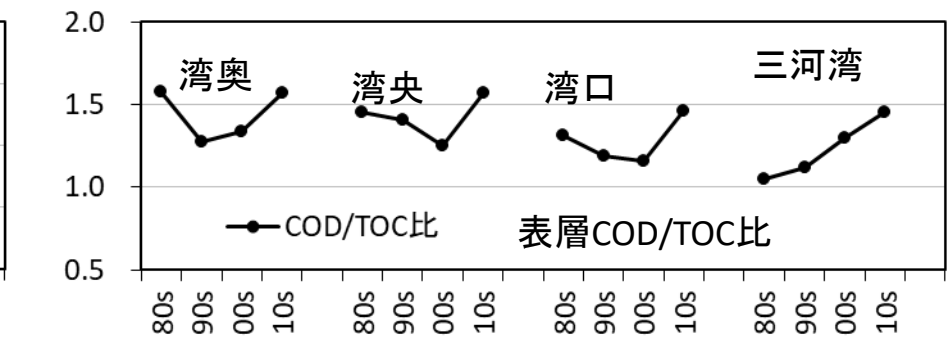
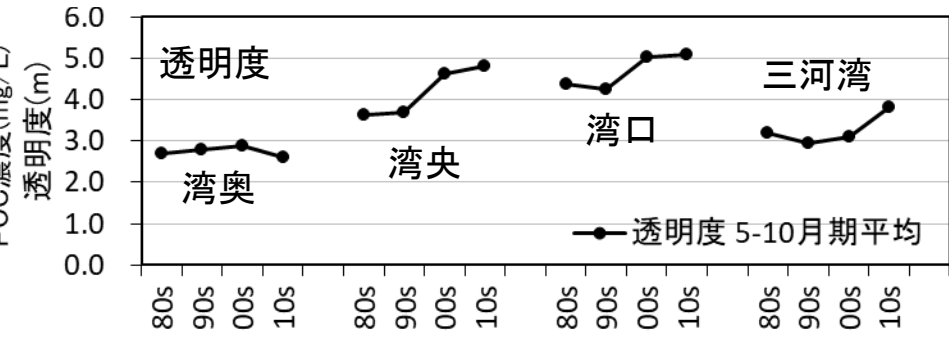
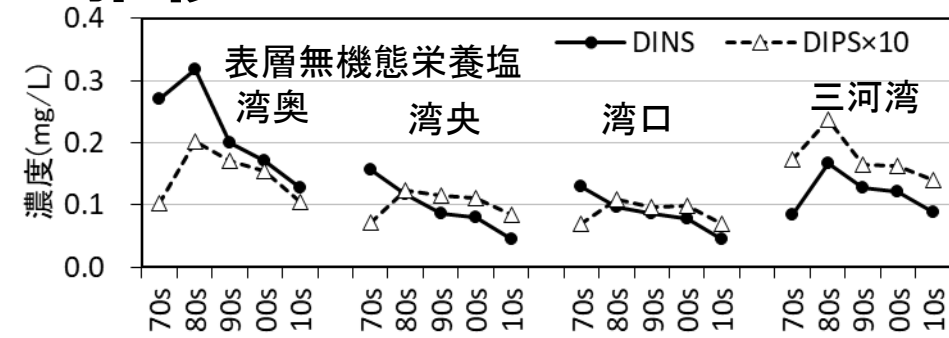
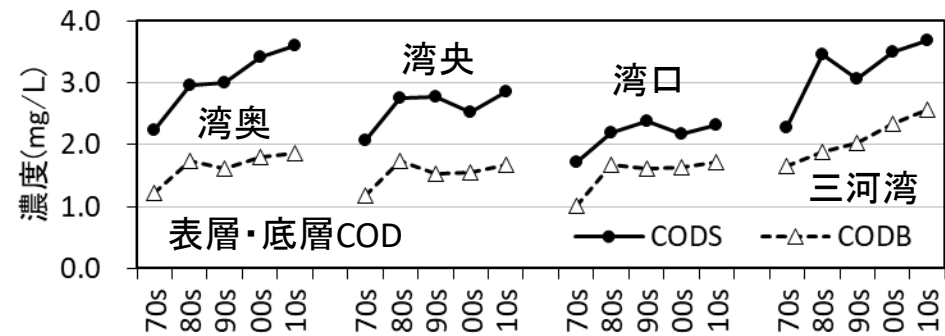
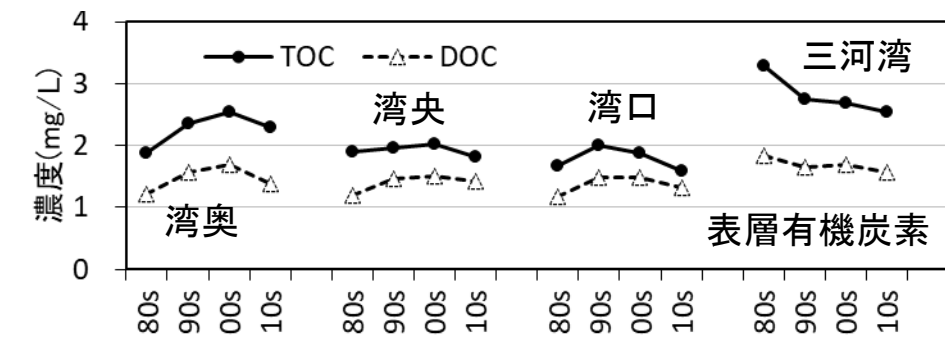
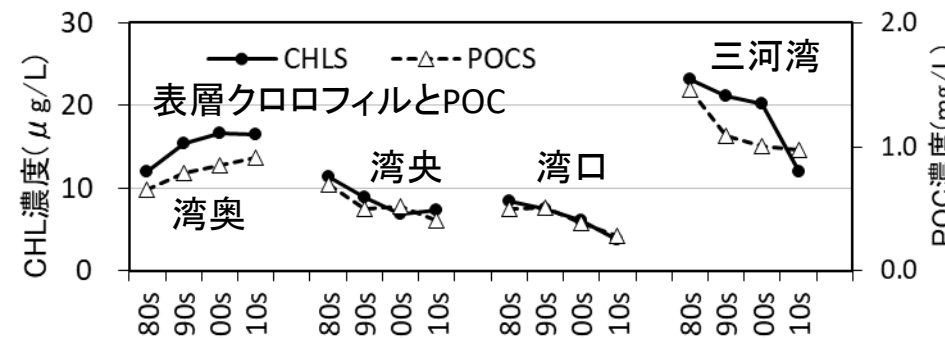
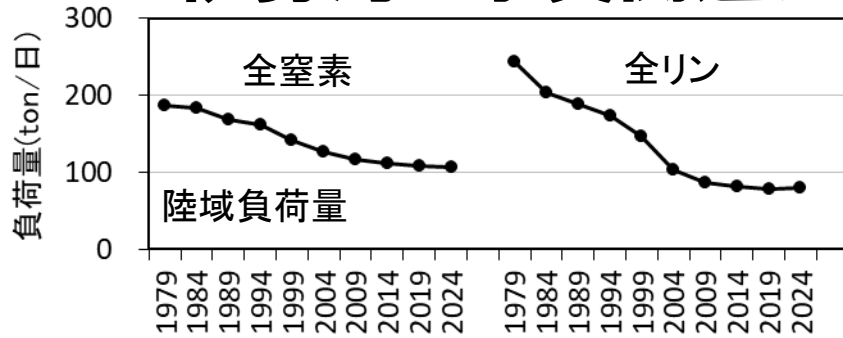
7-9月期平均値 単位(mg/L)
青太線は3mg/L境界線

1970年代から海底直上のDO濃度は単調に減少を続けている。なお、1929年10月の神戸海洋気象台の調査でも、湾奥西部と三河湾内で貧酸素水塊の発生が報告されている。



伊勢湾の水質関連データの推移

陸域負荷量以外は5-10月期平均



伊勢湾内外海水の生分解特性調査

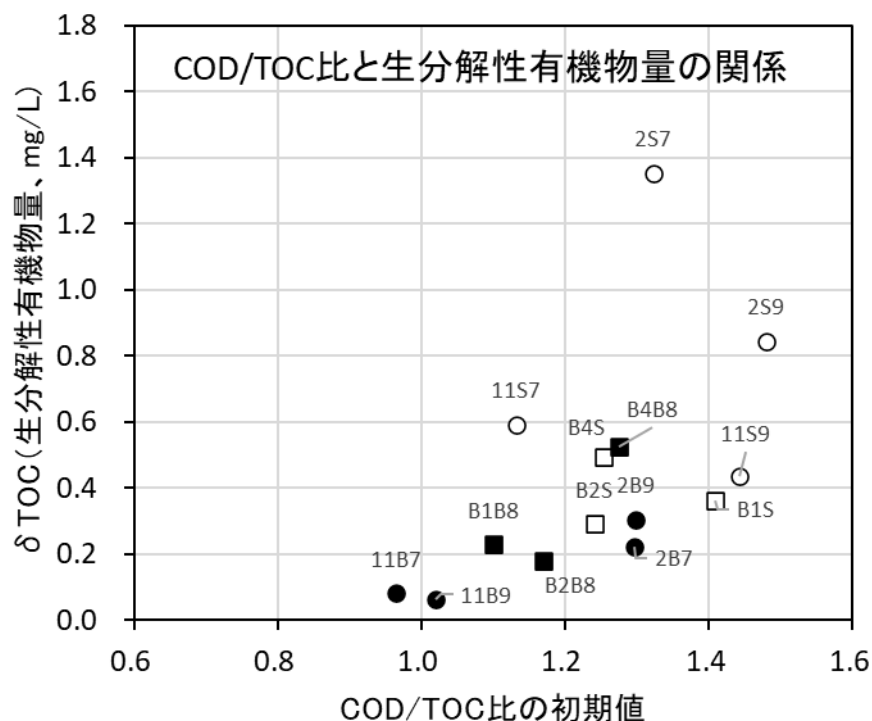
2017・2018年度
伊勢湾再生連携調査

・サンプリング方法

三重県水産研究所の浅海定線観測調査と四日市大学の伊勢湾海洋実習の際に、ニスキン型採水器を用いて、表層水(0.5m)および底層水 (B-1m)を採水した。

・測定方法

表層水を2Lガラス瓶に入れ、空気の交換がある条件で遮光せずに恒温槽で振盪培養(50min⁻¹)した。底層水は200mlフラン瓶に入れて密栓し、遮光して恒温槽で静地培養した。表層水、底層水ともに同一の試料を3本ずつ用意し、繰り返し試験を3回並行しておこなった。なお、恒温槽の設定温度は現場の水温を参考に決定した。



$\delta\text{TOC} = \text{TOC初期値} - \text{TOC最終値(30日目)}$

記号の意味

2 S 7: St.2 表層 2017年7月

地点 層 時期

B1 S 8: St.B1 表層 2018年8月

地点 層 時期

浅海定線調査(2017年7、9月)

St.2: 湾奥、St.11: 湾央

伊勢湾海洋実習(2018年8月)

B1、B2: 伊勢湾外、B4: 湾口(湾内)

