

課題番号：Ⅲ－１）

課題名：栄養塩類等の水質環境の変化が閉鎖性内湾の動・植物プランクトン等の低次生態系に及ぼす影響の解明

水産研究・教育機構 水産資源研究所

寒川清佳，青木一弘，渡辺剛，堀正和，澤山周平，大場智央，横内一樹，川内陽平（社会・生態系システム部）

寛茂穂，田所和明（海洋環境部）

愛知県水産試験場

柘植朝太郎，谷川万寿夫，松村貴晴，河住大雅，大澤博（漁場保全グループ）

中島廉太郎，荒木克哉，深澤璃衣（海洋資源グループ）

三重県水産研究所

久世紘聖・栗山功（鈴鹿水産研究室）

【背景・目的】

近年、伊勢・三河湾における水産資源量の減少や低迷が顕著になっている。その要因として、貧栄養化等の環境変化に伴う動・植物プランクトン等の低次栄養段階に位置する生物生産の低下が指摘されている。しかし、それらがどのように変動し、水産資源に影響するかは未解明な点が多い。また、湾内の栄養塩等の水質環境の変化に外洋水が与える影響が考えられるが、外洋と湾内の循環関係についてはよく分かっていない。本課題では、栄養塩動態等に影響を与える外洋からの循環関係を評価し、栄養塩類等の水質環境の変化が動物プランクトンや植物プランクトン等の低次生態系に与える影響を明らかにすることを目的とする。

伊勢・三河湾において定期的な現地調査と自動観測ブイによる連続観測を実施して、栄養塩類等の水質環境および動・植物プランクトンについて現況を把握するとともに、過去の観測と比較してそれらが時間的・面的にどのように変化しているのかを把握する。また、既存の海洋観測資料および生物試料の収集・整理・分析を行い、動物プランクトンと植物プランクトンの群集構造とその季節・経年変動を統計的解析手法を用いて解析して、その変動に影響を及ぼす外的な環境要因および内的要因について比較検討する。さらに、外的要因を高度に評価するために、湾内外の循環構造および栄養塩動態のモデル評価を着手する。

【方法】

（１）水質環境と動・植物プランクトンに関する定点観測の実施

伊勢・三河湾の愛知県沿岸域（図１）において、概ね月１回以上の調査を実施し、水温、塩分、溶存酸素などの観測を行うとともに、主な環境指標である窒素、リンやクロロフィル *a* の分析を行った。試水を検鏡して、植物プランクトンの密度、およびその構成を把握した。また適宜、プランクトンネット等により伊勢湾と三河湾において、動物プランクトンを採集した。さらに自動観測ブイ３基を用いて連続観測を行い、三河湾内の水質環境について時間的な変化を把握した。またこれらの観測結果、分析結果は研究グループ内で共有され、水質環境と動・植物プランクトンの関連性の解析に資した。

(2) 水質環境が動・植物プランクトンの組成や量に与える影響の検討

本年度は、伊勢・三河湾において、季節ごとに実施された海洋観測から得られたデータと試料を分析し、当海域における低次栄養段階に位置する生物の生産過程の特徴を把握した。これまでに収集・整理した観測データと生物試料の分析を引き続き進め、経年的に変化する植物プランクトンと動物プランクトン群集の季節変動に水質環境の変化が与える影響を検討した。また生態系モデルにつながる情報を提供するため、群集の炭素量換算を進めた。

具体的には、(2) -1 では、K5 地点 (図 1) の表層 (0m) と中底層 (5, B-1m) において、植物プランクトン各種の 2004-2023 年度の平均細胞数を算出し、上位 5 属・種と近年増加している小型種について各層の変動傾向を比較した。変動傾向は Mann-Kendall 検定を適用し、傾向の有意性を統計的に検討した。また、平均細胞数上位 5 属・種については炭素量換算してその長期的傾向を解析した。各種の 1 細胞あたりの炭素量は *Skeletonema* 属は 22.5 pg/cell, *Chaetoceros* 属は 112.8 pg/cell, *Thalassiosira* 属は 123 pg/cell, *Pseudo-nitzschia* 属は 86.9 pg/cell, *Leptocylindrus danicus* は 123 pg/cell とした (Harrison et al., 2015)。加えて水質環境と植物プランクトン細胞数の関係を明らかにするため、長期的な定点観測のデータ (2004-2023 年度, 5m 層のみ 2015 年度以降) を用いて、各水質項目 (水温, 塩分, TN, TP, DIN, DIP, Chl. *a*) と植物プランクトン分類群ごとの総細胞数の相関分析を行った。更に、植物プランクトンの総細胞数, 珪藻類細胞数, 渦鞭毛藻類細胞数, 小型種細胞数, *Skeletonema* 属と *L. danicus* (長期的に有意な変動を示した 2 種) の細胞数を応答変数, 水温, 塩分, 全窒素 (TN), 全リン (TP), DIN, DIP を説明変数とした一般化線形モデル (GLM) 解析を行った。

伊勢・三河湾の植物プランクトン群集について、これまでクロロフィル *a* 濃度に基づき栄養塩濃度の低下にともなう植物プランクトン現存量の低下が指摘されてきた。しかし、量的な変化だけでなく質的 (群集組成) な変化も生じていると推察される。そこで、知多湾における栄養塩増加運転試験に着目し、試験開始「前」と「後」の植物プランクトン群集の経年および季節変動を捉えるために、試験「前」の植物プランクトン群集データ (2004~2016 年度) を用いてクラスター解析に基づく群集の類型化を行い、各グループの平均的な組成を計算し平均組成からの距離で試験「後」の群集 (2017~2023 年度) を割り当て、各グループの特徴と優占する生物群の経年および季節的な変動パターンを解明した。

(2) -2 では、三河湾における動物プランクトン群集の長期変化を調べるため、三河湾西部の観測点 P27 (図 1) で、2020 年 1 月~2023 年 12 月の期間に、改良型ノルパックネット (335 μ m 目合, 口径 45cm) 曳網で採取された試料の同定を行い、水柱積算個体数を算出した (inds. m⁻²)。また、動物プランクトン観測点 (P27) に最も近い三河湾西部の環境観測点 K5 の 3 層で観測されたクロロフィル *a* 濃度より水柱積算値を算出し、カイアシ類とミジンコ類の水柱積算個体数との相関係数を算出した。

(3) 湾内の循環構造や栄養塩動態評価モデルを用いた検討

本年度は、これまで収集した既存の海洋観測資料の解析や、湾内の循環構造や栄養塩動態を評価するためのモデルを用いて、環境および栄養塩循環の経年・季節変動の把握に着手した。また、評価モデルの高度化を併せて進めた。

具体的には、(3) -1 では、三河湾西部の知多湾における栄養塩循環の変化を検討するために、愛知県水産試験場の調査、環境省による公共用水域水質調査および広域総合水質調査および国交省水文水質データベースから得られた知多湾の溶存態無機リン濃度および矢作川の全リン濃度・河

川流量および三河湾中央部の底質データを用いた解析を行った。当海域の制限栄養塩はリンであることから、リンの物質循環に着目した(Aoki et al., 2025)。

(3) -2 では、既存の海洋観測資料や流動モデルの結果を用いた粒子追跡モデルを構築し、伊勢湾・三河湾およびその周辺海域の循環構造および栄養塩動態を評価した。R7 年度は、粒子追跡モデルによる三河湾への DIN 流入量についてアンサンブル計算し、バラツキを評価した。アンサンブル計算は放流タイミングをこれまでの毎時 0 時のみから、毎時 1, 3, 5, … 23 時とした。また、伊勢湾、三河湾全体の DIN 現存量の推定も行った。観測データでは海面と底層の DIN 濃度しかないため、湾全体の 3 次元的な DIN 濃度分布を推定して、湾平均した DIN 濃度を求めた。観測された DIN 濃度を観測位置（緯度・経度・水深）および MOVE による観測位置の水温・塩分から推定するため、これらのデータセットを毎月分作成した。GAM（一般化加法モデル）により緯度・経度・水深・水温・塩分を説明変数とした DIN 濃度を推定する関係式を求めた。得られた関係式に流動モデル MOVE の格子点の値を与え、全域の DIN 濃度を推定した。

【結果】

(1) 水質環境と動・植物プランクトンに関する定点観測の実施

伊勢・三河湾の愛知県沿岸域において、月 1～2 回調査を実施し、水温、塩分、溶存酸素などの観測を行うとともに、主な環境指標である窒素、リンやクロロフィル *a* (Chl.*a*) の分析を行い、データを蓄積した。試水を検鏡して、植物プランクトンの細胞数密度、およびその構成を把握した。また適宜、伊勢湾と三河湾において、プランクトンネット等により動物プランクトンを採集した。さらに自動観測ブイ 3 基を用いて連続観測を行い、三河湾内の水質環境について時間的な変化を把握した。

(2) 水質環境が動・植物プランクトンの組成や量に与える影響の検討

(2) -1. 植物プランクトン群集と水質との関係および珪藻類の長期変化

<珪藻類細胞数の長期変化と表中底層間の比較>

知多湾の K5 の表層 (0m)、中層 (5m)、底層 (B-1m) における上位 5 属・種 (*Skeletonema* 属, *Chaetoceros* 属, *Thalassiosira* 属, *Pseudo-nitzschia* 属, *L. danicus*) と近年増加している小型種 (小型渦鞭毛藻類とクリプト藻類の合算) の細胞数の長期変動を示した (図 2)。いずれの種も、表層と中層は類似した変動傾向となっており、概ね表層の方が細胞数が多かった。表中層と比較すると底層はどの種も細胞数が少ないが、2017 年度の *Chaetoceros* 属や 2019 年度の *L. danicus* のように、表層と同程度のケースもみられた。表中層の *Skeletonema* 属の細胞数は 2004-2024 年度の 20 年間で有意な減少傾向であった (表層 ; $\tau=-0.411$, $p<0.05$, 中層 ; $\tau=-0.347$, $p<0.05$)。また、表層の *L. danicus* ($\tau=0.337$, $p<0.05$) と表中層の小型種 (表層 ; $\tau=0.442$, $p<0.01$, 中層 ; $\tau=0.379$, $p<0.05$) は有意な増加傾向であった。一方、下水処理場における栄養塩増加運転が開始された 2017 年以降について、変化の大きい表層における各種の細胞数を解析すると、*Skeletonema* 属, *Chaetoceros* 属および *Pseudo-nitzschia* 属は、増加に近い横ばい傾向だった (図中未記載。*Skeletonema* 属 ; $\tau=0.429$, $p=0.230$, *Chaetoceros* 属 ; $\tau=0.524$, $p=0.133$, *Pseudo-nitzschia* 属 ; $\tau=0.238$, $p=0.548$)。

上位 5 属・種の炭素量積算値を 2000-2012 年と 2013-2024 年の平均値で比較すると、400ng/mL から 304ng/mL に減少していた。換算方法については、多くの種について同定が属までであるため課題が残るが、炭素量でみても長期的に減少していることが示唆された。

<各水質項目と植物プランクトン細胞数との相関>

定点観測の結果を用いて、知多湾の K5 における各水質項目と植物プランクトン分類群ごとの細胞数について相関分析を行った。Chl.a と水質項目との相関は、表層においては TP ($r = 0.504$), 塩分 ($r = -0.414$), 5m 層では DIN ($r = -0.297$), TP ($r = 0.251$), B-1 層では水温 ($r = -0.446$), DIN ($r = -0.384$) で高く、水深が深くなるにつれて TP との相関が弱くなる傾向がみられた。また、Chl.a とプランクトン分類群との相関は、全層で植物プランクトン総細胞数が最も高く (0m 層 ; $r = 0.586$, 5m 層 ; $r = 0.312$, B-1m 層 ; $r = 0.301$), 次に珪藻類で高かった (0m 層 ; $r = 0.565$, 5m 層 ; $r = 0.312$, B-1m 層 ; $r = 0.298$)。

植物プランクトンの総細胞数、珪藻類細胞数、渦鞭毛藻類細胞数、小型種細胞数、*Skeletonema* 属と *L. danicus* 細胞数 (長期的に有意な変動を示した 2 種) を応答変数、水温、塩分、TN, TP, DIN, DIP を説明変数として一般化線形モデル解析を行った (表 1)。BIC でモデル選択を行い、選択された係数は植物プランクトンの総細胞数 (中層)、珪藻類細胞数 (中層) の切片を除く全てがモデルに有意な ($p < 0.05$) 影響を与えていた。重要な説明変数としては、植物プランクトンの総細胞数 (表層)、珪藻類細胞数 (表層)、*Skeletonema* 属細胞数 (表層) では全リン、DIP が該当した。また、水温は今回の応答変数に対しては全層で選択されなかった。珪藻細胞数との相関は全リンが高く、一般化線形モデルによる解析においてもリンが重要な説明変数として選択されている。また、*Skeletonema* 属細胞数でもリンが重要な説明変数として選択されており、組成比率も大きいことから、珪藻類の細胞数は *Skeletonema* 属細胞数の変動に左右されており、リン濃度が重要な影響を与えていることが示唆された。また、長期的に有意に増加している小型種においては塩分が選択された。K5 の表層においては塩分も有意に低下しており (期間は 2000–2024 年, $r = -0.307$, $p < 0.05$), 淡水流入の変化も植物プランクトン組成の変化に影響を与えている可能性が示唆された。