3の主要点

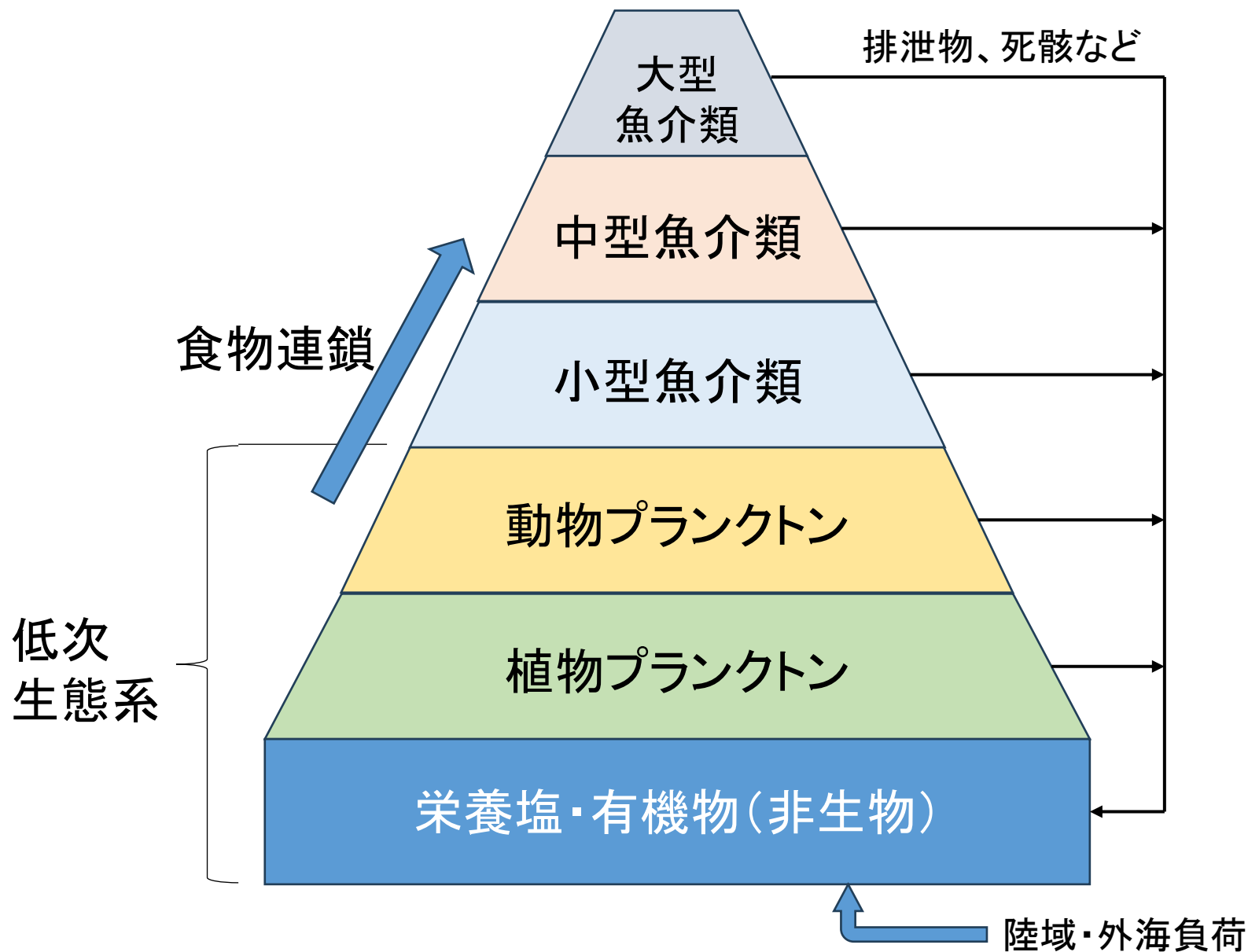
- ①（**豊かな海の栄養塩濃度**） 1970年前後の湾表層のDIPは2000年代並みに低く、前述の陸域負荷量の変化に対応する。
- ②（**黒潮大蛇行による貧栄養化**） 2018年以降の1-3月期の湾内のDINとDIPは減少傾向にあるが、一級河川からの負荷量は減少傾向にない。黒潮大蛇行の影響が示唆される。
- ③（**湾内有機物量の近年状況**） 2000年代以降の狭義伊勢湾の表層のクロロフィルと水柱平均値は減少傾向にない。
- ④（**貧栄養化によるDOCの生産増加**） 狭義伊勢湾表層のPOCはクロロフィルと同様に、湾奥で1980年代から2000年代まで増加し、湾央と湾口で1980年代から減少した。DOCは狭義伊勢湾の全域で2000年代まで増加し、2000年代に僅かに減少した。これは栄養塩濃度の低下の中で、POCの生産は減り、DOCの生産が増えたことを意味する。

3の主要点(続き)

- ⑥ (湾内全域でのCODの増加) CODは表層と底層で1980年代から上昇傾向にある。
- ⑦ (COD/TOC比と生分解性の関係) 狭義伊勢湾では2010年代からCOD/TOC比が急上昇してきた点が注目される。伊勢湾再生連携調査では、同比と生分解性有機物量が正の相関を持つことを確認している。
- ⑧ (貧酸素化の進行) 狭義伊勢湾の海底直上の酸素濃度は減少傾向にあり、陸域負荷量の減少は寄与していない。
- ⑨ (貧酸素化とCOD増加の関連性) 貧酸素化と、湾内の有機物の易分解化が同時に進行しているなら、その関連性に注目すべきである。

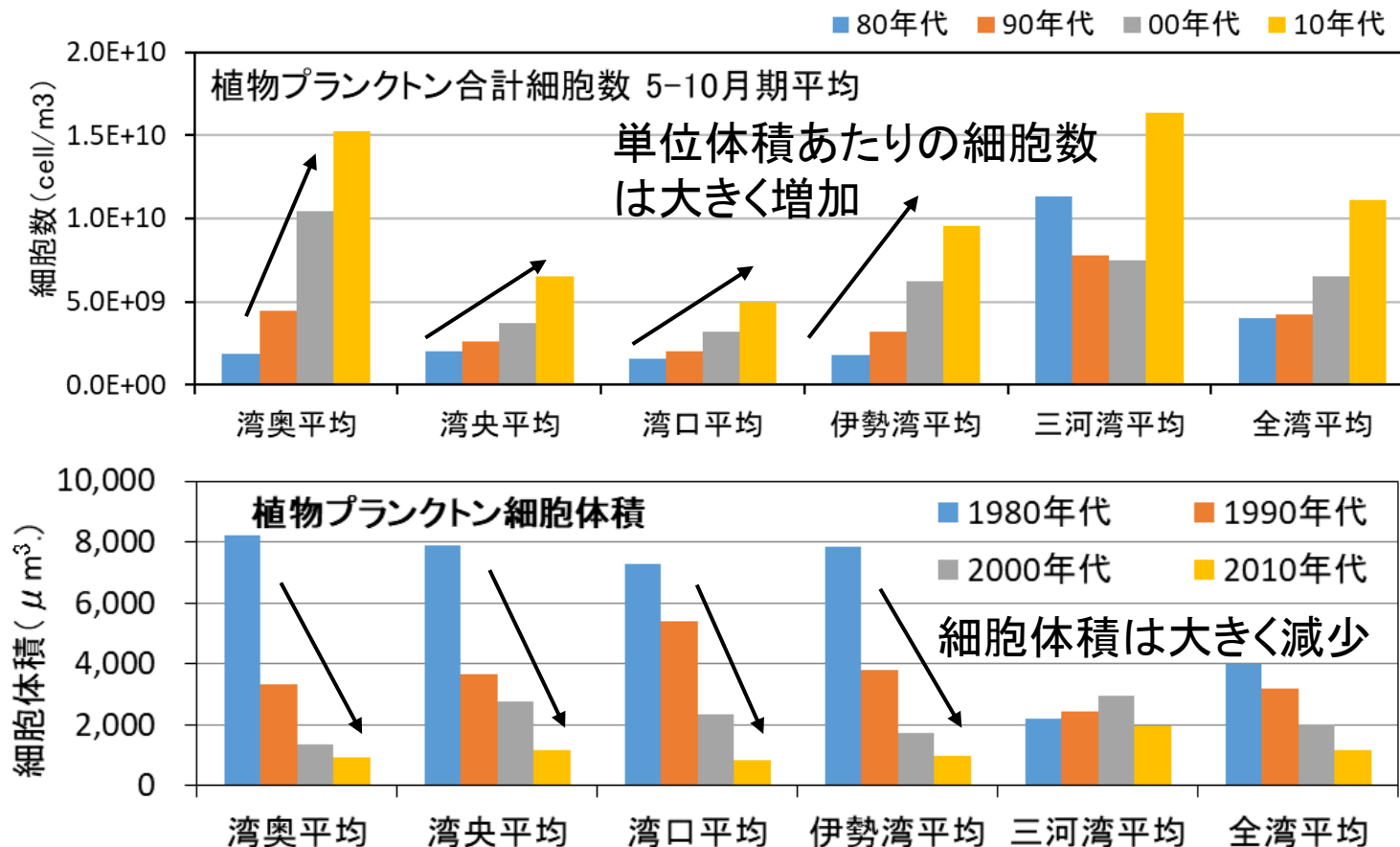
4. 伊勢湾の低次生態系の変化

海洋の生態ピラミッドと低次生態系



狭義伊勢湾表層の植物プランクトンの小型化

広域総合水質調査5-10月期平均値



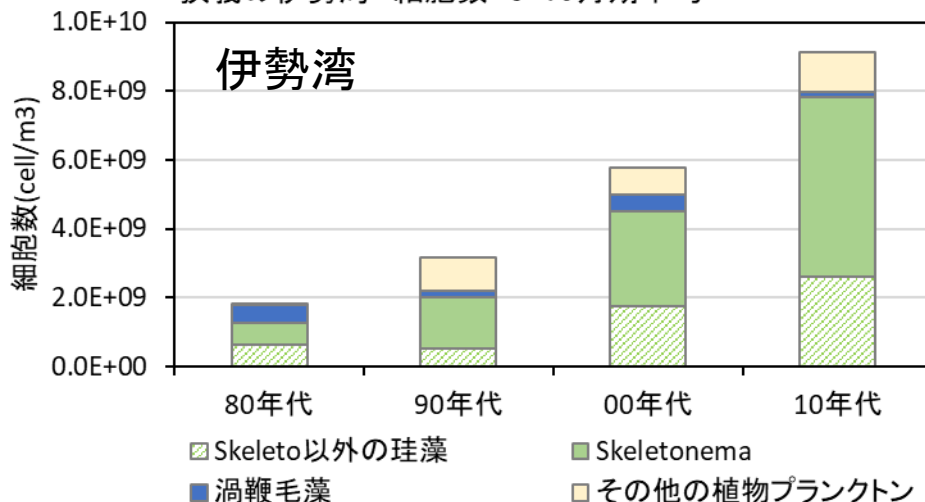
細胞体積はStrathmannの式（珪藻用）： $\log C = -0.422 + 0.758 \log V$ を全植物プランクトンに適用し算出
C：POC/植物P細胞数、V：細胞体積

狭義伊勢湾では、植物プランクトンの単位体積あたりの細胞数が1980年代から2010年代まで大きく増加してきた。植物プランクトンの炭素濃度はそれほど大きく変化しておらず、この結果は植物プランクトンの小型化を意味する。三河湾では2000年代までは細胞体積に大きな変化はなかった。

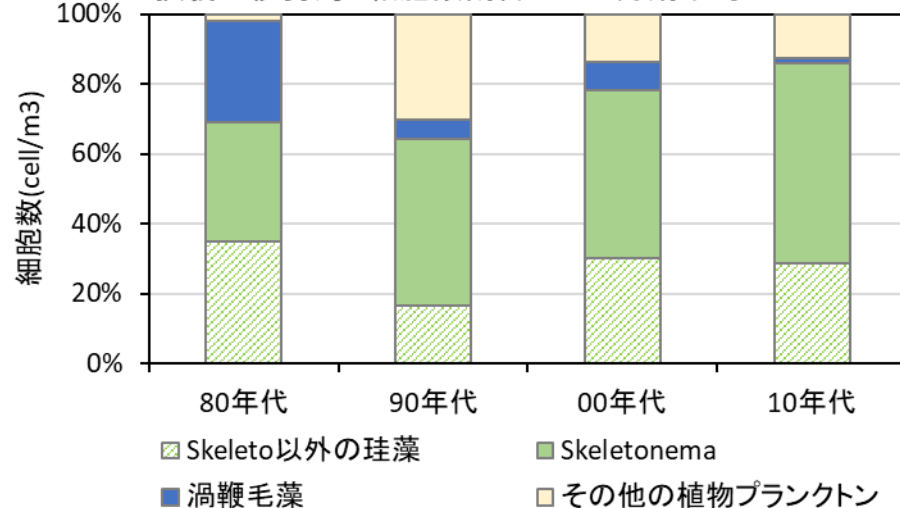
湾表層の網別植物プランクトン細胞数の年代推移

広域総合水質調査

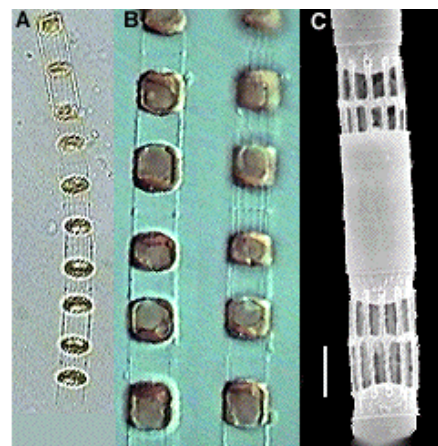
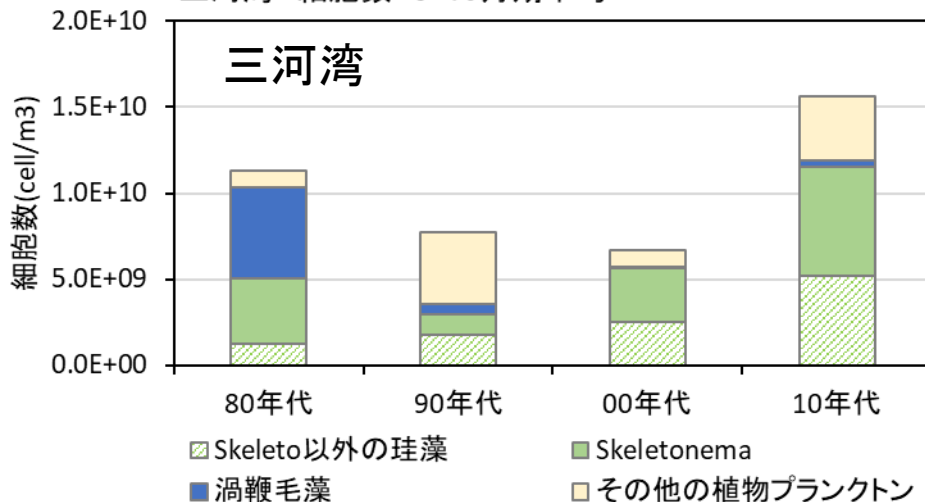
狭義の伊勢湾 細胞数 5-10月期平均



狭義の伊勢湾 細胞数割合 5-10月期平均



三河湾 細胞数 5-10月期平均

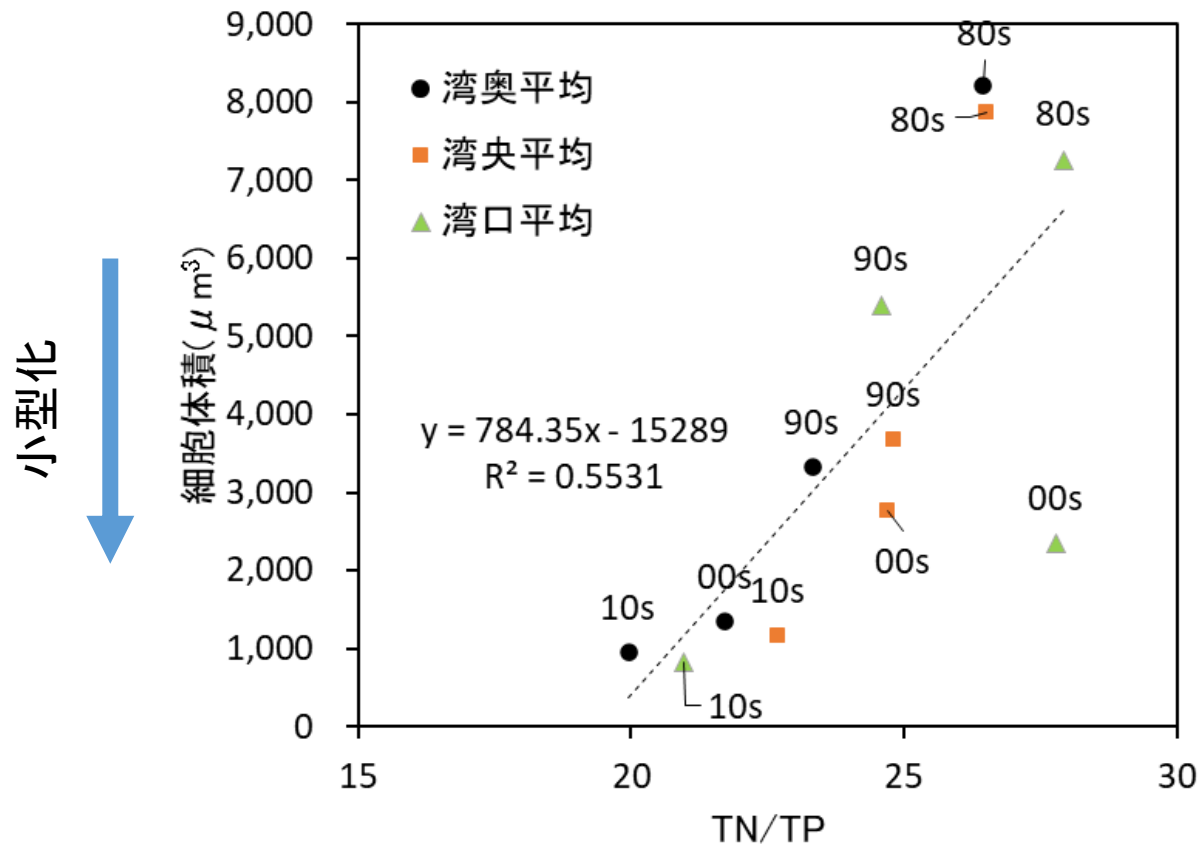


Skeletonema Costatum
(直径2~21 μ m)

写真出典: Department of
Marine Ecology, Göteborg
University, Sweden

狭義伊勢湾では、珪藻類、特にSkeletonema Costatum(中小型種、写真)の細胞数が大きく増加してきた。これが小型化の要因である。三河湾では1980年代に渦鞭毛藻(小型種)が優占しており、それが狭義伊勢湾との違いに関係している。

伊勢湾表層の植物プランクトンの細胞体積とNP比の関係



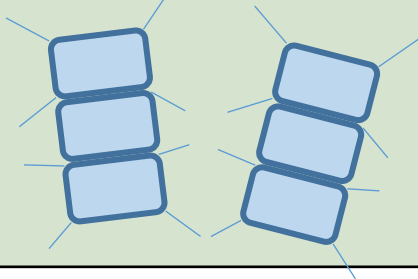
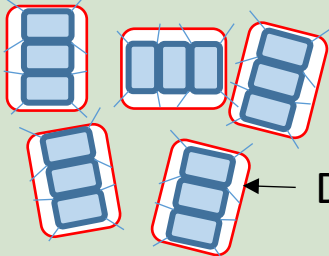
広域総合水質調査
5-10月期平均値の
データを整理

80s : 1980年代
90s : 1990年代
00s : 2000年代
10s : 2010年代

栄養塩濃度低下の中で、伊勢湾部では窒素過多の状態が徐々に解消され、TN/TPが適正值 (=16、Redfield比) に近づくに従い、細胞の小型化が生じた。

E.Sakshaugら[1]は、Skeletonema Costatumの培養試験で、NP比を増加させた場合に、細胞あたりの炭素量、窒素量、クロロフィルが増加する(大型化する)ことを見出した。

栄養塩濃度とNP比低下に伴う 植物プランクトンの小型化と基礎生産量維持機構(推定)

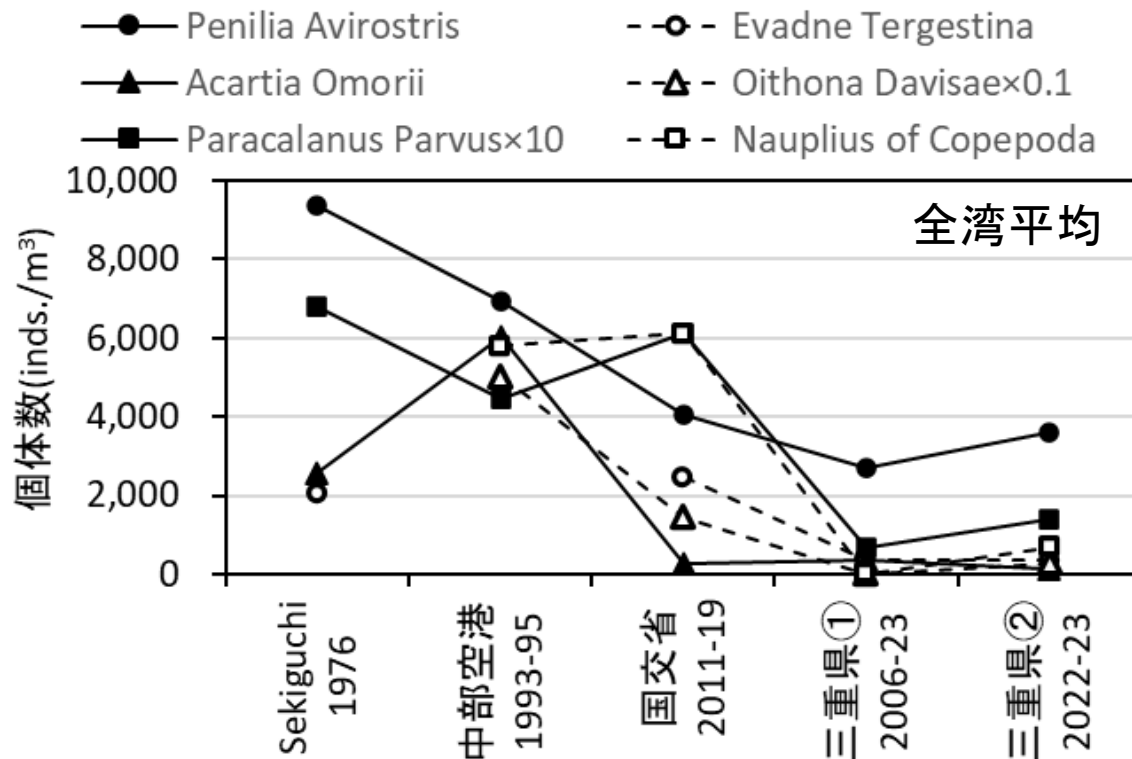
1980年代	1990年代	2000年代	2010年代
湾表層のN、P濃度とTN/TPは高い TN/TP >> 16		N、P濃度とTN/TPは低下 TN/TP≒16	
植物Pは大型 		植物Pは小型  細胞外分泌 DOCの増加	

小型化の進んだ理由(推定): 小型細胞は細胞体積あたりの周囲面積が大きいために、低濃度の栄養塩も効率良く利用でき、また増殖速度も大きいいため、大型細胞よりも早くに周囲の栄養塩を吸収し、優位になる。

基礎生産の維持機構(推定): 栄養塩濃度の低下に応じて、植物PはDOCの生産を増加させ、余分なDOCを細胞外分泌して、基礎生産量を維持した。栄養塩濃度の低下に伴う細胞外分泌についても多くの研究がある。

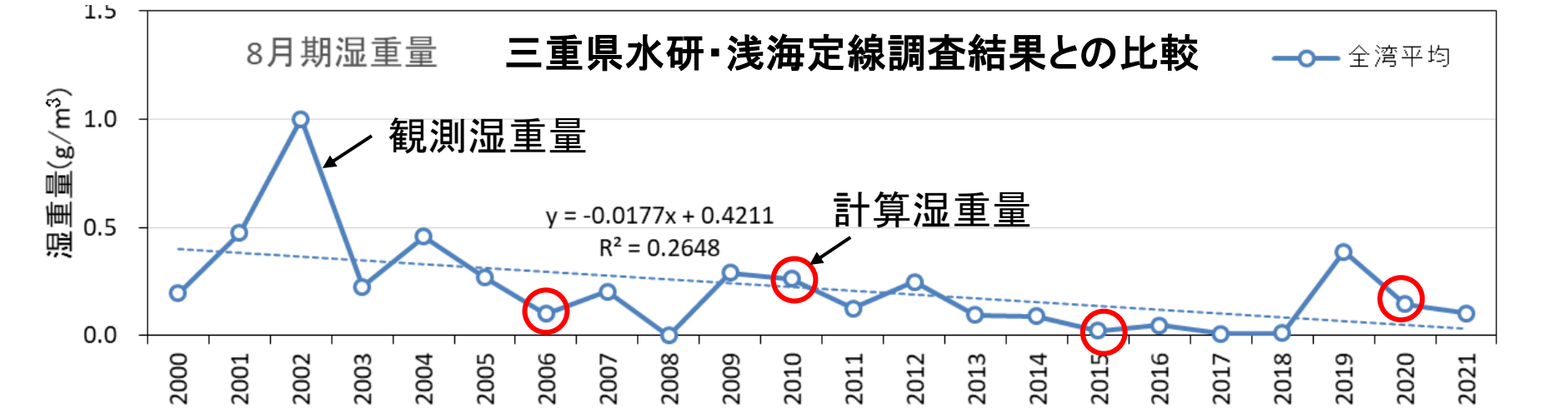
動物プランクトン優占種の個体数経年変化

調査者・機関	データ時期	目合い(mm)
Sekiguchi	1976年7～9月平均	0.33
中部空港調査会	1993～1995年7～9月平均	0.1
国交省	2011年～2023年 年平均	0.1
三重県①	2006～2020年 年平均	0.33
三重県②	2022～2023年 年平均	0.1



各調査のプランクトンネットの目合いが異なるため、厳密な比較は困難だが、動物プランクトンの個体数は大きく減少して来たように見える。

伊勢湾再生連携調査

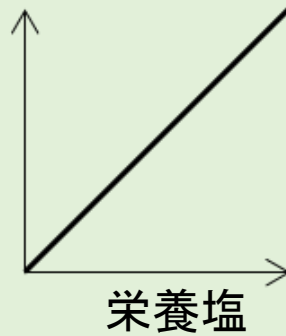


8月の観測湿重量は2000年以降に減少傾向にある。湿重量の観測値と計算値の一致度は良好で、この結果から、8月の湿重量の変動は、鰓脚綱や軟甲綱などの節足動物門の個体数の減少が影響していることが分かった。