< 栄養塩増加運転試験開始「前」と「後」の植物プランクトン群集組成の変化 >

栄養塩増加運転試験前の植物プランクトン群集 (2004–2016 年度) について、クラスター解析に基づく類型化によって 6 グループに分類した。試験前の植物プランクトン群集の特徴として、群集の組成比および経年変化と季節性を整理する (図 3)。全体的に試験前の群集は *Skeletonema* 属の割合が高かった。グループ 1 は *Chaetoceros* 属が優占し、対象期間の後半は減少傾向で冬に多く出現する。グループ 2 は *Eucampia* 属と小型鞭毛藻類が優占し、対象期間中は増加傾向で春に多く出現する。グループ 3 は小型鞭毛藻類が優占し、対象期間中は増加傾向で冬に多く出現する。グループ 4–6 はいずれも *Skeletonema* 属と珪藻の割合が高く、その中でもグループ 6 と 4 は *Skeletonema* 属の構成比が高い群集、グループ 5 はやや *Skeletonema* 属の構成比が低い群集で構成された。グループ 4 は減少傾向で通年、グループ 5 は増加傾向で夏秋、グループ 6 は減少傾向で夏に出現した。栄養塩増加運転試験後の群集 (2017–2023 年度) を試験前のグループに割り当てた結果、グループ 5 が夏秋に顕著な増加を示し、グループ 2 と 3 も増加、グループ 4 と 6 は減少しており、いずれのグループにも当てはまらない群集が出現した。試験後の組成の特徴として、全体的に *Skeletonema* 属の構成比が低下し、小型鞭毛藻とクリプト藻が増加傾向を示した。植物プランクトンの大部分を占める珪藻全体の長期的なトレンド (2004–2023 年度) は減少傾向であるが、試験開始以降の 2020 年頃から増加傾向を示し、珪藻の中で最も優占する *Skeletonema* 属についても同様の増加傾向を示した。渦鞭毛藻全体と小型鞭毛藻は長期的には増加傾向、*Chaetoceros* 属と *Pseudo-nitzschia* 属は 2015–2017 年頃まで減少していたが、それ以降は増加傾向を示した。季節変動では、珪藻および *Skeletonema* 属の夏季の大きなピークが近年小規模化および低頻度化している傾向があり、そのピークも秋にシフトしつつある。一方で *Chaetoceros* 属の秋のピークが近年

大型化している傾向が示された。

(2) -2. 動物プランクトン群集の長期変化

三河湾西部（観測点 P27）におけるカイアシ類とミジンコ類の年変化は、増減を繰り返した（図 4）。カイアシ類は 2002 年にピークを示した後、2011 年に最低値を示し、再び 2018 年に向けて増加し、2021 年は観測期間中最も高い値を示した。ミジンコ類は 2000 年代前半に高い傾向を示し、2004 年に観測期間中最も高い値を示した。クロロフィル *a* 水柱積算値の年平均と動物プランクトンの水柱積算個体数の年平均との比較より、2000 年代前半に高い傾向を示す点と近年に増加傾向を示す点は一致したが、カイアシ類との間に相関関係は認められなかった（ $r = 0.032$ ）。一方で、ミジンコ類での間には弱い正の相関が認められた（ $r = 0.375$ ）。ミジンコ類で最も優占した種は *Penillia avirostris* で、*Pseudevadne tergestina* と *Evadne normanni* の占める割合が高かった年もあった（2011 年、2017 年、2018 年）が、現存量はいずれも小さかったため、主に *P. avirostris* とクロロフィル *a* 積算値との関係性を表していると考えられる。カイアシ類で最も優占した種は *Acartia* (*Acartiura*) *omorii* であったが、他にも *Ditricorycaeus affinis*, *Paracalanus orientalis*, *Calanus sinicus* 等、*A. omorii* 以外の種の占める割合が高かった。三河湾では、カイアシ類と植物プランクトン共に、これまでの報告より属・種によって異なる季節・年変化があることが明らかになったため、分類群・種毎に関係性が異なるものと推察される。

(3) 湾内の循環構造や栄養塩動態評価モデルを用いた検討

(3) -1. 既存データを用いた循環構造の季節・経年変化の把握

知多湾における溶存態無機リンの変動に着目すると、秋季表層・夏秋季底層における経年的な減少が目立つ（図 5）。一方、河川流量は、2012 年以前は夏季に流量がピークになる季節変動パターンだったが、2013 年以降は秋季にピークになることが多かった（図 6）。その結果、秋季の河川からの全リン供給量は、2013 年以降多い傾向にあり、秋季のリン供給量と海域のリン濃度の経年的な変化にミスマッチがみつかった。よって、沿岸域のもう 1 つの栄養塩供給源である底質（武岡，2025）との関係を見る必要性が出てきた。夏季の海底堆積物中全リン濃度と含泥率には、有意な正相関関係が認められた（図 7）。夏季の海底堆積物中全リン濃度と夏季底層溶存態リン濃度の間には、関係性がみられず、夏季の海底堆積物中全リン濃度と秋冬季（10-12 月）の底層溶存態リン濃度に有意な正の相関関係が認められた。さらに、夏季の海底堆積物中全リン濃度は、夏季河川全リン供給量と相関関係に無いが、春季河川全リン供給量とは正の相関関係にあった。以上のことから、春季河川から供給されたリンが、一次生産を経て、夏季に海底堆積物として蓄積され、分解過程を経て、秋冬季の海域栄養塩濃度の変動に寄与するというシナリオが考えられた。

(3) -2. 粒子追跡モデルの改良および三河湾への DIN 流入量と黒潮流軸との関係

<粒子放流タイミングを変えたアンサンブル計算>

アンサンブルメンバー間の標準偏差は平均値の 1/10 以下でバラツキは小さかった（図 8）。昨年度までの結果で示した通り、2020 年や 2021 年には成層期（6～9 月）に DIN 流入が多くなる季節変動が顕著であった。2018～2019 年は大王埼沖の黒潮の離岸距離が大きくなり、DIN 流入が低い傾向にあったが、2020～2023 年は比較的流入が多い傾向が継続した。

<伊勢湾、三河湾全体の平均 DIN 濃度の推定>

緯度、経度、水深、水温、塩分を説明変数に用いたフルモデルが AIC 最小となるケースが多く、ベストモデルとして全データセットでフルモデルを採用した。最も再現性がよかったデータセット（2015 年 9 月）では $r=0.99$ であった。推定した DIN 濃度の 3 次元分布から湾平均 DIN 濃度を

求めた。伊勢湾・三河湾ともに減少傾向が見られたものの、トレンドは有意ではなかった ($p>0.05$) (図 9)。

【参考文献】

Harrison PJ, Zingone A, Mickelson MJ, Lehtinen S, Ramaiah N, Kraberg AC, Sun J, McQuatters-Gollop A, Jakobsen HH. Cell volumes of marine phytoplankton from globally distributed coastal data sets. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 162, 130-142, 2015.

Aoki K, Kakehi S, Sogawa S, Tsuge A. Mismatch between interannual change of riverine phosphorus discharge and coastal DIP in autumn-winter in a semi-enclosed sea area (Chita Bay, Japan). *Fisheries Science*, 91, 823-831, 2025.

武岡英隆. 沿岸海域における窒素，リンの起源と収支について-窒素，リン海底起源論の誤り-. 沿岸海洋研究, 63, 59-71, 2025.

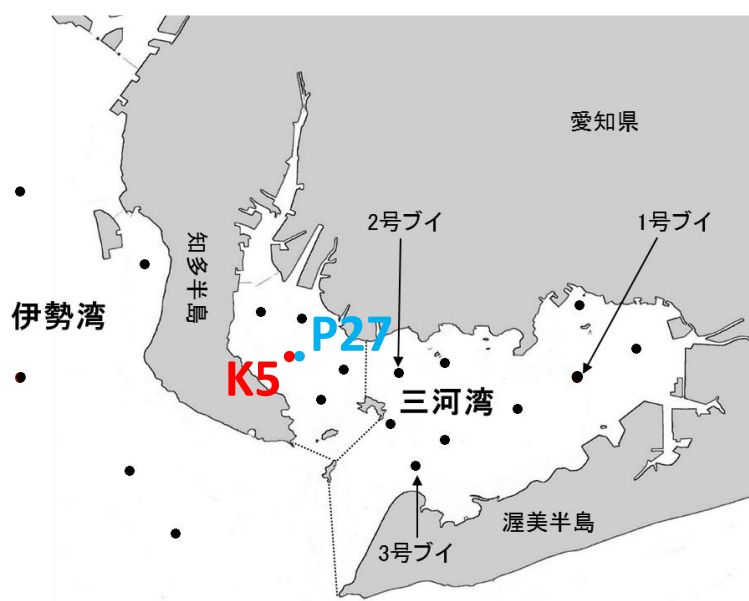


図1 調査点図

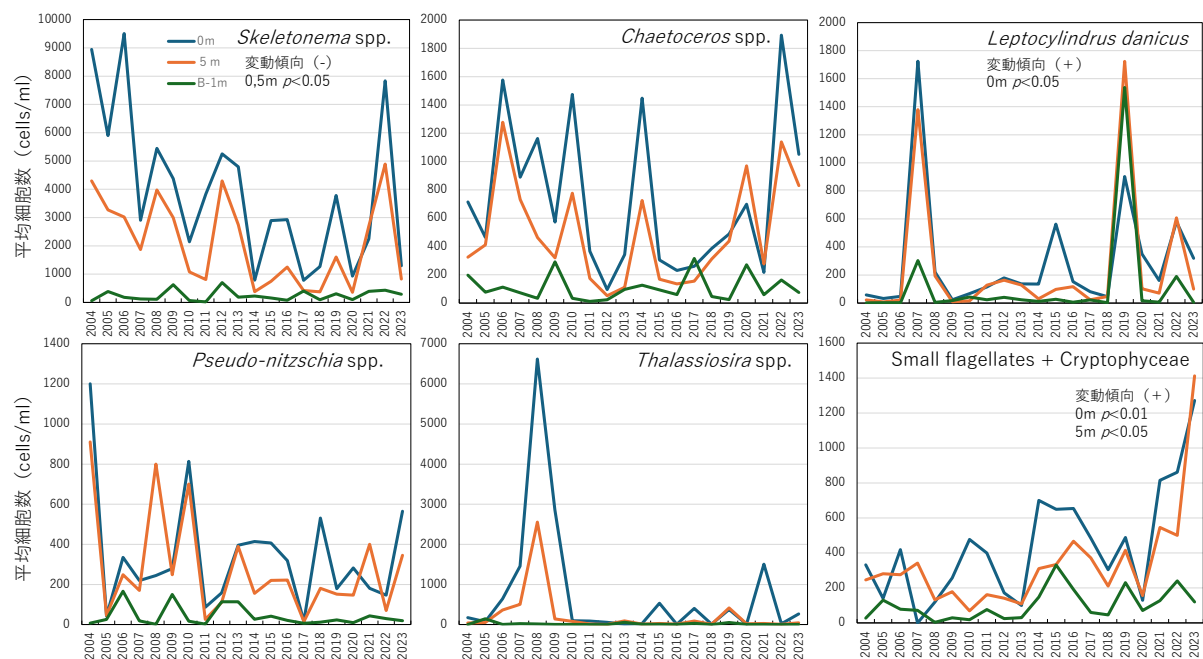


図2 知多湾のK5の表層（0m）、中層（5m）、底層（B-1m）における上位5種と小型種（小型渦鞭毛藻類とクリプト藻類の合算）の年平均細胞数の長期変化

表1 一般化線形モデル（GLM）による解析結果

分類群 (cells/mL)	採水層 (m)	水温	塩分	全窒素	全リン	DIN	DIP	切片
Phytoplankton	0	~			644		-742	-8342
	5	~			265		-340	-1218
	B-1	~			25	-12		919
Diatom	0	~			620		-718	-8291
	5	~			266		-328	-1862
	B-1	~			25	-10		709
Dinoflagellate	0	~			20	-3		-19
	5	~				-3		-561
	B-1	~				-1		201
Smallflagellate+Cryptophyceae	0	~	-81					2887
	5	~						506
	B-1	~				-1		197
Skeletonema spp.	0	~			286		-355	-3287
	5	~						2053
	B-1	~						286
Leptocylindrus danicus	0	~						302
	5	~						144
	B-1	~						108

応答変数が従う確率分布：ガウス分布

BICでモデル選択

重要な説明変数：t値の絶対値>10 赤字、t値の絶対値>5 オレンジ

説明変数の有意性：Phytoplankton（5m）、Diatom（5m）の切片以外全て $p<0.05$

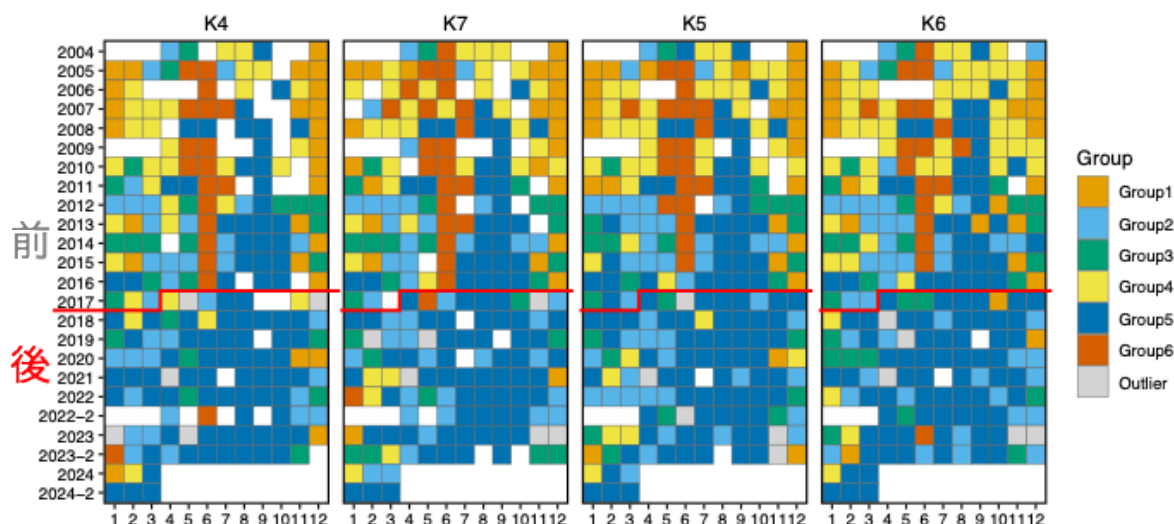


図3 知多湾の4調査地点における栄養塩増加運転前と後のクラスターグループ経年および月変化。2004～2016年度の植物プランクトン群集データでクラスター解析を実施し（赤線より上），6グループに分類した。その基準に基づいて2017年度以降の群集を割り当てた。灰色は6グループに割り当てられなかった群集。月に2回調査があった年は2段で示し，上段が1回目，下段が2回目を示す。

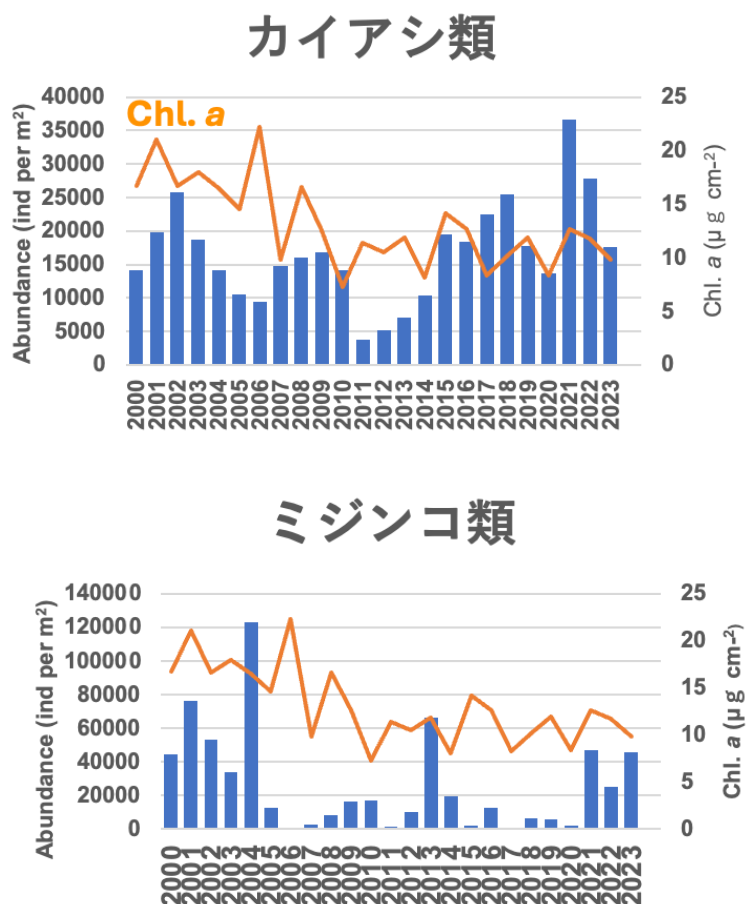


図4 カイアシ類とミジンコ類の年変化とクロロフィル *a* 濃度の年変化との比較

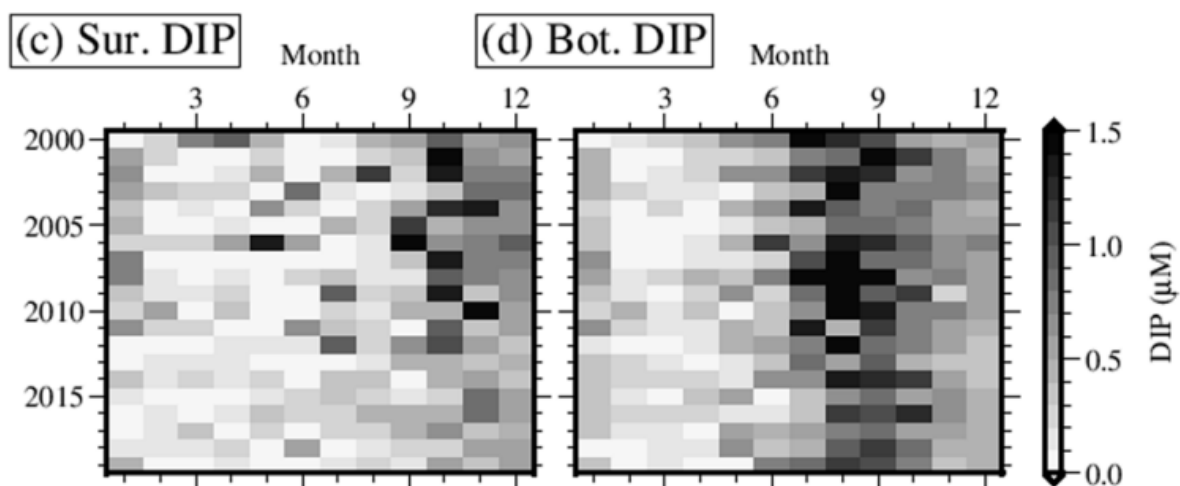


図5 知多湾における表・底層の溶存態無機リン濃度の季節・経年変動

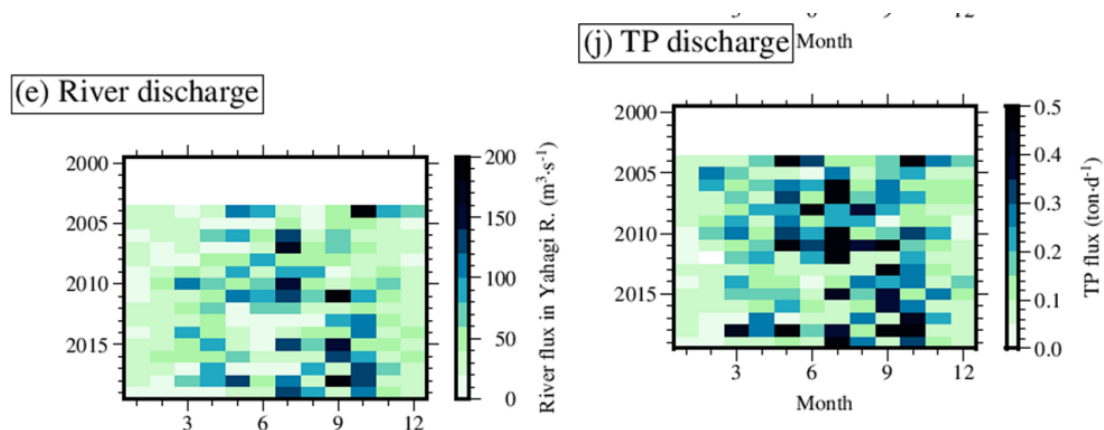


図6 矢作川の河川流量および全リン供給量の季節・経年変動

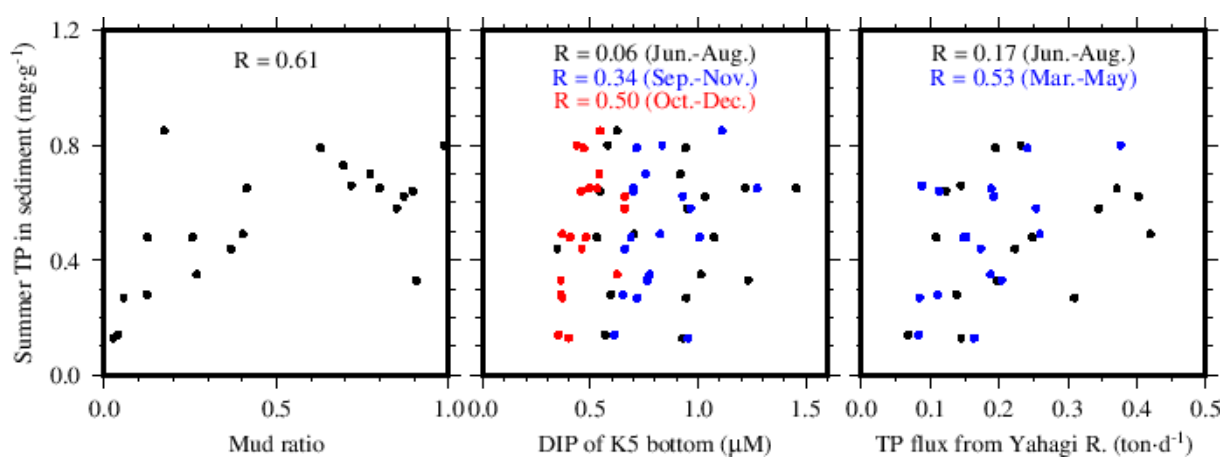


図7 夏季海底堆積物全リン濃度-含泥率プロット (左) 夏季海底堆積物全リン濃度-知多湾中央部(K5)における底層溶存態無機リン濃度プロット (中央) 夏季海底堆積物全リン濃度-矢作川からの全リン供給量プロット (右)

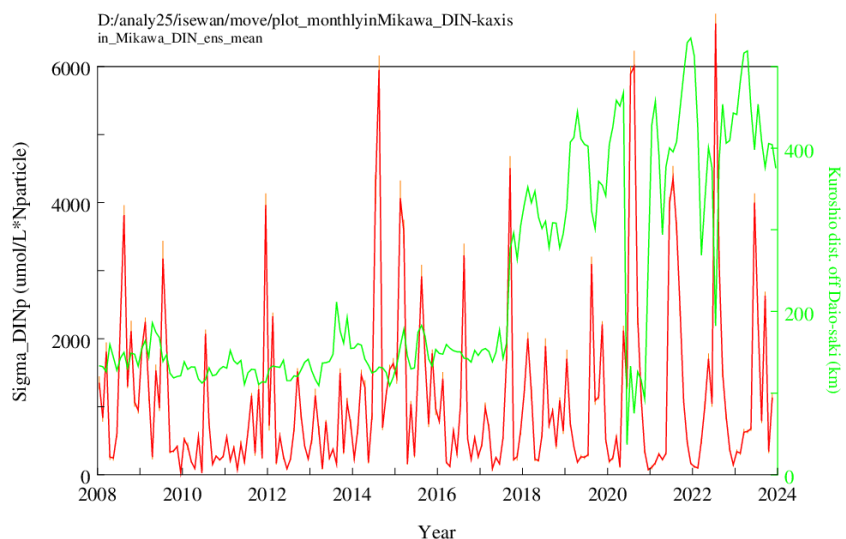


図 8 三河湾への DIN 流入 (ΣDINp) (赤線：アンサンブル平均) と大王埼沖の黒潮流軸距離 (緑) との比較. 橙線はスプレッド (アンサンブルメンバー間の標準偏差).

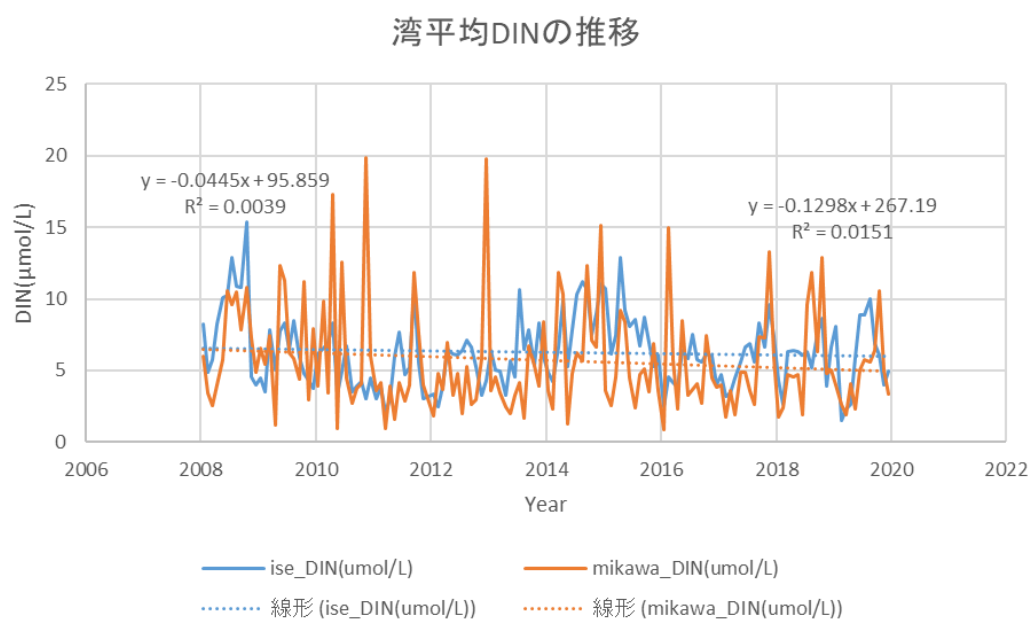


図 9 伊勢湾 (青), 三河湾 (橙) の平均 DIN 濃度

課題番号：Ⅲ－２)

課題名：閉鎖性内湾の栄養塩類環境が二枚貝類や海藻の生産に及ぼす影響のモニタリング等の評価手法の開発

水産研究・教育機構水産技術研究所：井上誠章，多賀悠子，西本篤史

三重大学 生物資源学部：伯耆匠二

愛知県水産試験場：稲葉博之，山本有司，澤田知希，川村耕平，岩越亮磨，

錦萌夏，竹内梨乃，阿知波英明，曾根亮太

三重県水産研究所：栗山功，岡田誠，高崎有美子，久世紘聖，北川強司

【背景・目的】

アサリ資源は全国的に極めて低い水準にあり，その要因の一つとして沿岸域の栄養塩不足に伴う微細藻類の減少や種組成の変化との関連が示唆されている。餌料に適した植物プランクトン不足はアサリ全生活史における減耗要因となるが，特に飢餓耐性の低い着底初期や稚貝にとっては致命的となり得る。それゆえアサリを含めた二枚貝資源の変動機構の解明には，アサリが曝露された餌料環境とさらにそれに伴う生理状況変化の正確な把握は重要な課題である。近年，アサリ等の二枚貝類は各生活段階において，好適餌料となる植物プランクトンのサイズや種の変化が起こることが明らかになってきた。しかし，現状の海洋研究においては摂餌環境の指標として，植物プランクトン量を反映するクロロフィル値を間接的に用いるしかない。これではアサリが摂餌できる植物プランクトンのサイズや種組成を無視していることになり，クロロフィル値は正確な摂餌環境の指標となっていない可能性がある。本研究では，メタバーコーディングによる微細藻類の網羅的解析と，飢餓への遺伝子応答の網羅的解析による生理的指標の開発により，本種にとっての正確な餌料環境評価手法の開発を目指す。

加えて，三河湾におけるアサリ漁場及びその周辺等においてアサリ現存量や餌料等の環境調査を実施するとともに，海域の栄養塩動態や餌料環境とアサリの資源状況等との関連を検討する。さらに上記で開発された餌料環境評価手法を試験的に実際の漁場におけるアサリに適用し，アサリの資源動態に及ぼす性状変化と餌料・栄養塩環境等との関連を検討する。

また，アサリ同様にノリの色落ちについても，深刻な漁業被害をもたらしている。下水緩和処理運転等の管理施策が検討されているが，そもそも海域における栄養塩供給源の特性が十分には理解されていない。特に，水質総量規制の結果，陸域からの栄養塩供給が減少している中で，栄養塩を含んだ沖合の深層水からの栄養塩供給も無視できないことから，栄養塩の供給源についてのモニタリング手法を確立し，湾内の栄養塩供給源の特性を明らかにするとともに，中・長期的な栄養塩供給源の変動について情報を蓄積していくことを目指す。