栄養塩が原因の生態系調節

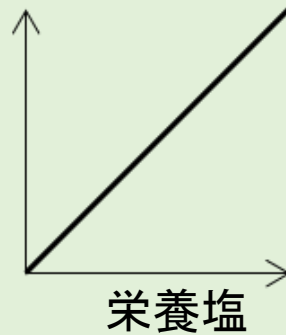
ボトムアップ
調節

大型魚介類
中型魚介類
小型魚介類



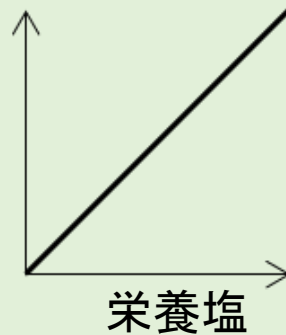
栄養塩濃度が増加(減少)すると
小・中・大型魚介類は増える(減る)

動物PL



栄養塩濃度が増加(減少)すると
動物PLは増える(減る)

植物PL



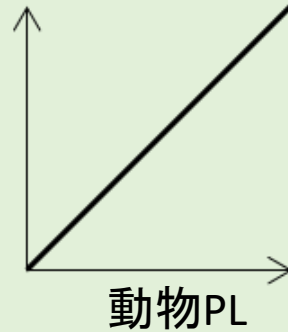
栄養塩濃度が増加(減少)すると
植物PLは増える(減る)

生態ピラミッド下位要素(栄養段階)により上位要素が変化することをボトムアップ調節と言う。
水質総量削減は栄養塩を減らすボトムアップ調節を行ったと解釈できる。
下水処理場の緩和運転は、栄養塩を増やすボトムアップ調節を狙っている。

動物プランクトンが原因の生態系調節

ボトムアップ
調節

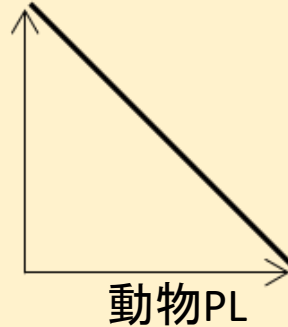
大型魚介類
中型魚介類
小型魚介類



動物PLが減る(増える)と
小・中・大型魚介類は減る(増える)

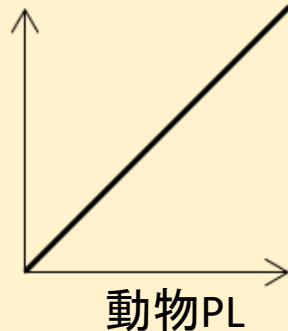
トップダウン
調節

植物PL



動物PLが減る(増える)と
植物PLは増える(減る)

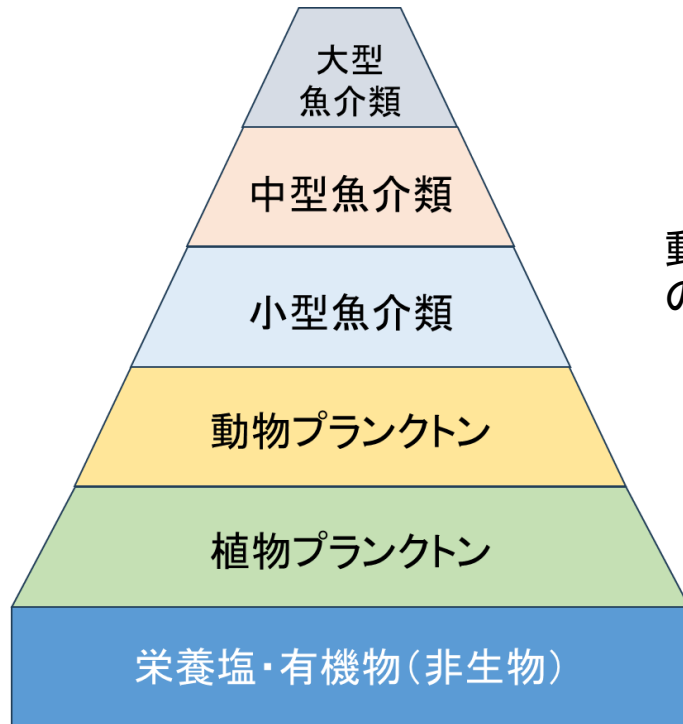
栄養塩



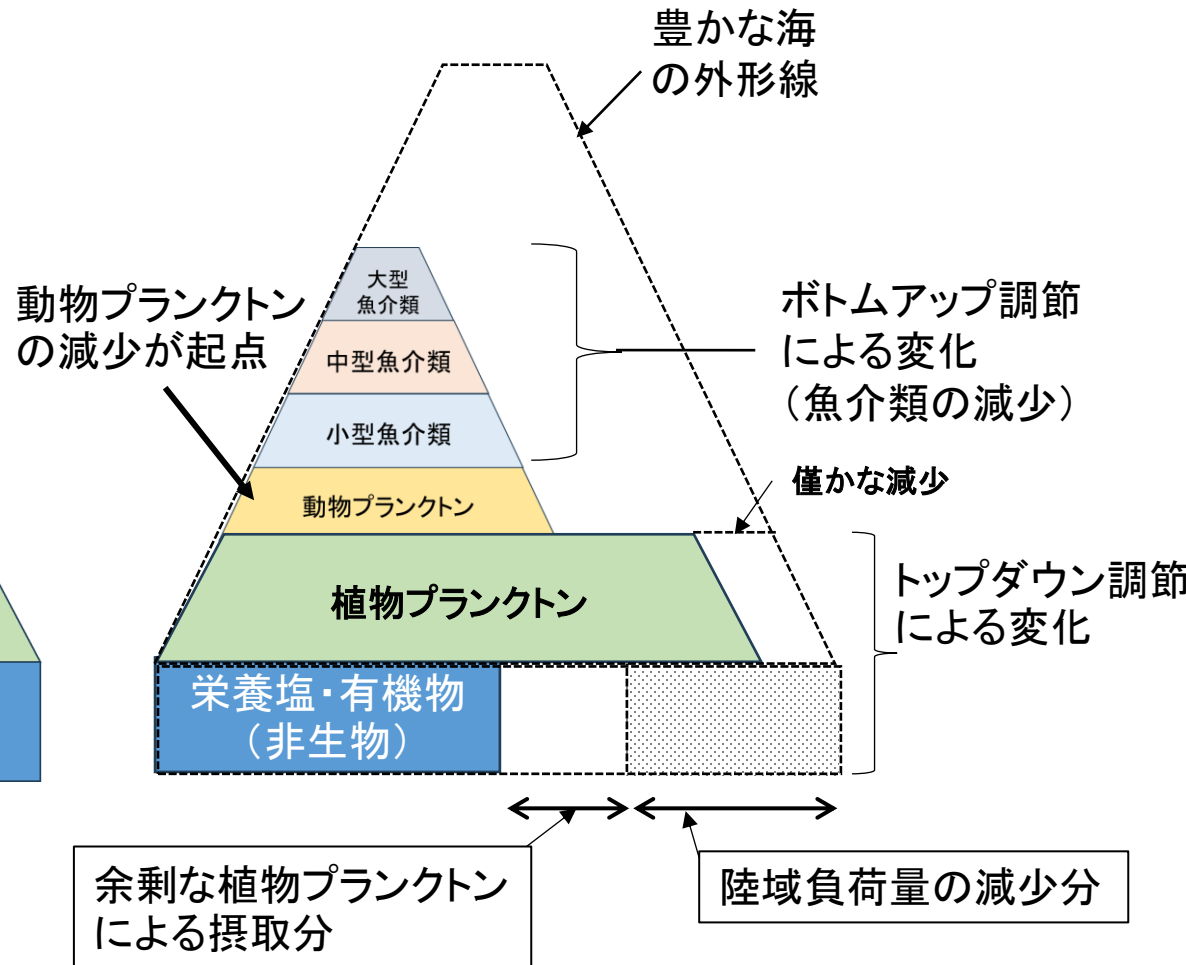
動物PLが減る(増える)と
栄養塩濃度は低下する(上昇する)

生態ピラミッド上位要素(栄養段階)により下位要素が変化することをトップダウン調節と言う。
伊勢湾では動物プランクトンの現存量が大幅に減少している可能性が推定されている。
陸域負荷量の削減に関わらず、2000年代以降に植物PLがあまり減少せず、栄養塩濃度の低下が著しいのは動物PLによるトップダウン調節の起きている可能性がある。

伊勢湾の生態ピラミッドの変容(推定)

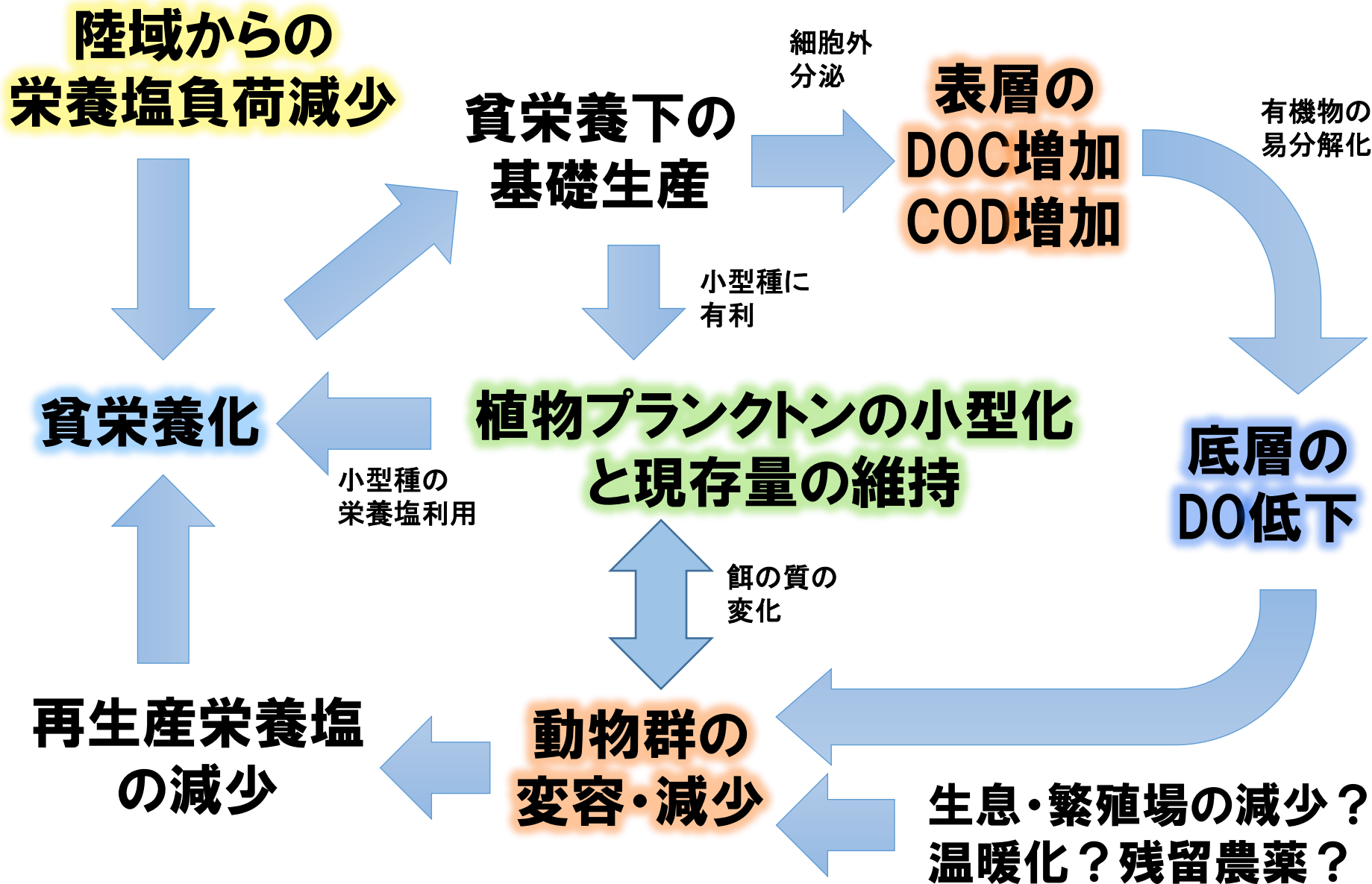


豊かな海
1960年代以前



貧相な海
2020年代

狭義伊勢湾の水質・生態系現象の連鎖図(推定)



4の主要点

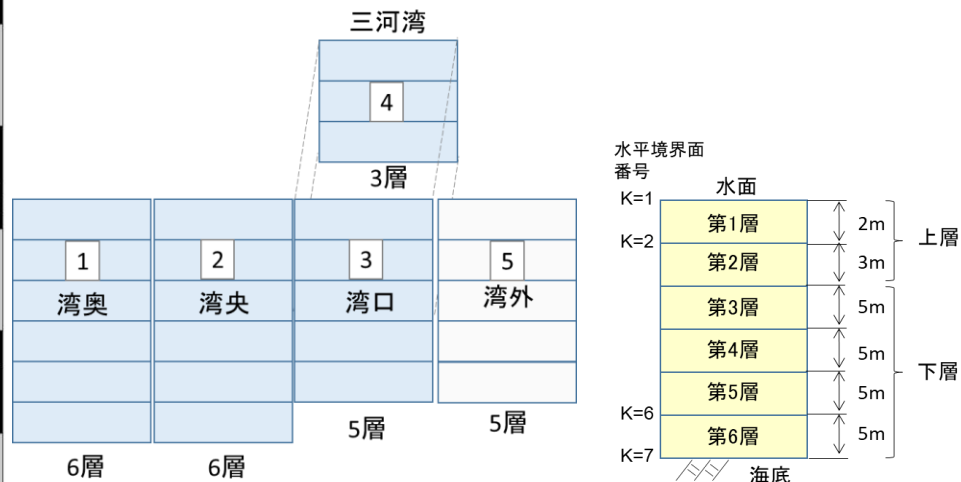
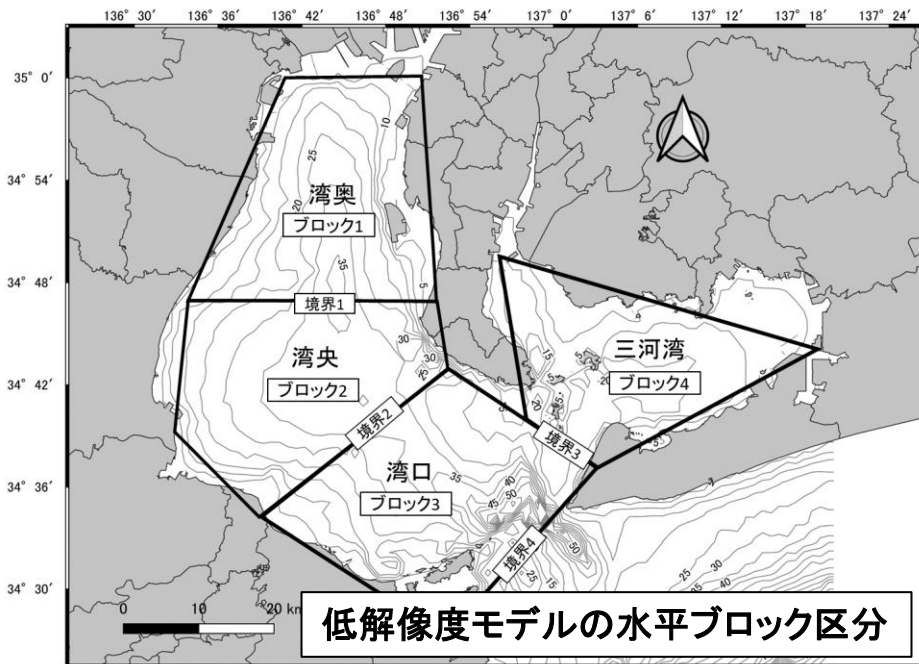
- ① **(植物プランクトンの小型化)** 狭義伊勢湾の表層の植物プランクトンの小型化は1980年代からの栄養塩濃度とNP比低下の中で生じ、細胞体積は1/10程度になった。生態ピラミッドの底辺を支える植物プランクトンの小型化は生態系に大きな影響を与えているはずである。
- ② **(動物プランクトンの減少)** 狭義伊勢湾の動物プランクトンの個体数は1970年代から大幅に減少して来たとみられ、節足動物の減少が要因の可能性はある。
- ③ **(生態ピラミッドの変容による貧栄養化の発生)** 動物プランクトンの減少により、生態ピラミッド上位の生物群は減少し(ボトムアップ調節)、植物プランクトンは増加し(※)、栄養塩濃度は低下した(トップダウン調節)可能性がある。(※)陸域負荷量が低下したので、植物プランクトンは減少した。

5. 伊勢湾の環境動態の解明に向けた 三重県との共同研究の概要

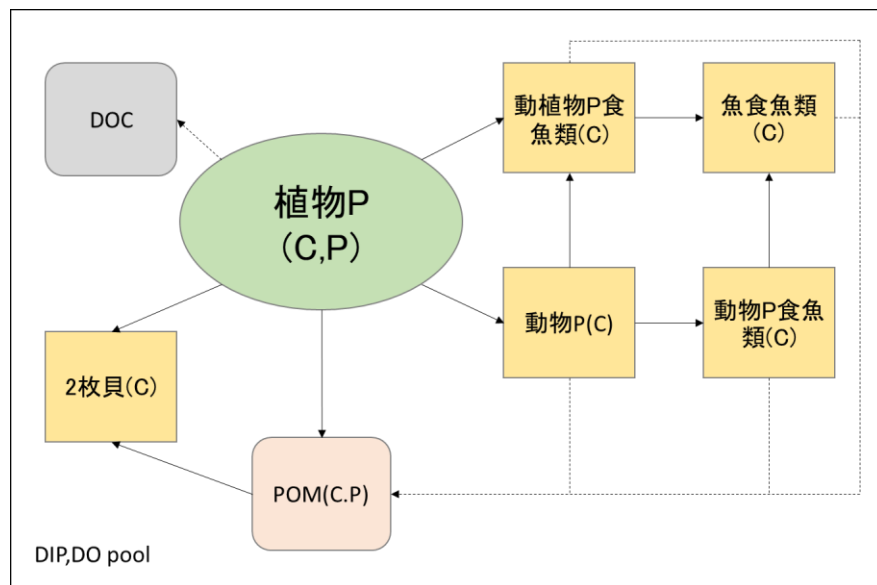
三重県との共同研究

2016年度～現在まで	伊勢湾再生調査研究 • 海底堆積物の有機物量と堆積速度調査 • 海水中の有機物の生分解速度調査 • 植物プランクトン優占種のサイズ調査 • マクロベントスの調査 • 動物プランクトンの調査(過去資料含む)
2022年度～2026年度	漁場生産力向上対策事業(委託研究) • 「きれいで豊かな伊勢湾」再生に向けた、水質と生物生産のバランスがとれた伊勢湾の目指すべき姿とその方策の提案に係る数値モデル解析

漁場生産力向上対策事業



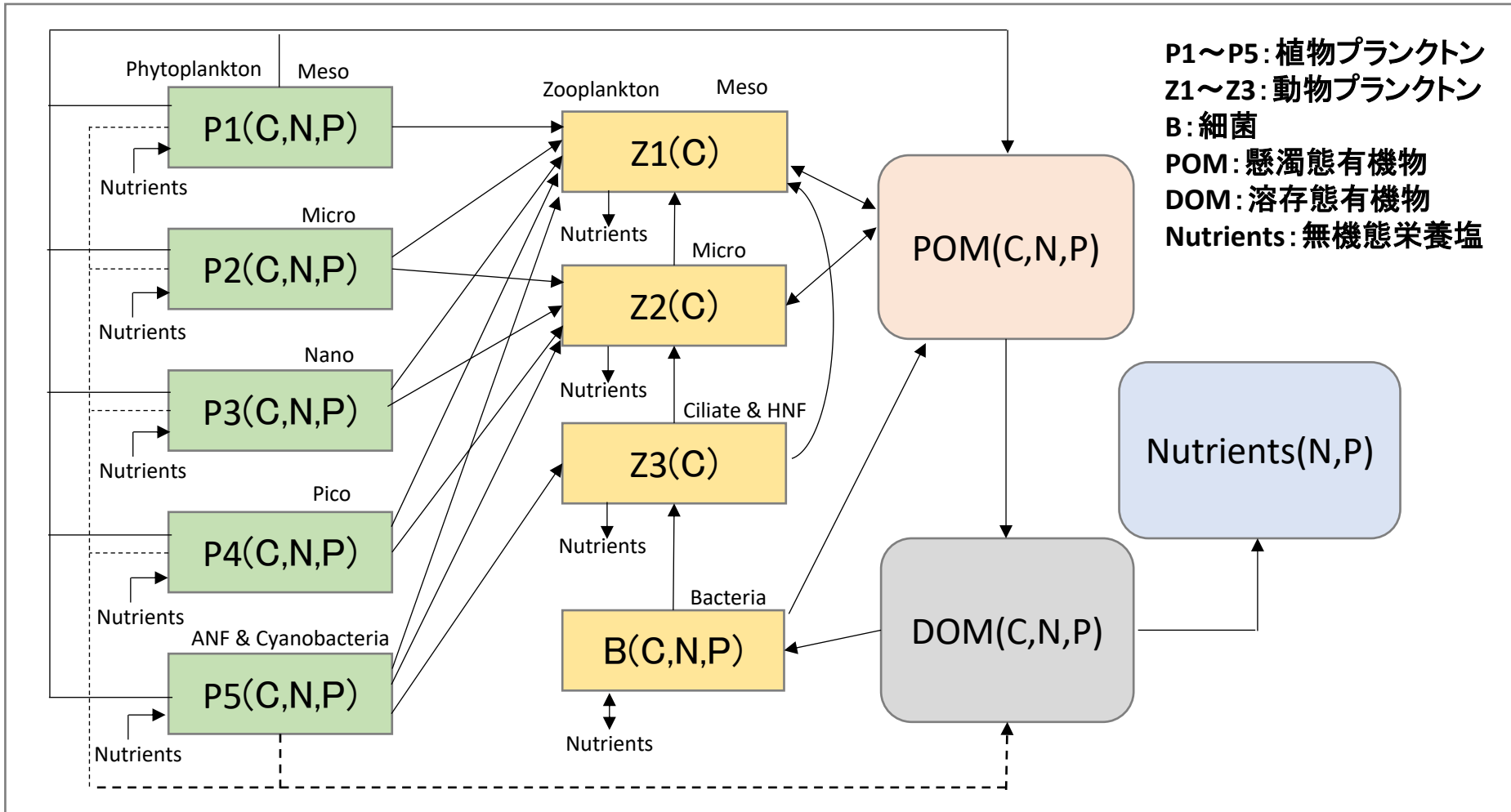
低解像度モデルのブロックの層数と鉛直幅



(左)細胞外分泌考慮・従来型生態系モデルのコンパートメント関係図
(初期モデル)