【方法】

(1) メタバーコーディングを用いた餌料環境評価法の手法開発

2022年5月から2024年3月までの期間に，西三河の1定点（実録沖）において実施した毎月調査データ（水中および海底上のクロロフィルa濃度，水温（採集日の日平均），珪藻特異的DNAメタバーコーディングに基づく珪藻属組成（アサリ消化管中・水中・砂泥上），ならびにアサリ肥満度）を用いて，以下の包括的なモデル解析を実施した。

まず、全試料（アサリ消化管中、水中、砂泥）間における珪藻属組成の Bray–Curtis 非類似度を総当たりで算出し、これを類似度に変換した。その中から、月ごとにアサリー水中間およびアサリー砂泥間の類似度を抽出した。本解析では、類似度が高いほど、アサリが摂餌可能な珪藻が環境中で優占している状態であると解釈した。また、アサリの肥満度は累積的な生理活性指標であり、繁殖周期の影響を強く受けることから、餌料環境への応答を評価する指標として、前月からの肥満度の変化量（ δ 肥満度）を算出した。

解析①として、アサリの摂餌選択性に影響を及ぼす要因を明らかにするため、アサリー水中间類似度またはアサリー砂泥類似度を目的変数とし、水中および砂泥上のクロロフィル a 濃度、水温、水中底生珪藻の割合、海底上浮遊珪藻の割合を説明変数、採集月をランダム効果とした一般化線形混合モデル（GLMM）を構築した（誤差分布： β 分布）。解析②として、アサリの栄養状態に影響を及ぼす要因を検討するため、 δ 肥満度を目的変数とし、アサリー水中间およびアサリー砂泥間の類似度、水中および砂泥上のクロロフィル a 濃度、水温、水中底生珪藻の割合、砂泥上浮遊珪藻の割合を説明変数とした線形モデル（LM）を構築した。説明変数の選択には、AICc に基づくモデル選択法を用いた。

(2) 摂餌環境等のアサリ生理状態の指標開発に向けた遺伝子解析

6 基の 30L パンライト水槽に、それぞれ稚貝を 250 個体収容した。6 水槽のうち、2 水槽を給餌を行わない絶食区、2 水槽を少量給餌区（一日あたり海水 1 ml あたり *Chaetoceros gracilis* を 0.3×10^4 細胞給餌）、残り 2 水槽を飽食給餌区（同 3×10^4 細胞給餌）に設定した。飼育開始 1, 3, 6, 9, 16 日にそれぞれの水槽から 4 個体ずつ採集した。採集された 120 個体から RNA を抽出し、リアルタイム PCR によりマーカー遺伝子候補の 7 遺伝子について遺伝子発現量を測定し、5 日以上絶食の有無を判定する統計モデル（絶食確率予測モデル）を作成し、その精度を評価した。

(3) 三河湾におけるアサリ漁場及びその周辺等における現地調査

三河湾内におけるアサリ漁場の計 11 地点（福江湾、六条潟、蒲郡水神、東幡豆、吉田、丙、味沢実録境、実録（沖）、味沢、14 号地、古布）において（図 1）、枠取り（25 cm×25 cm）により各地点 3 回底泥を採取し、目開き 2 mm または 4 mm のふるいによりアサリを選別し、個体密度、殻付き湿重量による現存量を求めた。ただし、吉田、丙、味沢実録境の 3 地点では、稚貝採捕用のジョレンを用い定面積分採捕した。採捕したアサリの殻長を計測し、うち各地点 30～60 個体について肥満度及び群成熟度を求めた。環境調査として、採水によるクロロフィル a 濃度、底泥中のクロロフィル a 量（DMF 抽出＋蛍光光度計による測定）、栄養物質濃度（全窒素、全リン、硝酸・亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素、リン酸態リン）の測定を行った。なお、栄養物質濃度試料の前処理を行った後、測定は三洋テクノマリン株式会社に測定を委託した。試水は、各地点において 1 回ずつ海底上 30 cm 程度（干出している場合には干潟前面の膝丈程度の水深）で採水した。現地調査は、各地点とも春（5 月）、夏（7-8 月）、秋（10-11 月）及び冬（1 月）に実施した。

(4) 海藻（ノリなど）の窒素安定同位体比を用いた窒素供給源モニタリング

ノリ漁期中に定期的にかれる共販にて、乾燥板ノリ試料を入手し、窒素安定同位体比（以下、 $\delta^{15}\text{N}$ ）をモニタリングしてきた（方法の詳細は令和 4 年度報告書を参照）。昨年度の報告書では、

サンプル数が充実している伊勢湾西岸・三重県海域において、令和3年度漁期から令和5年漁期までの3カ年について、3つの窒素供給源候補、すなわち、陸水、外洋中層水、伊勢湾水を想定し、各窒素源の寄与率を推定した。しかし、推定結果と海況との間に乖離がみられたことから、令和7年度は、モデルに取り込む値の精査を行い、以下の変更を行った。

*なお、ここで伊勢湾水と表記した水は、特定の水塊を指すのではなく、陸水および外洋中層水から供給された栄養塩の希釈、枯渇を表現するために採用した。

【変更点】

・陸水：

変更前：DIN > 170 $\mu\text{g/L}$ の条件下で採取されたノリ $\delta^{15}\text{N}$ (R3～R5 年度漁期の平均±SD)

変更後：DIN > 125 $\mu\text{g/L}$ の条件下で採取されたノリ $\delta^{15}\text{N}$ (漁期毎の平均±SD)

・伊勢湾水

変更前：DIN < 10 $\mu\text{g/L}$ の条件下で採取されたノリ $\delta^{15}\text{N}$ (R3～R5 年度漁期の平均±SD)

変更後：DIN < 10 $\mu\text{g/L}$ の条件下で採取されたノリ $\delta^{15}\text{N}$ (漁期年度毎の平均±SD)

・外洋中層水：

変更前：伊勢湾口の菅島地区で採取されたノリ $\delta^{15}\text{N}$ (R3～R5 年度漁期の平均±SD)

変更後：伊勢湾口水深 100m から採取した海水中の硝酸態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ (Waku et al. in prep),
およびノリによる同化の際の濃縮係数(-2.4‰)(Watanabe et al. 2016)から算出

・ノリ $\delta^{15}\text{N}$ ：

変更前：分析した全てのノリ $\delta^{15}\text{N}$

変更後：分析したノリの内、最も CN 比が低い（窒素含量が多い）ノリの $\delta^{15}\text{N}$ のみ
→ 漁場・共販毎に最も等級の高いノリを収集してきた、伊勢湾・愛知県海域についても、伊勢湾西岸（三重県）海域と同じモデルで解析を実施

・モデル：

変更前：ノリ $\delta^{15}\text{N}$ のみを用いた単変量

変更後：共販日の先週、先々週の栄養塩データ (DIN) の平均値を加えた 2 変量

*新たにモデルに加えた DIN 濃度についても、混合モデルの考え方を採用できるため、同位体比と同じ扱いとした。

以上の条件の下、改めて、令和3年度から令和5年度までの3カ年分の試料について、共販別の窒素供給源を推定した。なお、伊勢湾水および外洋中層水については、伊勢湾西岸（三重県）と伊勢湾東岸（愛知県）で同一の値を用いたが、陸水として用いるエンドメンバーの値は、2つの海域で、同じ条件の下、別々に設定した。

【結果】

(1) メタバーコーディングを用いた餌料環境評価法の手法開発

対象期間中に実施した DNA-MB 解析結果の一覧を図2に示す。DNA-MB 解析結果については、図に詳細を示しているため、本文中での個別の説明は省略する。アサリー水中およびアサリー砂泥類似度は、いずれにおいても高い時期と低い時期が認められ、明瞭な周期性や規則性は確認されなかった。

対象期間中に取得した環境データおよびアサリ肥満度の経月変化を図3に示す。水温および肥満度は季節変動を示し、 δ 肥満度についても同様に強い季節性が認められた。一方、クロロフィル

a 濃度については、明瞭な季節的変動は確認されなかった。

解析①（アサリの摂餌選択性に影響を及ぼす要因の検討）のうち、アサリー水中類似度を目的変数とした解析では、説明変数として水中クロロフィル a 濃度のみを含むモデルが最適モデルとして選択された。単回帰分析の結果、クロロフィル a 濃度とアサリー水中類似度との間には正の相関が認められた（図 4）。これは、特に高クロロフィル a 条件下において、アサリの摂食に適した珪藻が優占していたことを示している。一方、中程度のクロロフィル a 濃度条件下では、極めて低い類似度が検出された。この期間には、アサリの摂食に不適な珪藻属が優占していたことも明らかとなった。

解析①のうち、アサリー砂泥類似度を目的変数とした解析では、水中クロロフィル a 濃度および砂泥上の浮遊珪藻の割合を説明変数とするモデルが最適モデルとして選択された。アサリー砂泥類似度は、これら両変数と正の相関を示した（図 5a,b）。これまでの研究により、アサリは浮遊系餌料への依存度が高いことが明らかとなっている。本解析結果は、底生微細藻類が主要な餌料として寄与しているのではなく、高クロロフィル a 条件下において浮遊珪藻が海底に堆積し、その結果として、水中および砂泥上の珪藻属組成が類似したことに起因すると解釈される。

解析②（アサリの栄養状態に影響を及ぼす要因の検討）では、アサリー水中類似度、水中クロロフィル a 濃度、および水温を説明変数とするモデルが最適モデルとして選択された。 δ 肥満度は水温と負の相関を示し、これはアサリの繁殖周期を反映しているものと考えられた（図 6a）。また、 δ 肥満度は水中クロロフィル a 濃度と正の相関を示しており（図 6b）、植物プランクトン総量が肥満度の増加に有意な影響を及ぼすことが示された。一方、 δ 肥満度とアサリー水中類似度との間には負の相関が認められた（図 6c）。この関係については現時点で明確な解釈が困難であるが、肥満度の周期的変動と、珪藻組成の短期的かつ不規則な変動との間の不一致に起因している可能性が考えられる。

（2）摂餌環境等のアサリ生理状態の指標開発に向けた遺伝子解析

昨年行った飽食給餌区と絶食区の解析より、4 遺伝子（C-type lectin, Difensin, ECM および Amylase）の発現変化パターンから 5 日以上絶食の有無を 80%以上の確率で判定できる統計モデルを作成できた（絶食確率モデル）。この絶食確率モデルに本年度得られたデータのうち、少量給餌区の個体データを除いたデータを追加してモデルの改良を行った。得られた改良モデルを用いて、飽食給餌区、絶食区とともにデータを使用しなかった少量給餌区の 5 日以上の絶食確率を推定した。その結果、飽食給餌区の 5 日以上絶食確率平均は 0.21、絶食区の確率平均は 0.52 であり、少量給餌区は 0.29 と飽食給餌区と絶食区との中間の値を示した。このことは餌料環境が良いほど、絶食確率は低く、逆に悪いほど高く推定されることを示す。すなわち、改良モデルから推定された絶食確率は、稚貝の餌料環境の指標となる可能性が高いことを示しめす。

（3）三河湾におけるアサリ漁場及びその周辺等における現地調査

各地点における季節ごとのアサリ肥満度について図 7 に示した。地点間の平均肥満度は、西三河地区の吉田、丙、味沢実録境、実録（沖）、味沢、14 号地において秋に 6.3～7.7 で著しく低い値を示した。一方、知多地区の古布および東三河地区の福江湾においては年間を通して、11.9～20.1 で高い値を示した。各地点における調査時期ごとのアサリ現存量について図 8 に示した。全体的な傾向として、現存量は冬から夏にかけて増加し、秋から冬に減少する傾向がみられた。また、

2024 年秋頃からは福江湾および古布を除いた他 9 地点において現存量が減少傾向にあった。続いて、秋の肥満度と秋から冬にかけての現存量の変化率（減耗率%）を図 9 に示す。全体的な傾向として肥満度と減耗率は負の相関関係にあり、肥満度が高いほど秋冬の減耗が弱まることが示唆された。さらに、肥満度と海水中のクロロフィル *a* 濃度の関係を図 10 に示した。蒲郡水神を除く他 10 地点において肥満度とクロロフィル *a* 濃度について正の相関関係が確認された。肥満度と減耗率の関係や肥満度とクロロフィル *a* 濃度の関係から、2024 年以降の現存量の減少要因としては、餌不足あるいは水温等の環境要因の変動が疑われるため、次年度はその要因について抽出する予定である。

(4) 海藻（ノリなど）の窒素安定同位体比を用いた窒素供給源モニタリング

・モデルの変更に伴う推定結果の改善

解析条件を変更したことに伴い、令和 5 年度漁期 4 回汐において確認された、推定結果と海況との間の乖離は解消された（図 11）。当該汐では、ノリの $\delta^{15}\text{N}$ が伊勢湾西岸全域で低めに出ており、陸水の寄与が低かったために、誤った解析結果が導かれたと考えられる。

今回の解析条件の変更に伴い、全体の傾向として、外洋中層水の寄与率が低く推定された。これは、外洋中層水の値を変更したことによるものである（変更前： $\delta^{15}\text{N}=7.8\pm1.2\text{‰}$ 、変更後： $\delta^{15}\text{N}=3.7\pm0.8\text{‰}$ ）。また、陸水および伊勢湾水のエンドメンバーの値を、令和 3 年度漁期から令和 5 年度漁期までの平均値ではなく、年度漁期ごとの値に変更したことで、同一漁期内の時系列変化を正確に表現することが出来るようになったものと期待される。例えば、令和 3 年度漁期を見ると、5 回汐から 6 回汐にかけて生産枚数が大きく減少しているが、同じタイミングで陸水＋外洋中層水の寄与が大きく減少することを表現できた。一方で、漁期年度ごとに異なるエンドメンバーを採用したことで、年度を跨いだ推定結果の連続性については、実態と当てはまらなくなっている可能性があることに留意頂きたい。

・漁業地区（エリア）別の時系列推定

伊勢湾西岸（三重県）と伊勢湾東岸（愛知県）を含めた、漁業地区別・共販別の寄与率推定を行った（図 12）。いずれの漁期も、陸水の寄与率が湾奥から湾口にかけて低下する傾向が確認されたが、西岸と東岸で傾向に違いが確認された。まず、西岸では、湾奥の桑名地区から隣の鈴鹿地区にかけて、陸水の寄与率が急激に低下した。一方、東岸では、湾奥の鬼崎から小鈴谷、野間にかけて、陸水の寄与が高いまま推移する傾向が確認できた。