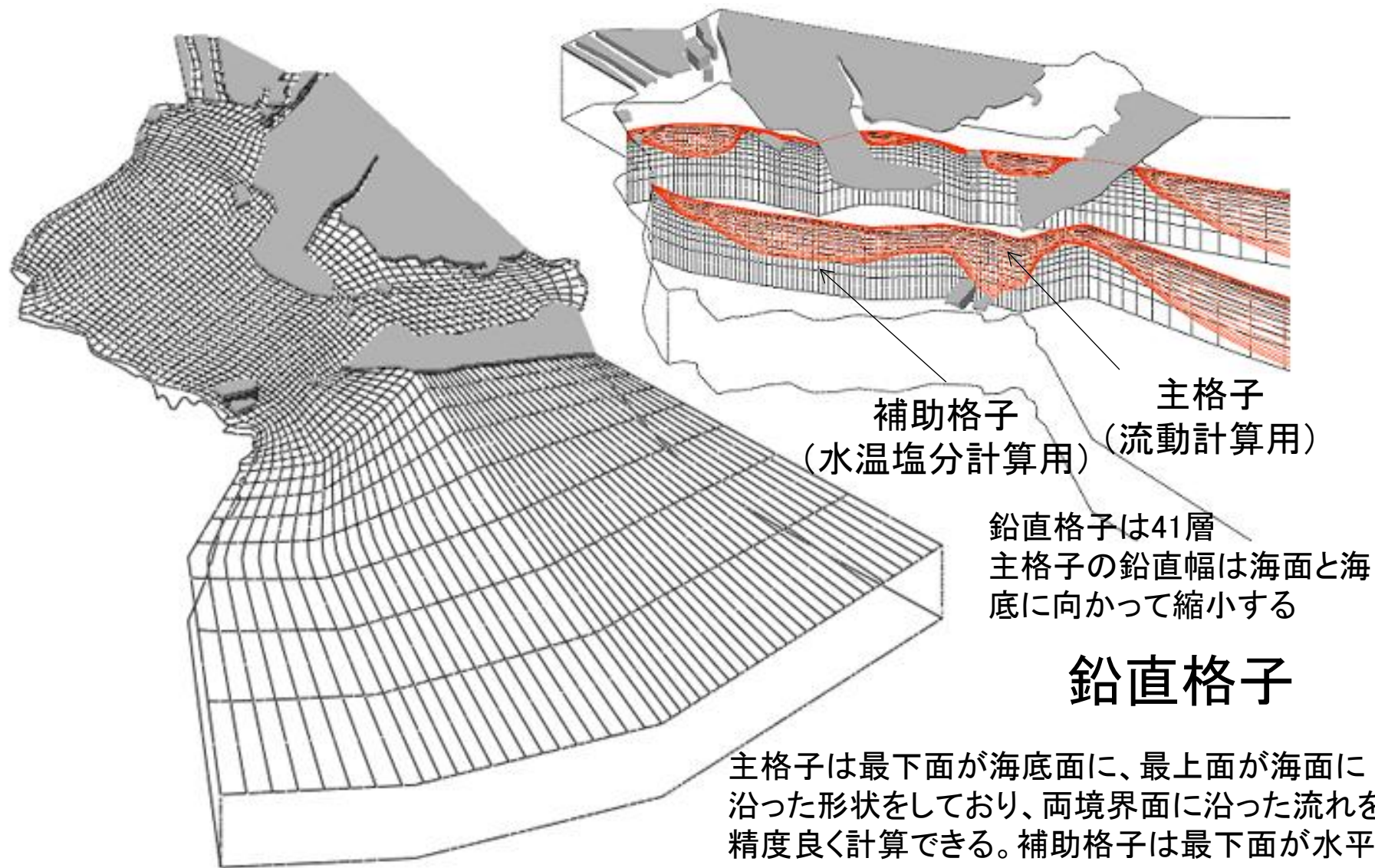
出来るだけ小さなモデルを作成して、多数のモデルパラメータの影響を調査し、また年次推移を詳しく調査した。

ERSEM型生態系モデルのコンパートメント関係図



植物と動物Pのコンパートメント数は任意に変更可能。今回の研究では植物プランクトンを5種、動物プランクトンを3種として解析を行った。細菌が考慮されており、微生物ループによる物質循環を考慮できる。

高解像度モデルの水平と鉛直格子



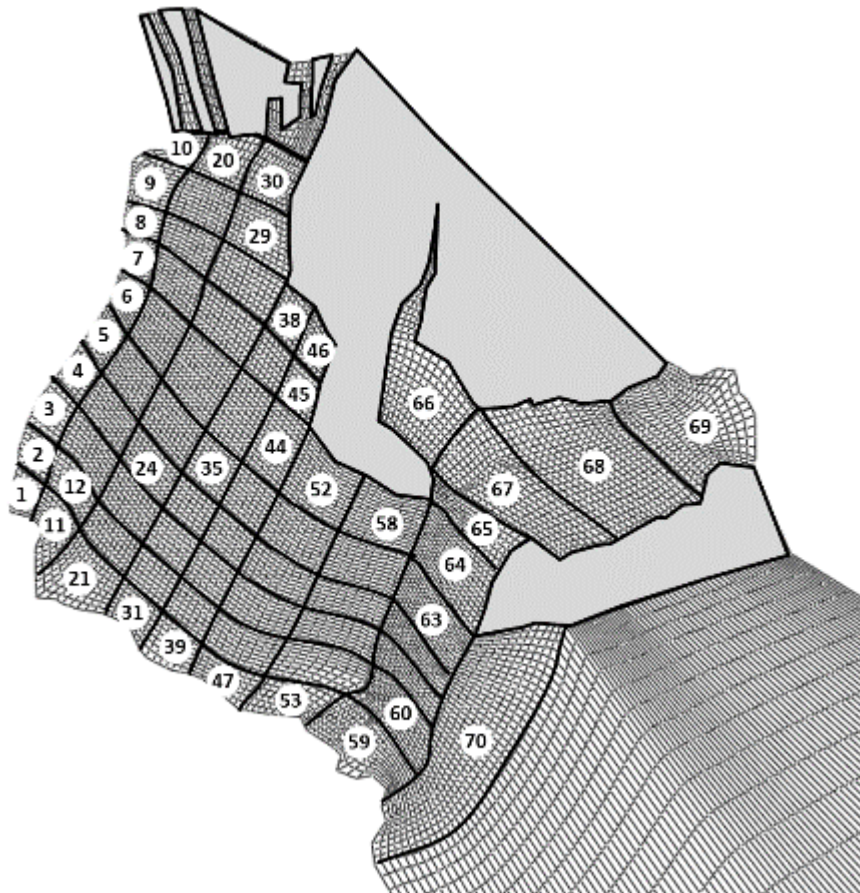
鉛直格子

主格子は最下面が海底面に、最上面が海面に沿った形状をしており、両境界面に沿った流れを精度良く計算できる。補助格子は最下面が水平で、ほぼ直交格子となっており、密度の勾配計算の誤差を抑えている。両格子間では流速と水温塩分を補間計算でやり取りしながら計算を進める。

水平格子

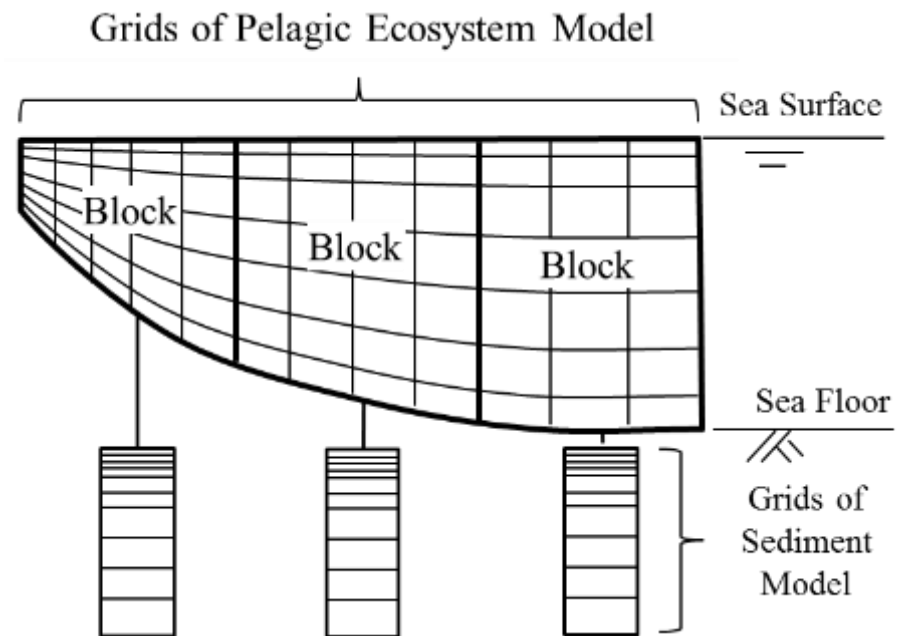
水平格子幅は約500m

高解像度モデルの生態系計算用格子



水平格子

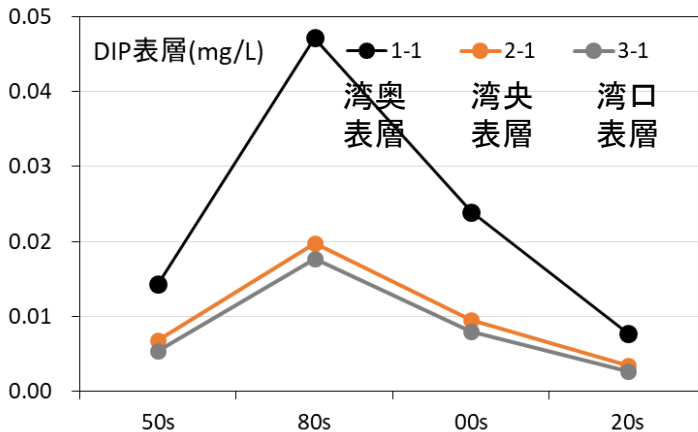
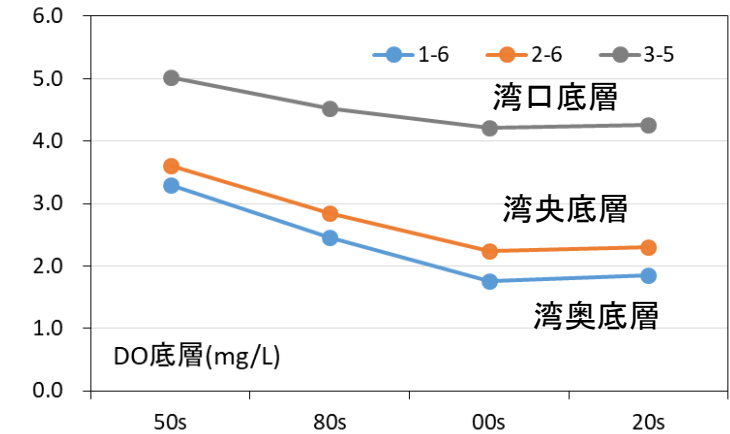
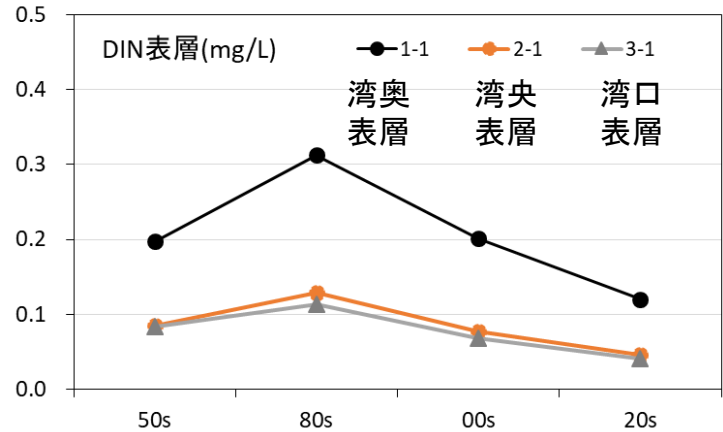
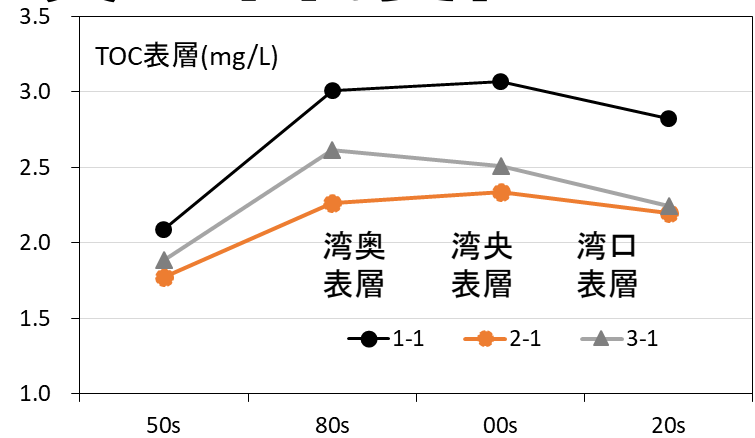
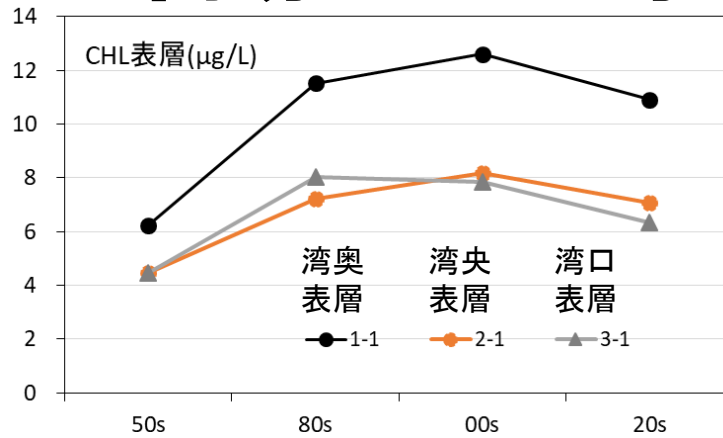
丸数字はブロック番号を示す。
各ブロックに堆積物モデルが1個接続する