また、今回の解析から、外洋中層水の値を変更したことに伴い、菅島地区における窒素供給源に注目した。結果、いずれの共販でも、他の漁業地区に比べて、外洋中層水の寄与が高い傾向を確認できた。また、菅島地区の北に位置する伊勢地区にも、外洋中層水が波及していることを確認出来た。なお、この外洋中層水の寄与は、漁期によって異なり、令和 4 年度漁期に、特に高い寄与率であった。一方、東岸では、湾口に近い豊浜地区においても、外洋中層水の寄与は極めて限定的であった。

・今後の計画

今回、解析条件の変更に伴い、推定結果に大きな変化がみられた。今後、今回の推定結果と、実際の海況やノリ生産状況との比較を進め、推定結果の妥当性を検証する必要がある。伊勢湾西

岸（三重県）海域については、これまでもノリ生産枚数の推移と比較してきたが、必ずしも陸水＋外洋中層水の寄与率と、生産枚数との間に正の相関は見られていない。これは、ノリの生産には、栄養塩不足だけでなく、高水温や食害などの影響もあることによるものと考えられる。また、今回の解析から、分析した全てのノリの $\delta^{15}\text{N}$ ではなく、最も CN 比が低い（N 含量が多い）ノリの $\delta^{15}\text{N}$ のみを利用した。モデルの収束は良くなるものの、解析に用いたノリが当該時期の栄養塩供給状況と乖離している可能性も排除できないことから、等級ごとの生産枚数も加味しつつ、更なる修正が必要かもしれない。

最後に、令和 7 年 4 月に黒潮大蛇行が終息し、令和 8 年 2 月現在、解消状態が継続している。令和 7 年度漁期についても、伊勢湾・西岸海域にて、ノリの収集を進めており、 $\delta^{15}\text{N}$ を引き続きモニタリングすることで、黒潮大蛇行終息後のデータを蓄積していく計画である。



図 1 調査地点図（★地点は R7 のメタバーコーディング試料採取地点を示す）

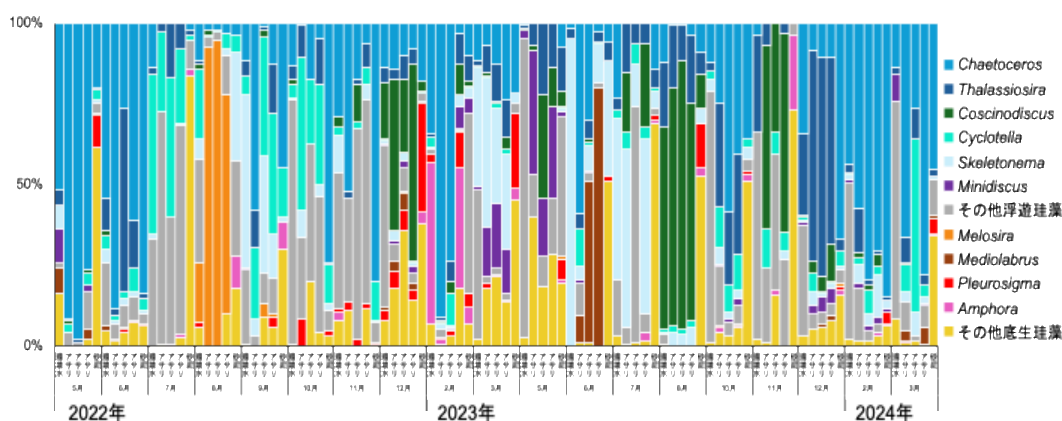


図 2 対象期間中の DNA-MB 解析結果

珪藻特異的プライマー（*rbcL* 領域）を用いた解析結果。環境水中、アサリ消化管内容物、砂泥上の珪藻各属を示す。珪藻各属の生活型については Round et al. (1990)に基づいて区分した。

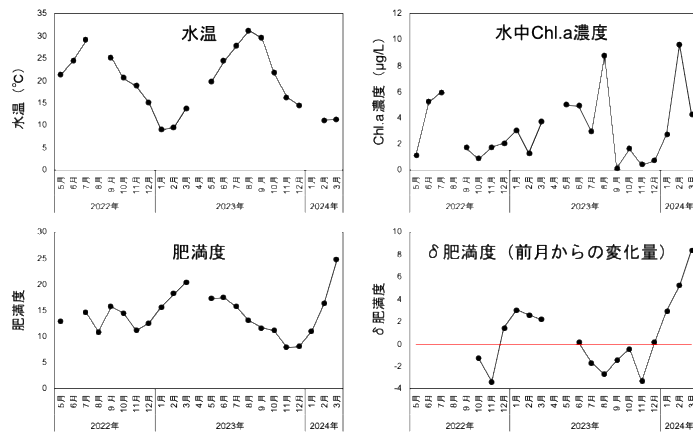


図 3 対象期間中に取得した環境データおよびアサリ肥満度の経月変化

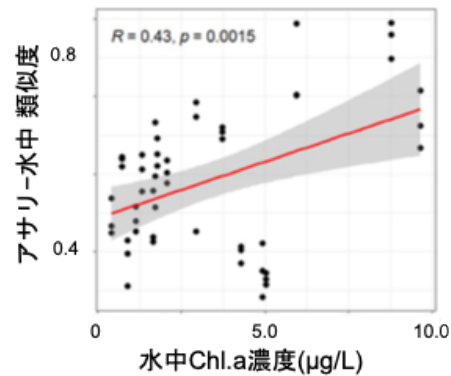


図 4 クロロフィル a 濃度とアサリー水中類似度の単回帰分析結果

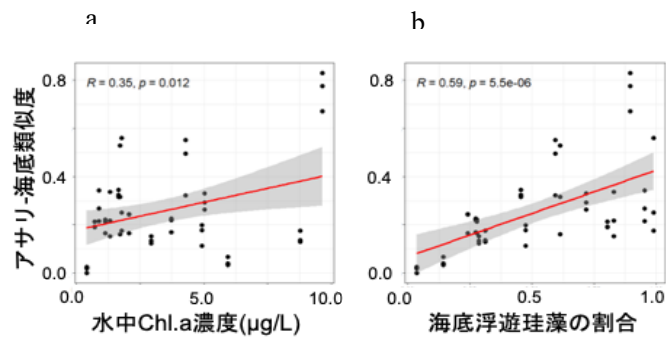


図 5 水中クロロフィル a 濃度 (a), 砂泥上の浮遊珪藻の割合 (b) とアサリー水中類似度の単回帰分析結果

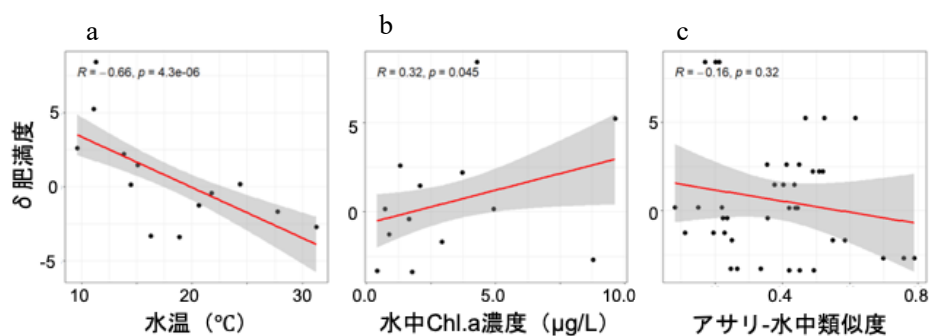


図 6 水温 (a), 水中クロロフィル a 濃度 (b) とアサリー水中類似度 (c) と δ 肥満度の単回帰分析結果

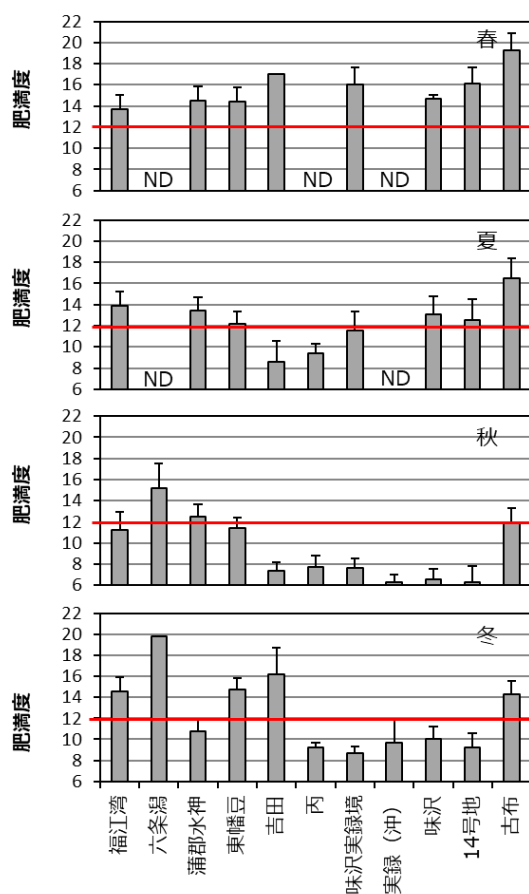


図 7 各地点におけるアサリ平均肥満度 (縦棒は標準偏差)

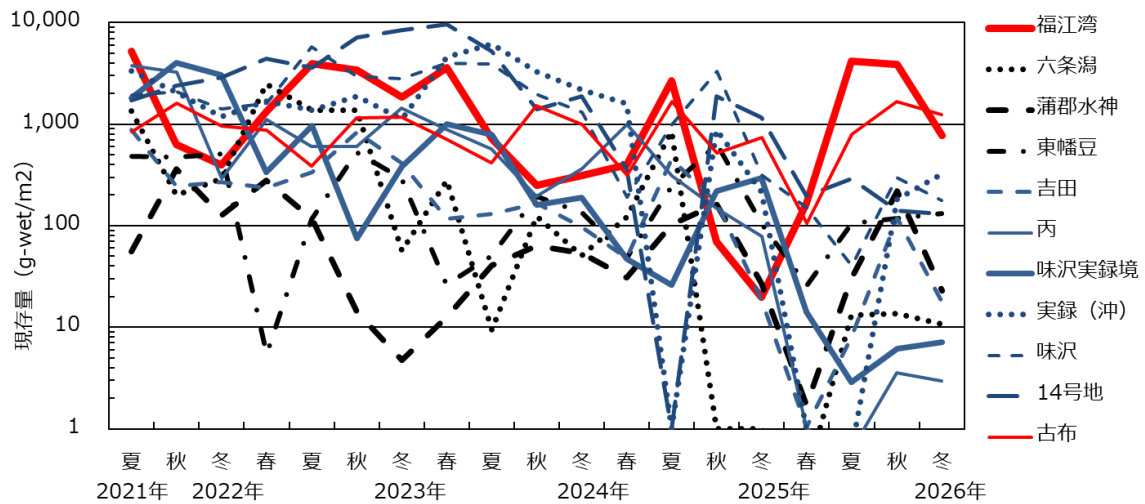


図 8 各地点におけるアサリ現存量 (g-wet/m²) の季節変化

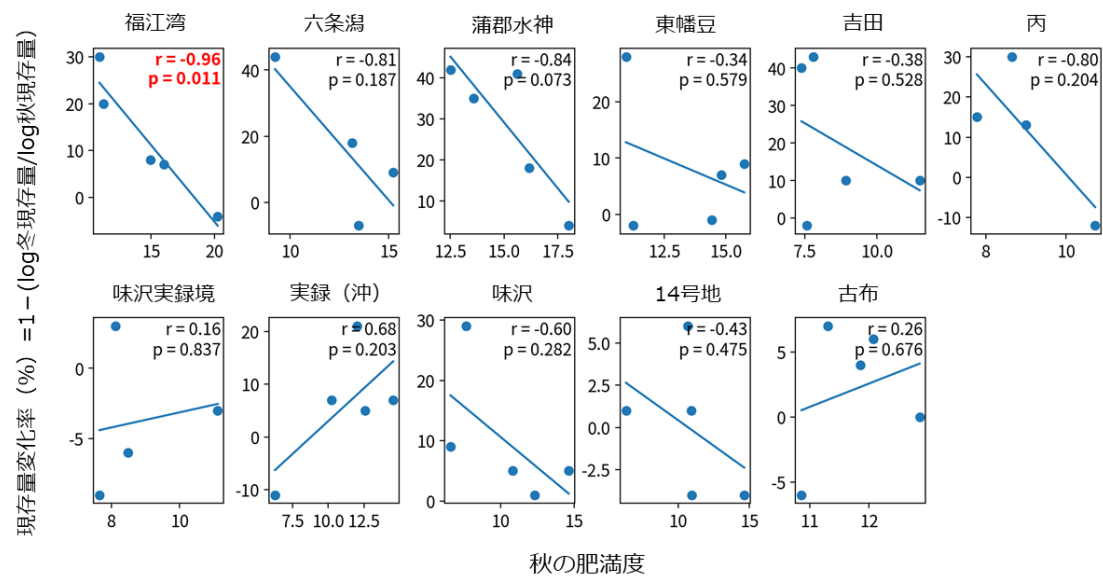


図 9 2021 年 8 月～2026 年 1 月の各地点における秋の肥満度と秋から冬の現存量変化率

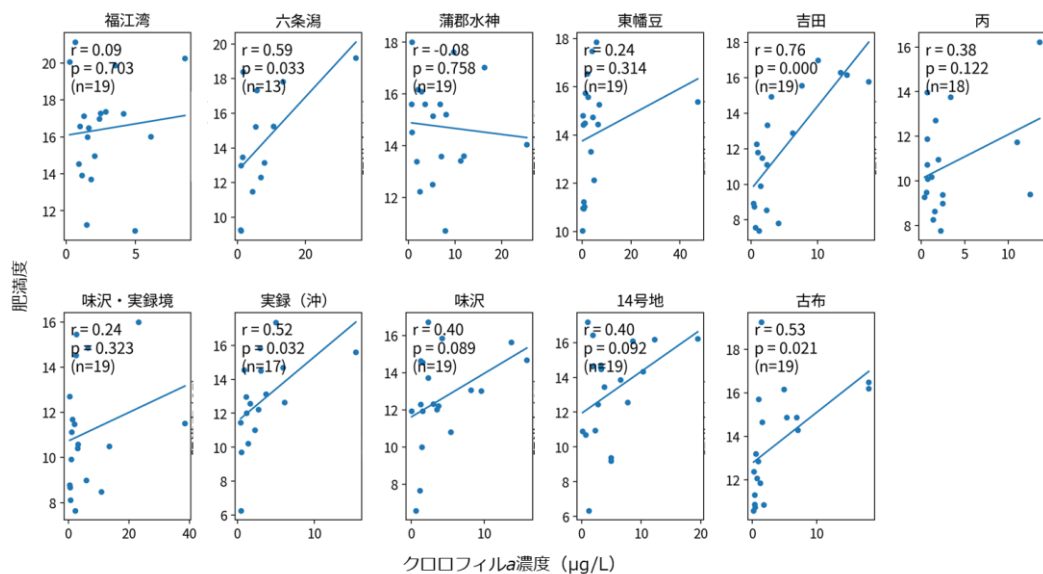


図 10 2021 年 8 月～2026 年 1 月の各地点における肥満度と海水中のクロロフィル a 濃度との関係

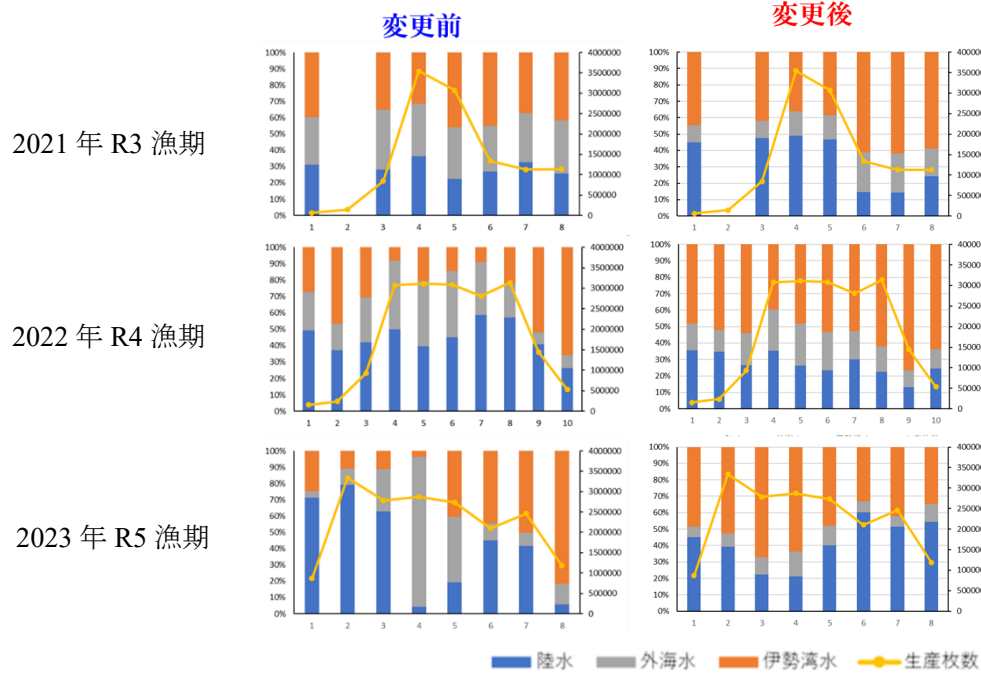


図 11 解析条件の変更に伴う推定結果の変化（伊勢湾西岸・三重県海域）

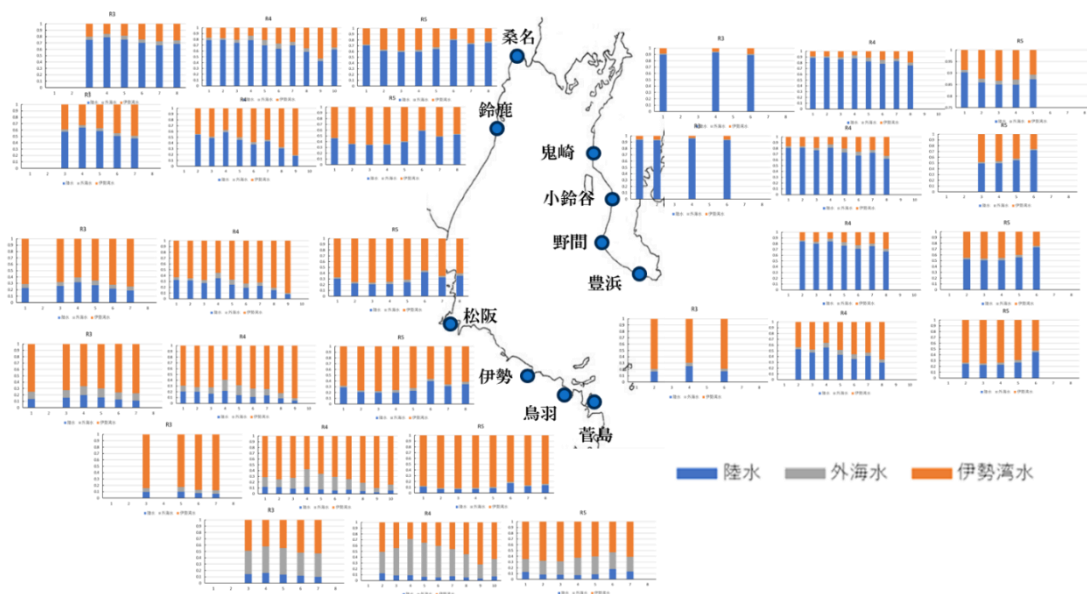


図 12 伊勢湾における漁業地区別・共販別の窒素供給源

課題番号：Ⅲ－３)

課題名：栄養塩類管理方策の検討

一般社団法人 全国水産技術協会

シニア技術専門員 北川高生

技術専門員 畑 恭子

技術専門員 池田宗平

調査協力員 持田史佳

調査協力員 児嶋大地

【背景・目的】

本調査では「豊かな海」に必要な栄養塩供給を把握して管理することによって、「きれいな海」において漁業資源の増大と持続的な維持を可能とし、さらに、適切な栄養塩の配分による安定した生態系の維持と生産量の最大化を可能とする方針の検討を行うものである。そのため、伊勢・三河湾をモデル海域として、栄養塩管理方策を検討する。この海域における資料・データの収集により栄養塩の挙動や漁業実態の把握を行い、既存の物質循環モデルを対象海域に当てはめ、対象海域における物質循環の実態を把握する。さらに、既存の生態系モデルとの統合を図り、漁業資源を含めた生態系を構成する生物の動態を再現し、栄養塩供給の変化等に伴う漁業生物の変動を予測する内湾漁業生産管理モデルを構築する。最終的には栄養塩管理モデルによって栄養塩と漁業生産との関係性を明らかにし、下水処理場の季節別管理運転等による漁業への効果について検討を行い、栄養塩管理方針をとりまとめる。

令和 7 年度では、モデル海域とする伊勢湾・三河湾における栄養塩管理モデル（令和 6 年度と同業務で構築）を用いて感度解析を実施し、栄養塩管理運転に伴うアサリ等の資源量への影響について検討を行った。

【方法】

（1）モデルの構築

港湾空港技術研究所で開発された EcoPARI（田中・鈴木(2010)、田中ほか(2011)、Matsuzaki *et al.*, (2024)) をベースに、伊勢湾・三河湾におけるアサリ資源量を推定するモデルを構築した。再現性の検証はアサリ資源が急激に減少した 2014 年前後を含む 2000～2021 年を対象に実施した。

（2）感度解析の実施

（1）で構築したモデルを用い、下水処理場等での管理運転を想定して、下水処理場等からの流入負荷量増加運転および干潟・浅場の造成を想定した感度解析を実施した。

（3）検討委員会の開催

モデル構築ならびに栄養塩管理方針に専門的な立場からのご意見をいただくために、水産分野の専門 6 名（検討委員会メンバーは以下の通り）からなる検討委員会を設置し、7 月及び 1 月の計 2 回開催した。

<検討委員会の委員構成>

- ・松田治（広島大学名誉教授）
- ・鈴木輝明（名城大学大学院総合学術研究科 特任教授）
- ・反田實（兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター 技術参与）
- ・中田喜三郎（名城大学大学院総合学術研究科 特任教授）
- ・中村元彦（愛知県水産試験場漁業生産研究所 主任）
- ・栗山 功（三重県水産研究所鈴鹿水産研究室 室長）

【結果】

(1) モデルの構築

構築したモデルのベースとなった EcoPARI の概要は図 1 およびに示すとおりである。アサリ資源量モデルについては、鶴島ら(2019)のアサリ成長モデルが組み込まれた EcoPARI を利用した。水平格子分割は図 3 に示す通りとした。再現性の検証はアサリ資源が急激に減少した 2014 年前後を含む 2000～2021 年を対象とした。

昨年度までのモデル（R6 モデル）では三河湾奥部での貧酸素の状況が再現できていないと第 1 回検討委員会（2025/07/10 開催）において指摘があり、水中と底泥間の酸素フラックスを確認したところ、底生系付着藻類が水深 7～10m 帯でも繁茂し、その結果三河湾のほぼ全域で海底直上水に酸素が過大に供給されていることがわかった（図 4, 図 5）。これは R6 モデルでは付着藻類の光合成における最適照度が文献値より 1 オーダー程度小さく設定されていたことに起因しているため、この値を文献値の範囲に設定し直して計算を実施したところ三河湾の底層 DO 濃度の再現性が向上した（図 6）。

(2) モデルの再現性

モデルの再現性の検証例を図 8～図 16 に示す。図 8 に示した貧酸素水塊の比較では、三河湾、伊勢湾（狭義）どちらも経年的な変化傾向を概ね再現できている。とくに三河湾において、図中の網掛した年次は観測結果で貧酸素面積が比較的小さい値を示している年であり、計算結果においても同様の変動傾向を示していることを表している。水質の再現性に関しては第 1 回検討委員会において、窒素（図 11）やリン（図 12）以外にも動物プランクトン現存量（図 10）、アサリの肥満度（図 13）、アサリ以外の底生生物現存量（図 15, 図 16）についても確認するよう助言を受けたため、これらの再現性の確認を行った。動物プランクトン現存量については、課題Ⅲ-1 の成果の提供を受け、アサリ肥満度については課題Ⅲ-2 の成果の提供を受けて比較を行った。その結果、実測値で見られる高いクロロフィル-a 濃度の計算結果が過少であること（図 9）、多毛類に代表される堆積物食者の再現性に課題があること（図 16）が第 2 回検討委員会（2026/01/22 開催）において指摘された。

(3) 感度解析の実施

(3) -1 計算条件

感度解析ケースをエラー! 参照元が見つかりません。に示す。栄養塩管理（増加措置）の対象とする下水処理場および工場の位置について図 17 に、対象施設から海域に流入する水量と水質について図 18～図 21 に示す。栄養塩管理（増加措置）として、排水濃度を T-N : 30mg/L, T-P : 3mg/L となるように設定を行った。これにより伊勢・三河湾に流入する負荷量は概ね 2000 年代前

半の負荷量と同程度となった。干潟造成に関しては、現状で比較的水深が浅い沿岸域を対象として一律に嵩上げし干潟となるように設定した。

(3) -2 感度解析結果

感度解析結果を図 22～図 28 に示す。図 22 図 23 は三河湾一色干潟付近のアサリ肥満度の結果を示している。これによると、栄養塩増加措置を行ったケースでは殻長 20mm 以下の貝の肥満度が改善（正の値になる）しており効果が見られている。20mm 以上の貝についても添加後 3 年程度は肥満度の改善が見られるが、その後産卵後のタイミングで肥満度が一時的に下がる状況が見られている。下水処理場に加え工場も増加措置を行ったケースでは顕著な差は見えていない。これは図 17 にある通り、三河湾では対象となる工場が少なく、排水量も少ないため効果が小さい結果となった。干潟造成のケースでは、肥満度はむしろ低くなる結果となっている。これは干潟面積が増え着底できる個体数が増えても餌料が増えるわけではないためかえって餌の取り合いになっているためである。増加措置＋干潟造成のケースの結果は概ね増加措置のケースと同様となっている。

アサリ資源量の変化について図 24 図 25 に示す。栄養塩増加措置を行った場合の資源量増加は 4～5 万トンであり、栄養塩増加措置＋干潟造成の場合は 6～7 万トン増加する結果となり、干潟造成（場の整備）を行った上で栄養塩の増加措置を行うことにより資源量が大きく増加することが期待される。

図 26～図 28 には動植物プランクトンの変化と水中のフラックスの変化傾向を示した。これによると、栄養塩増加措置によりプランクトン現存量が増加し、アサリ資源量の増加や魚類等への餌料供給増加の可能性を示している一方、海底への有機物の沈降フラックスも増加することから酸素消費フラックスが増加する可能性も示唆された。

(4) 第 2 回検討委員会における指摘事項

- モデル再現性：植物プランクトン（クロロフィル-a）、堆積物食者
- 感度解析条件：工場の業種による排水濃度の上限値確認、現実的な干潟面積の設定
- 栄養塩管理方針の検討：窒素・リンの環境基準値との比較、イカナゴ資源量への影響

【参考文献】

1. 田中陽二， 鈴木高二郎．密度流湧昇流の計算を目的とした三次元沿岸域流動モデルの開発について．港湾空港技術研究所報告 49 (1): 3-25, 2010.
2. 田中陽二， 中村由行， 鈴木高二郎， 井上徹教， 西村洋子， 微生物ループを考慮した浮遊生態系モデルの構築， 港湾空港研究所報告 第 50 巻第 2 号， 2011.
3. Matsuzaki Y, Inoue T, Kubota M, Matsumoto H, Sato T, Sakamoto H, Naito D. Web application of an integrated simulation for aquatic environment assessment in coastal and estuarine areas. Environmental Modelling & Software 181 106184, 2024.
4. 鶴島大樹， 永尾謙太郎， 中田喜三郎．数値シミュレーションを用いた伊勢湾におけるアサリの餌料不足に関する一考察．土木学会論文集 B2(海岸工学)， 2019.