鉛直格子

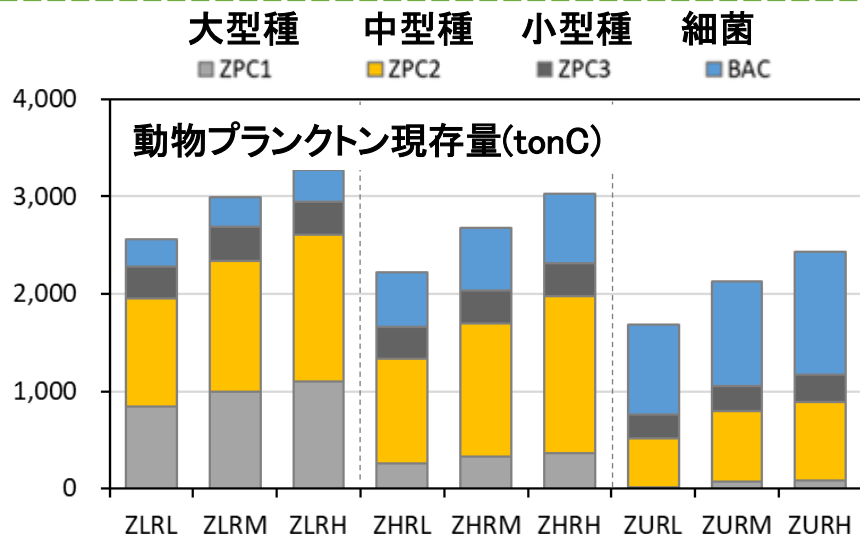
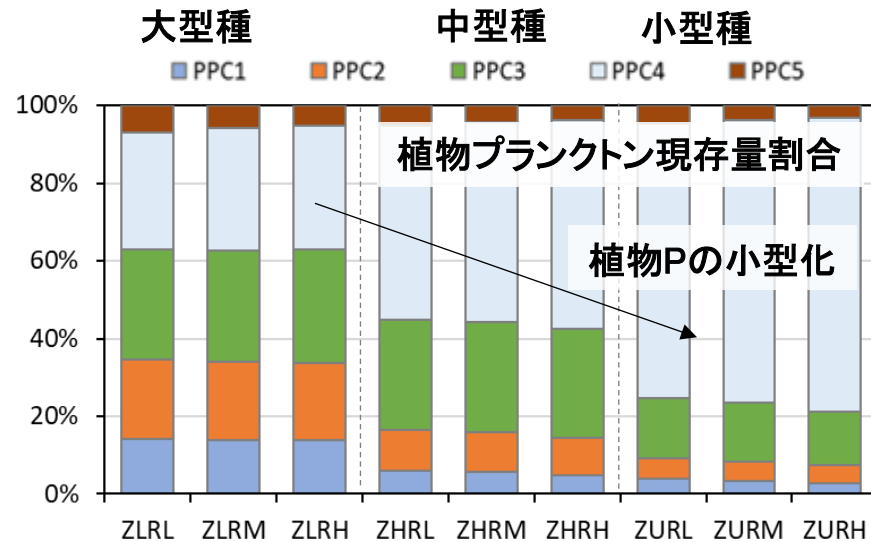
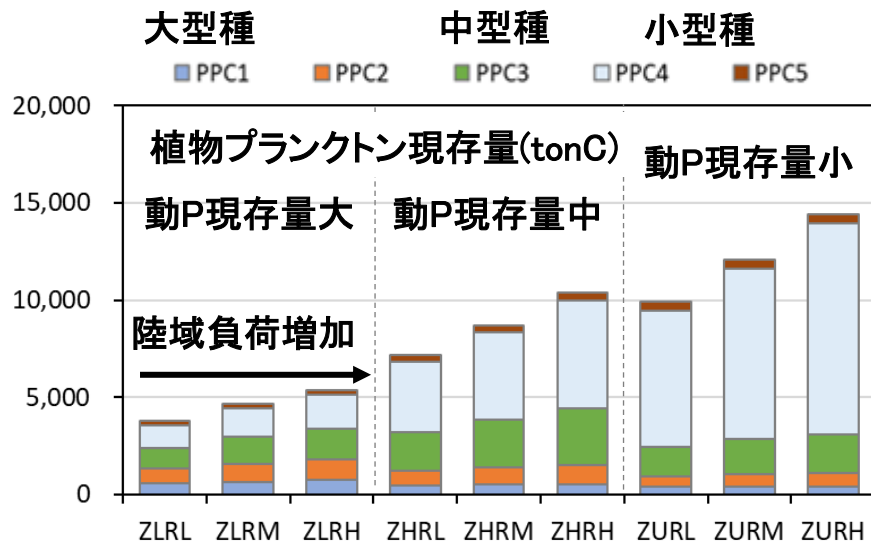
堆積物モデルは鉛直1次元モデル(31層)と
簡易モデルの2種類があり、計算時に選択する。
2024年度の検討では簡易モデルを使用。

簡易モデルで求めた水質の年代変化



実際の陸域負荷量に合わせた計算を実施したが、表層のクロロフィル、無機態栄養塩、TOCと底層の溶存酸素DOは観測値の年代変化は良好に再現された。

簡易モデルによる動植物プランクトンの現存量の変化



陸域負荷量

小: RL (1950年代・2020年代レベル)
中: RM (1970年代・2000年代レベル)
大: RH (1980年代レベル)

動物プランクトン減耗速度

小 : ZL : $0.02d^{-1}$
中 : ZH : $0.10d^{-1}$
大 : ZU : $0.15d^{-1}$

陸域負荷量と動物プランクトンの減耗速度の変化を組み合わせ、植物プランクトンの現存量の年代変化を再現した。陸域負荷の増減は植物プランクトンの現存量割合にはあまり影響せず、動物プランクトンの現存量の変化が植物プランクトンの現存量割合に強く影響するという結果を得た。

5の主要点

- ① **(数理モデルの開発)** 過去の様々な観測結果を分析した結果、明らかになった伊勢湾の水質と低次生態系の経年変化を再現して、その原因を探るために数理モデルの開発を進めている。
- ② **(特徴的な現象の再現確認)** 簡易数理モデルの解析の結果、伊勢湾の特徴的な現象(表層の栄養塩濃度の低下、基礎生産量の維持、植物プランクトンの小型化、海底の貧酸素化が同時に発生)の再現の可能なことが確認された。
- ③ **(植物プランクトン小型化の原因)** 植物プランクトンの小型化は、陸域負荷量の低下ではなく、動物プランクトンの減少により発生するという結果が得られた。(現在も検討中)
- ④ **(高解像度モデル)** 2025年度からは、高解像度モデルにて解析を実施中である。

6. 伊勢湾再生の方策案

伊勢湾再生の方策案

基本案

1. 下水処理場の管理運転による海域への栄養塩負荷の調整と、その応答の把握（県の関係部門の連携、漁業者との情報共有）
2. 干潟藻場の再生の積極推進（行政・漁業者・市民の連携、ブルーカーボン考慮）
3. 伊勢湾の環境動態のさらなる研究（行政・大学の連携）

発展案

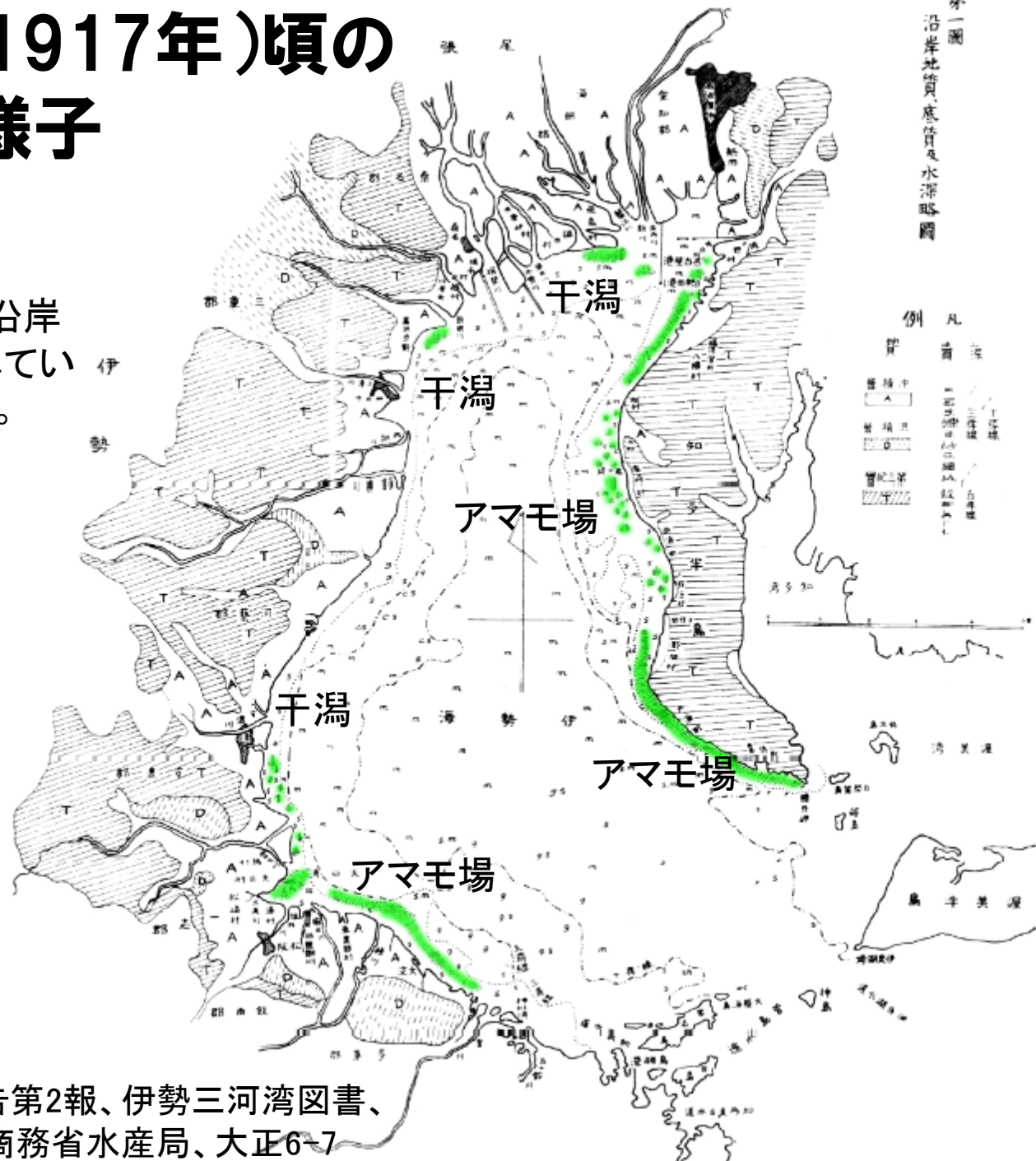
1. 干潟藻場の再生への企業の参入（総量削減に費やしている企業予算を干潟藻場再生に振り向けられないか。NPオフセット。）
2. ネオニコチノイド系残留殺虫剤の濃度調査（水質、底質調査）