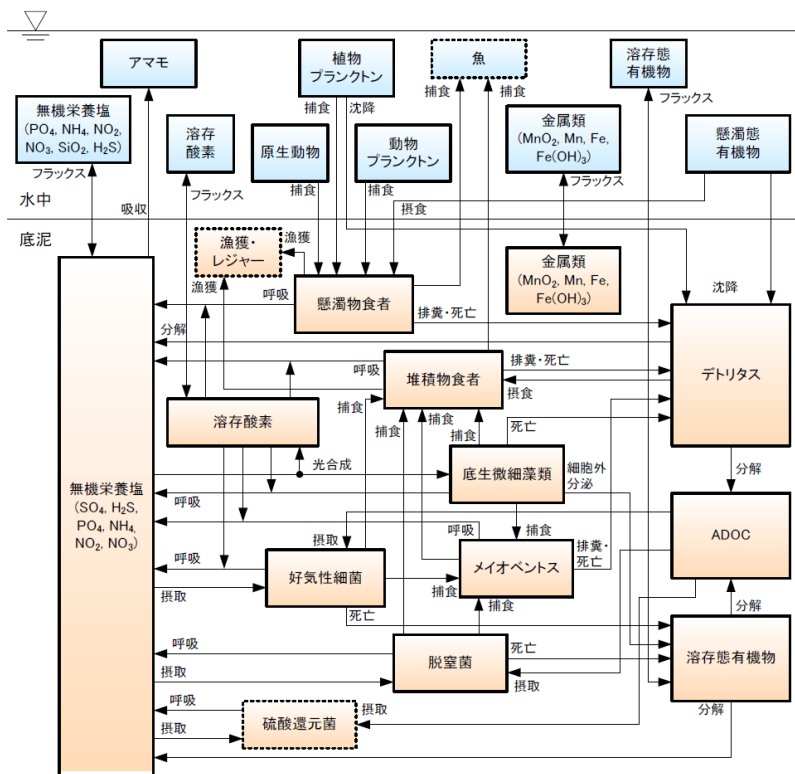
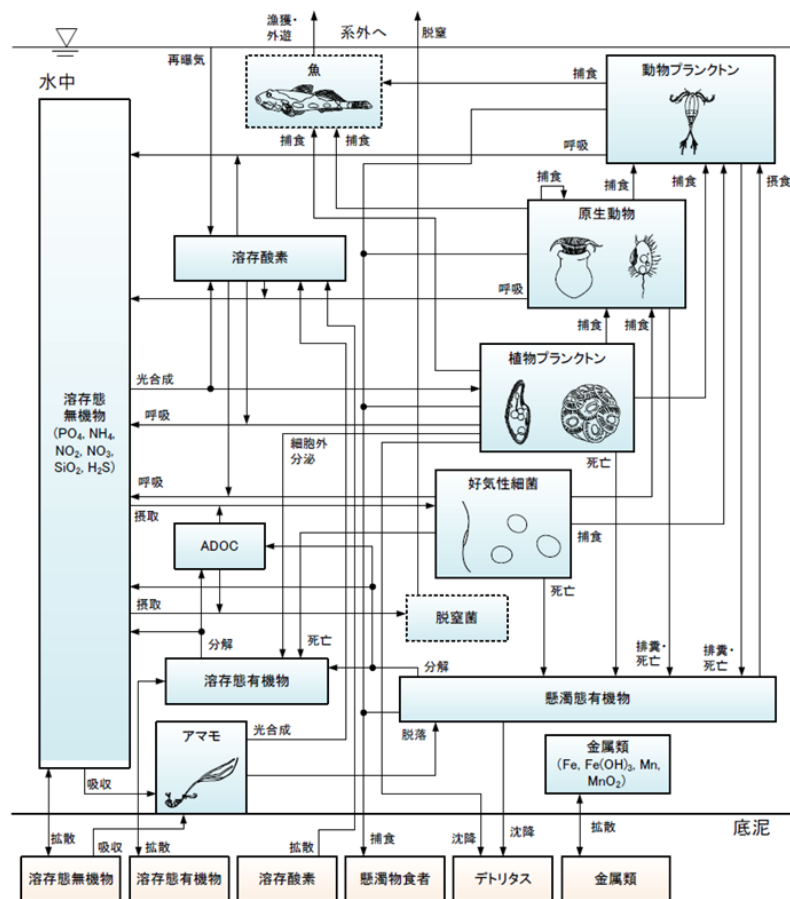
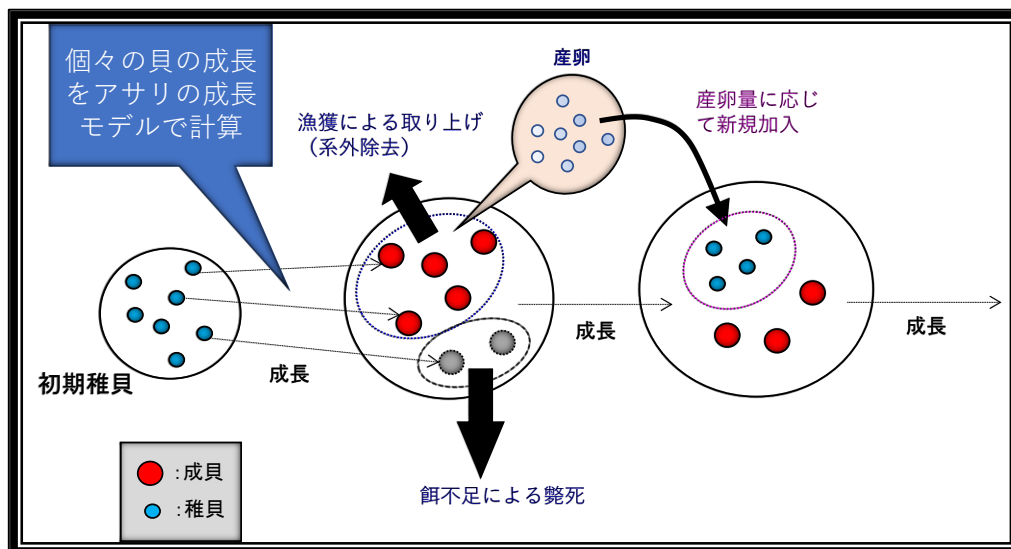


図 1 モデルの概要



出典：伊勢湾シミュレーターを活用した栄養塩管理とアサリ資源量の回復について
https://www.p-unique.co.jp/tokyobay/pdf/university_1.pdf

図 2 アサリ資源量モデルの概念図

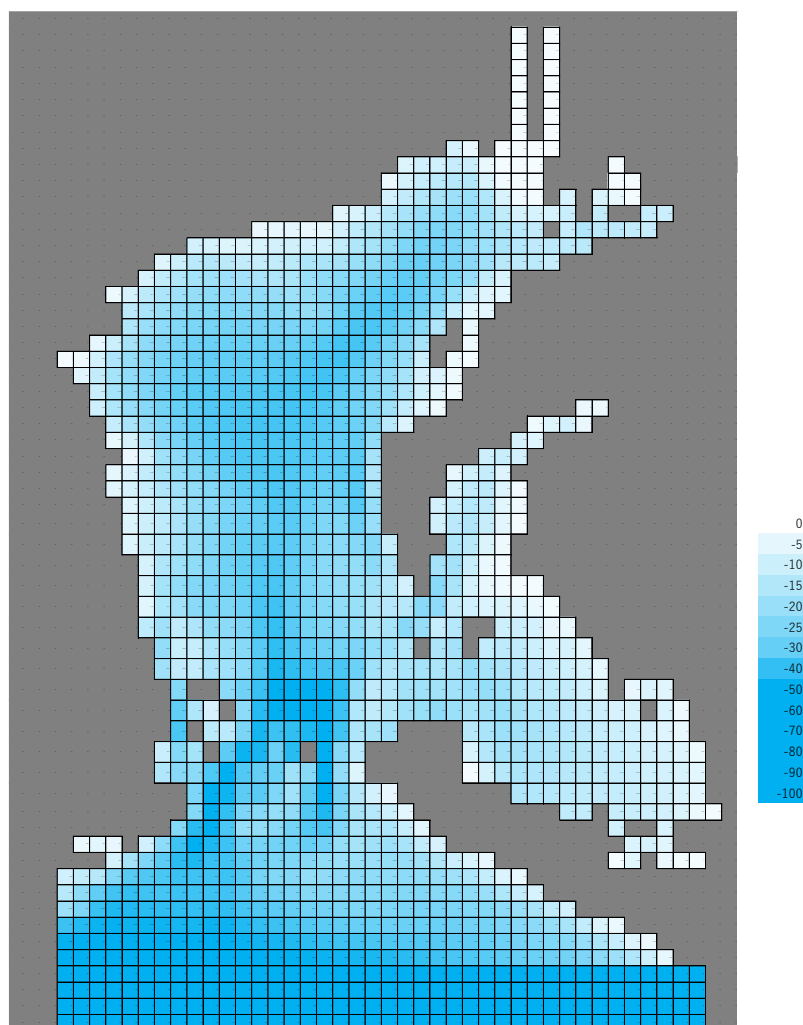
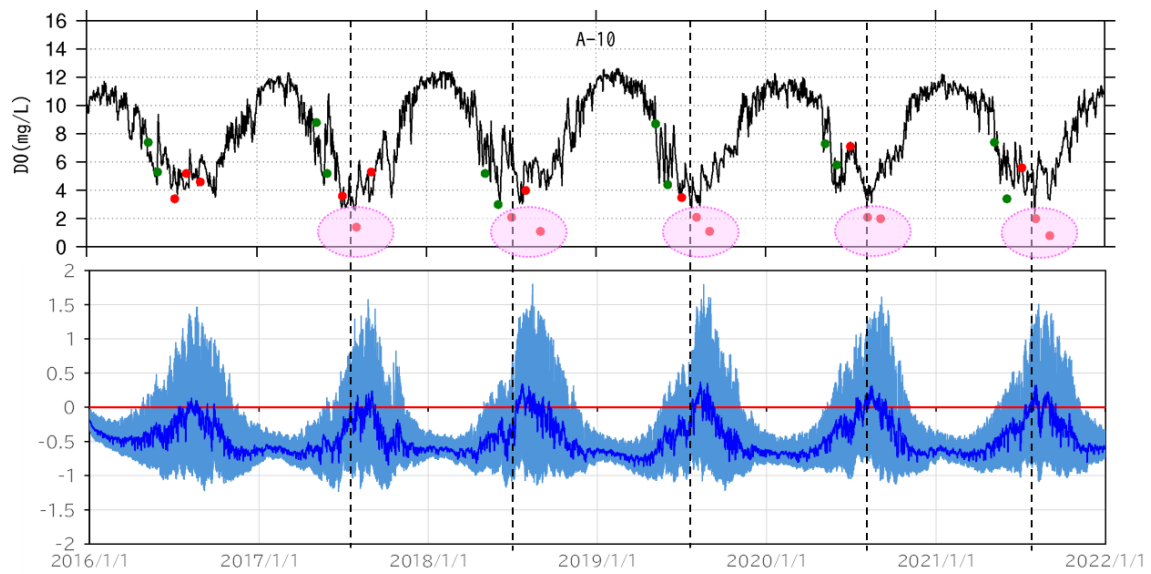


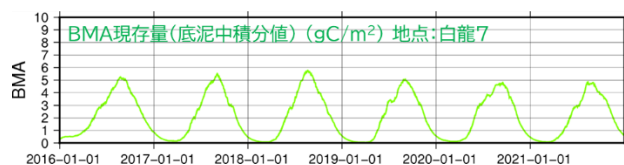
図 3 モデル計算の対象域と水平格子分割



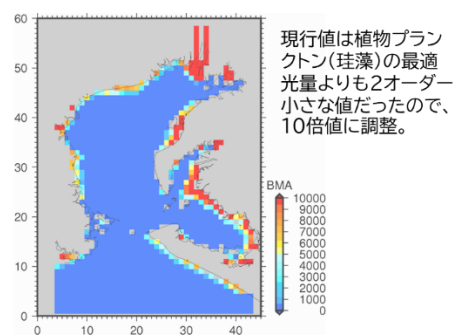
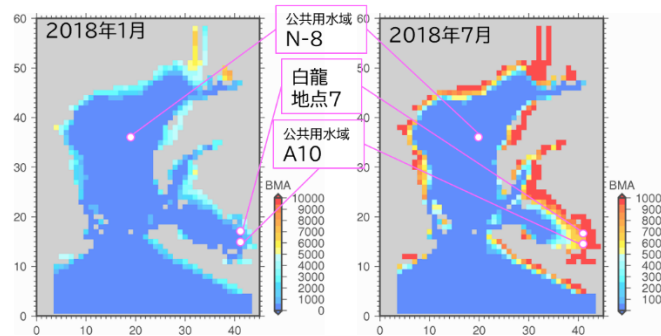
三河湾奥部で貧酸素が再現できていない時期

図 4 三河湾での底層 DO 濃度と水中 - 底泥間の酸素フラックスの比較 (令和 6 年度モデル)

●底泥における生物過程による酸素供給の可能性(BMA:底生付着藻類)



- BMA現存量が、三河湾での底泥酸素消費の変動と一致している。
- BMAの水平分布からは、三河湾の水深域(7~10m程度:公共用水域A10)で、夏季に現存量が増加。
- 伊勢湾中央(公共用水域N-8)では現存量は増加していない。
→BMAの「光強度の半飽和定数」を調整。(→大きな値に設定)



令和 6 年度モデル計算結果

今年度計算結果

図 5 底泥第 1 層の付着藻類現存量 (単位 : gC/m³)