大胆案

1. 貧酸素改善のための鉛直混合促進システムの導入（洋上風力発電・既存火力発電所の冷却水取水の利用）

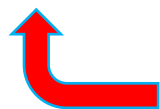
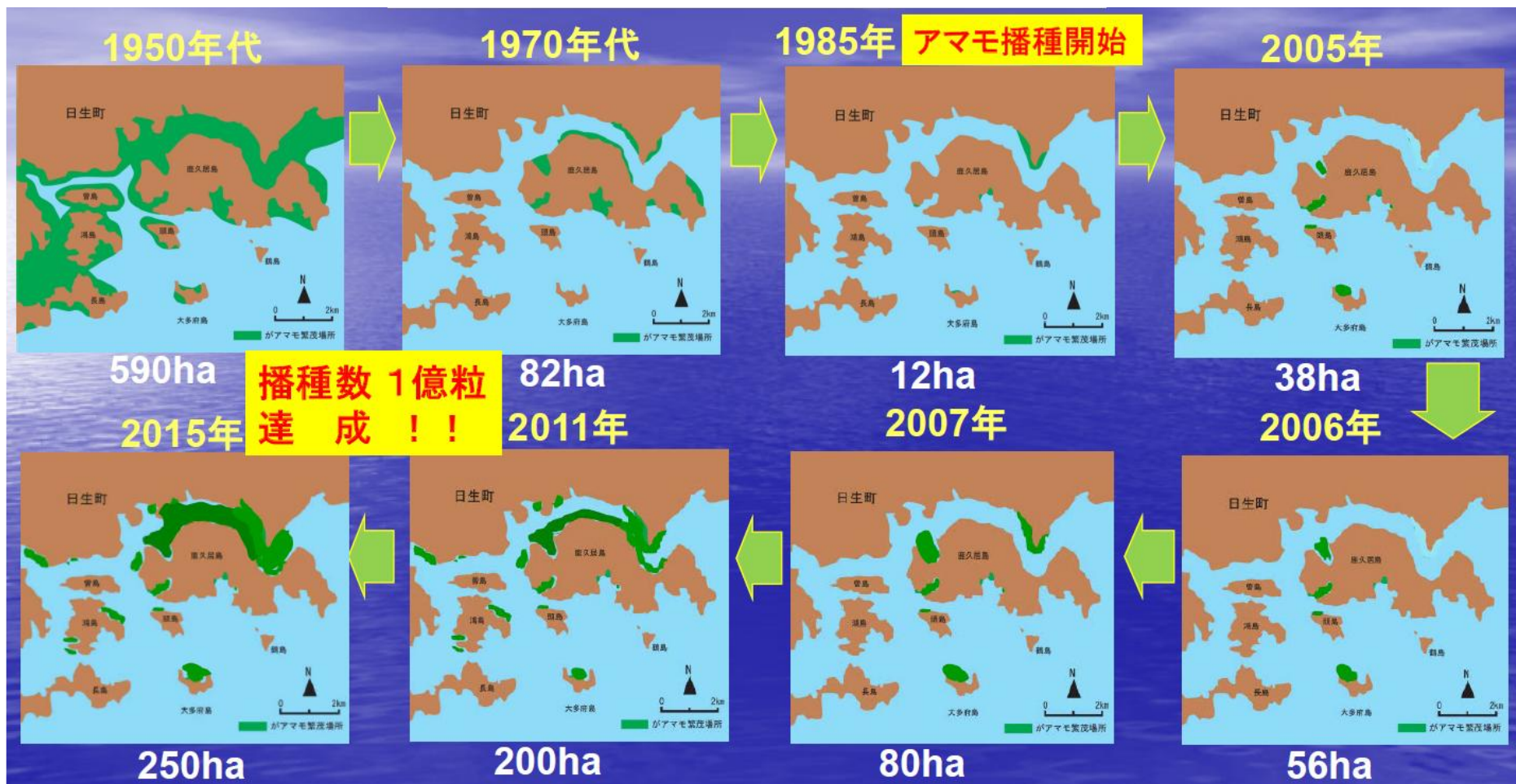
大正6年(1917年)頃の 伊勢湾の様子

「豊かな伊勢湾」の沿岸
にはアマモが繁茂してい
たという事実がある。



出典：浅海利用調査報告第2報、伊勢三河湾図書、
農商務省水産局編、農商務省水産局、大正6-7

町と漁業者と市民が連携してアマモ場を復活させた事例 ～岡山県日生のアマモ場の再生の様子～

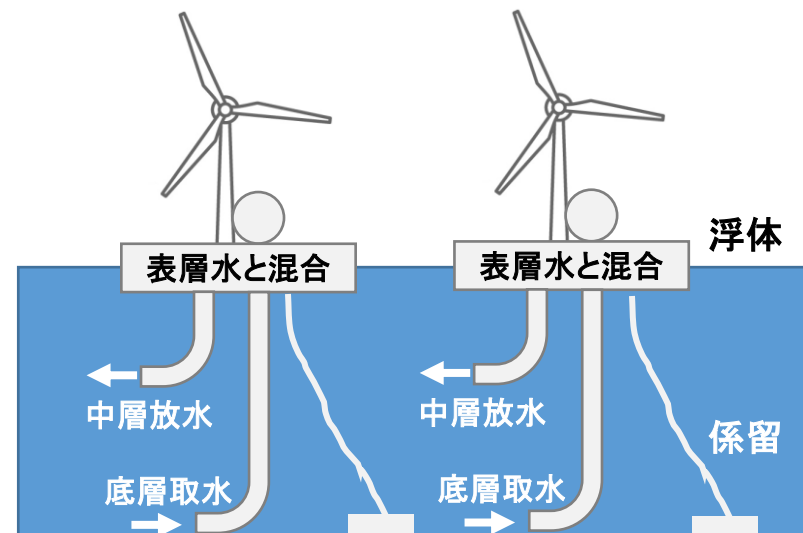
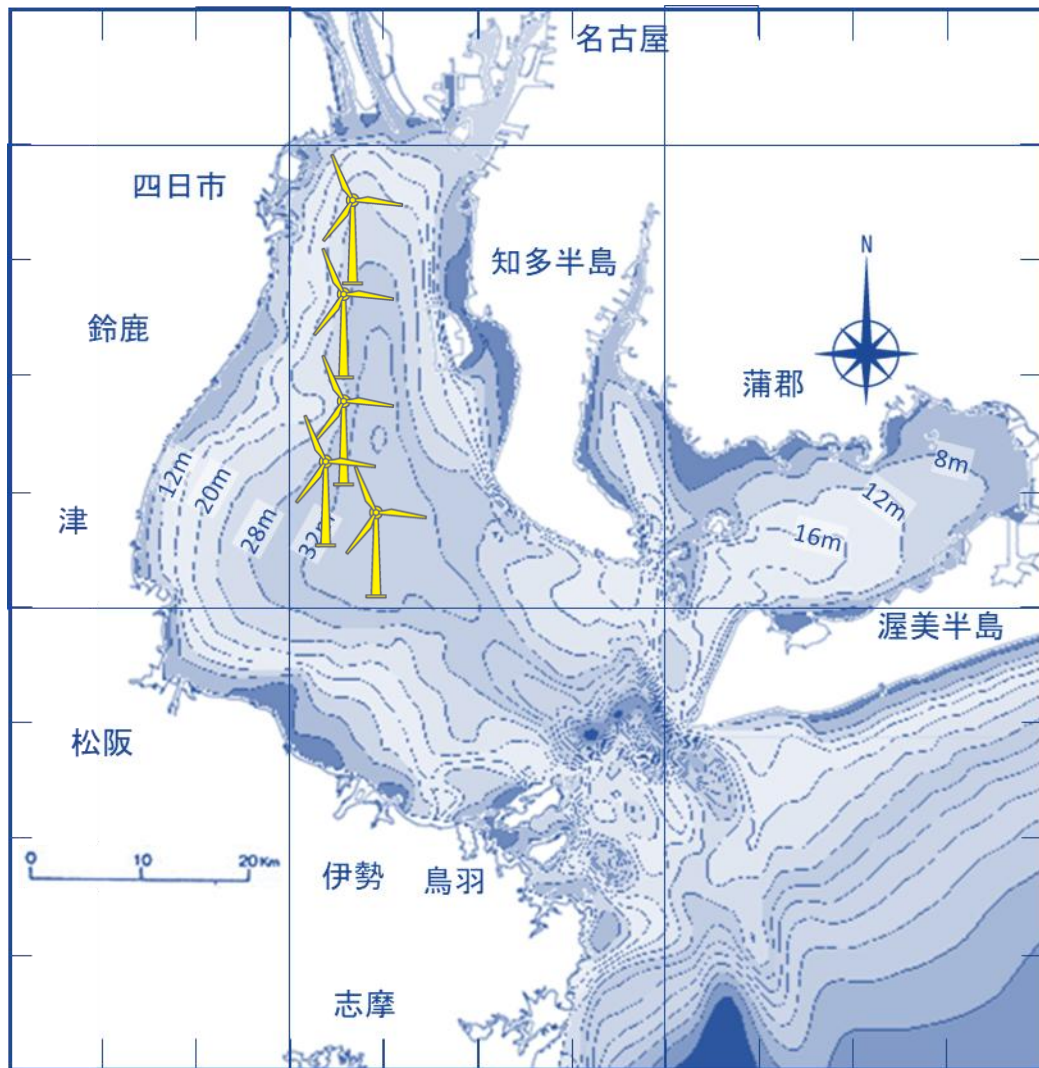


2010年頃から急速にアマモ場が回復している

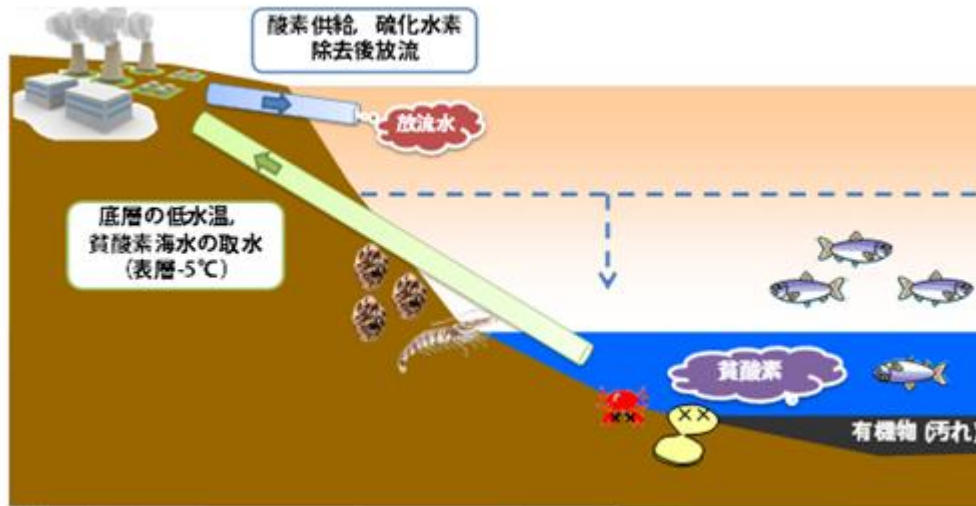
出典：岡山県日生町地先におけるアマモ場再生の取り組み、NPO里海づくり研究会議、田中文裕

風力利用の鉛直混合促進システム

または、洋上風力発電所の余剰電力を利用した 鉛直混合促進システムの大規模導入



湾中央底層からの火力発電所冷却水の取水



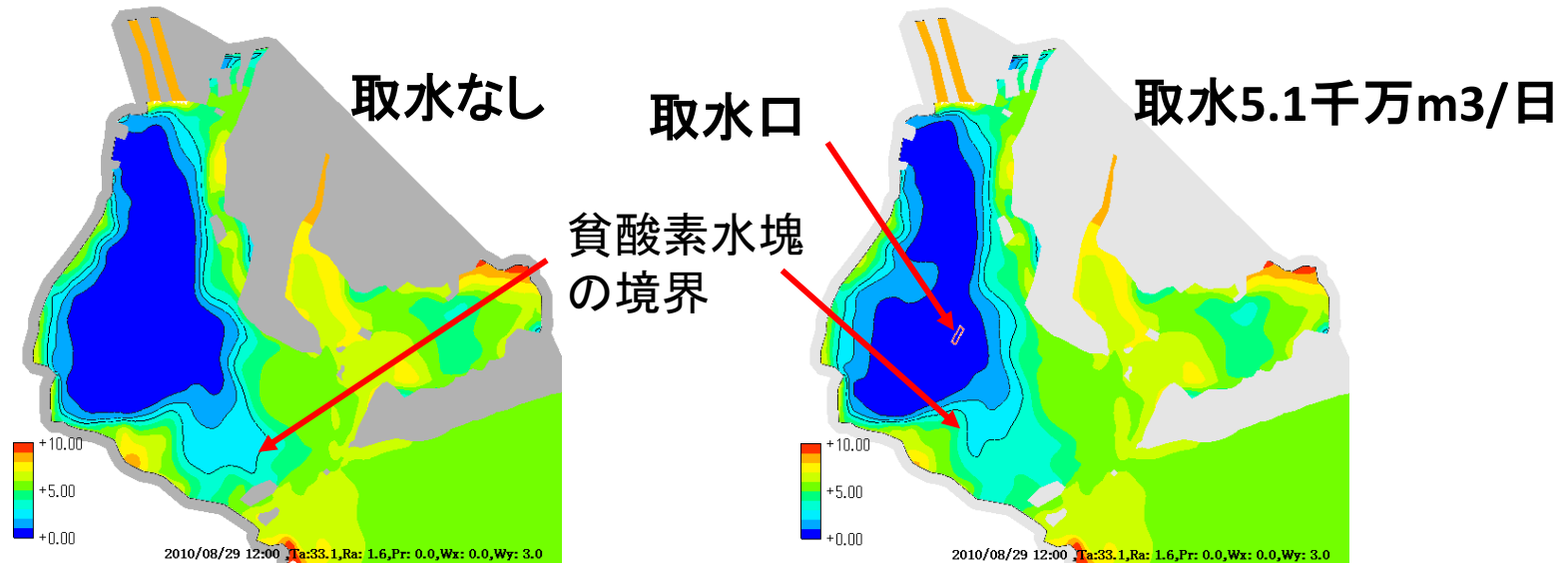
メリット

底層の栄養塩の循環供給(色落ち対策)
夏場の発電効率アップ

課題

放流水の水質管理
取水管の延長コスト(シーバーズの利用?)
長大な取水管の清掃

シミュレーション例



海底直上の溶存酸素濃度(mg/L)