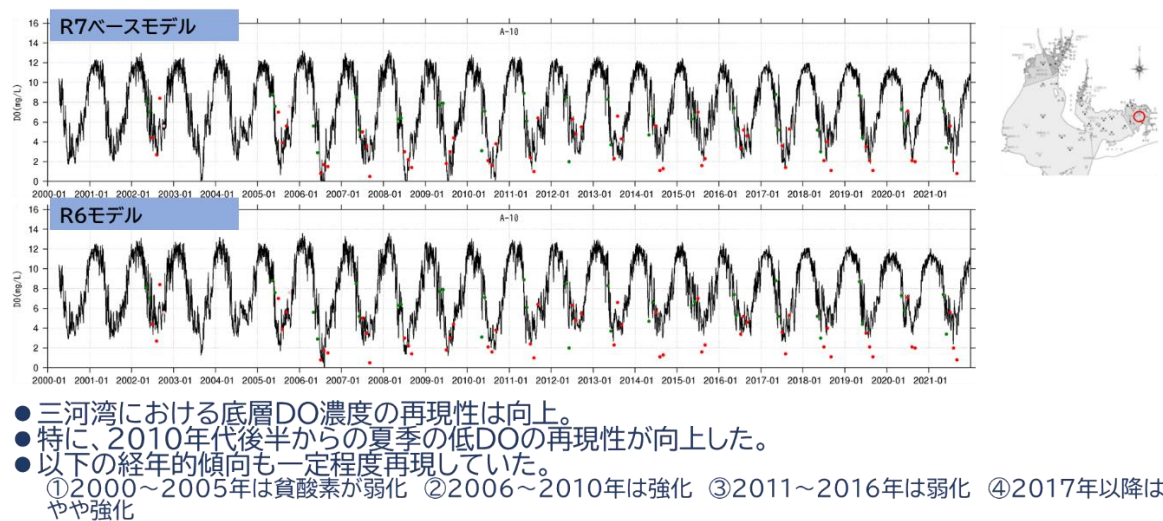


図 6 底層 DO 濃度計算結果（2000 年以降，三河湾）

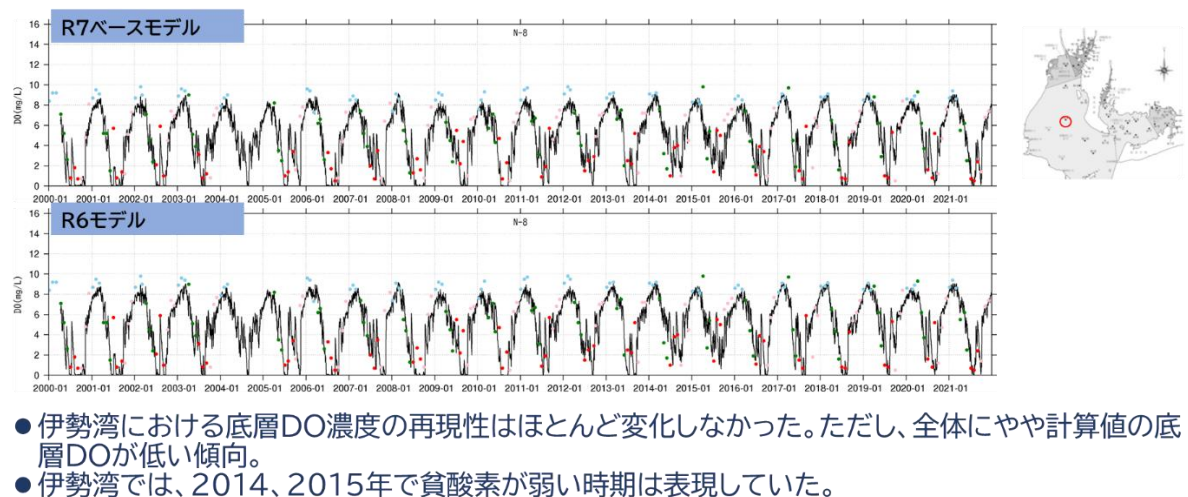
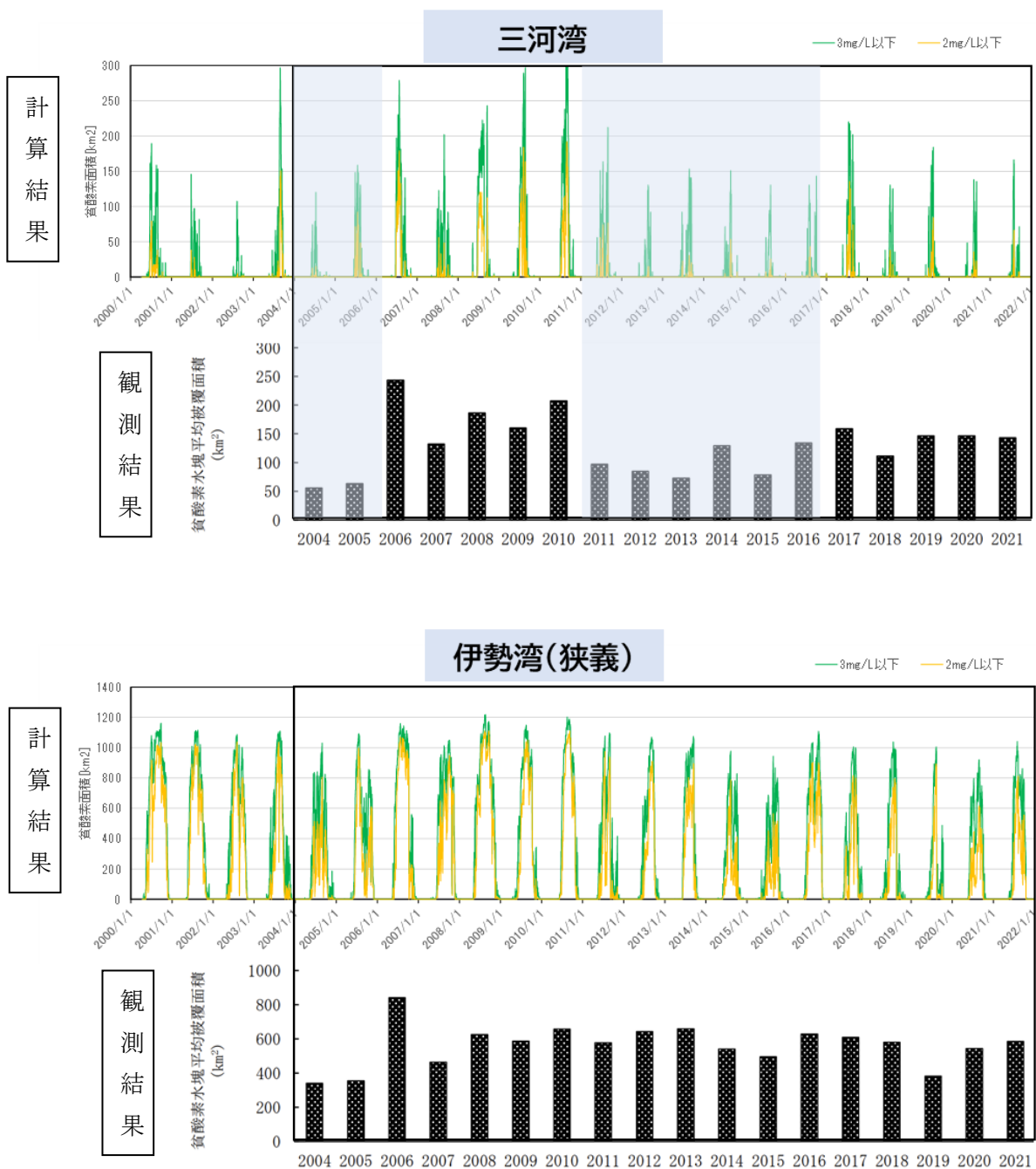


図 7 底層 DO 濃度計算結果（2000 年以降，伊勢湾）



- 経年的な変化傾向は概ね再現している。
- 三河湾では年々の貧酸素水塊面積変動が大きく、経年的に以下のような変動がみられる。
 ①2000～2005年は貧酸素が弱화 ②2006～2010年は強化 ③2011～2016年は弱화 ④2017年以降はやや強化

図 8 貧酸素水塊の長期計算（2000 年以降）

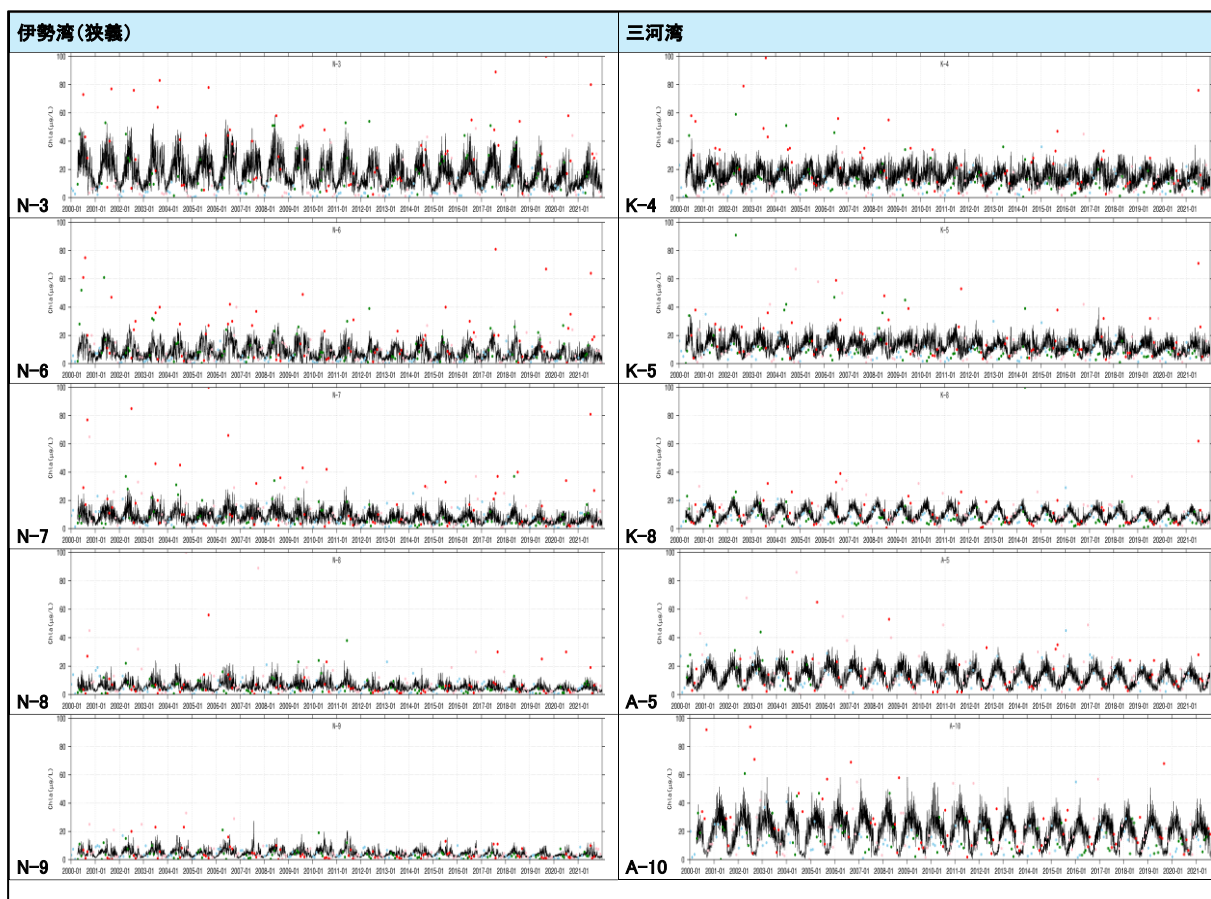


図 9 クロロフィル-a 濃度計算結果（実測値は丸，計算結果は線で表示）

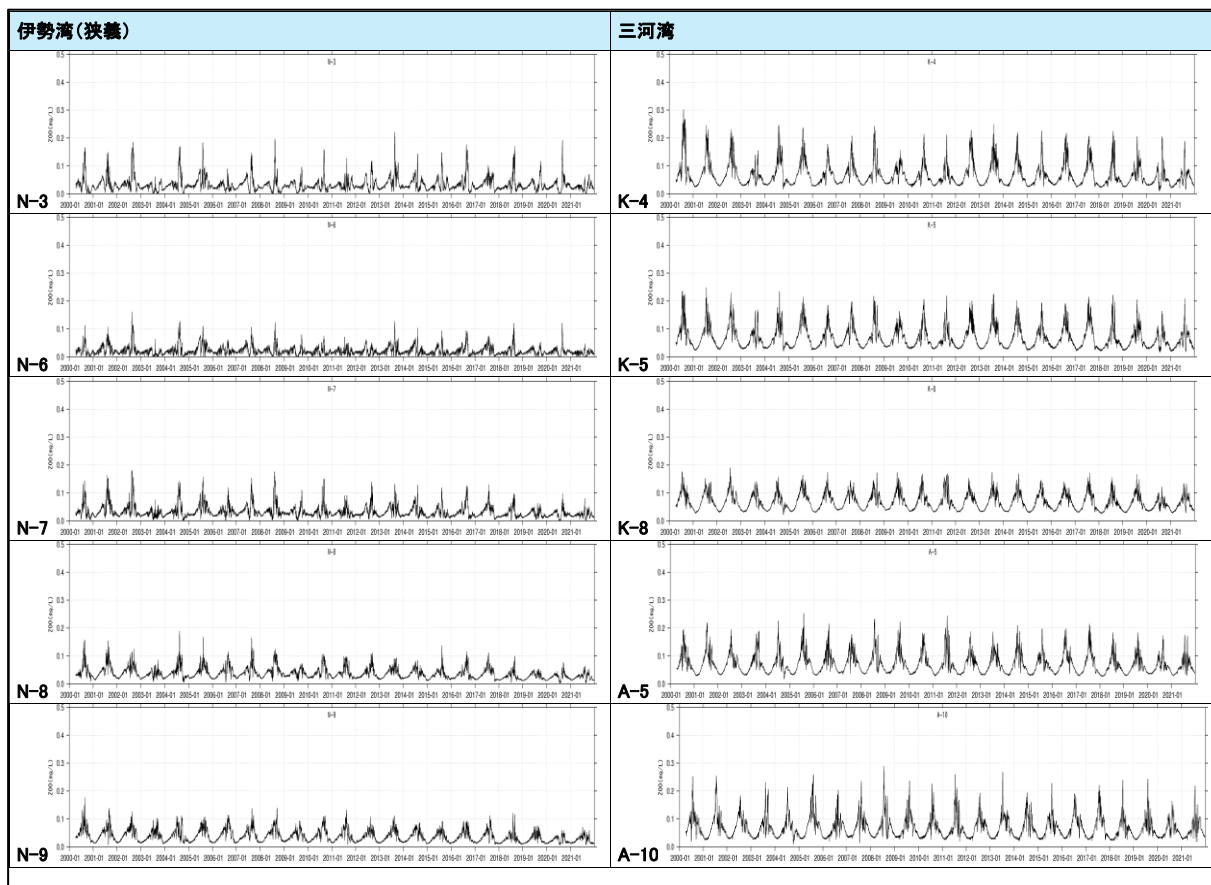


図 10 動物プランクトン現存量計算結果（実測値は丸，計算結果は線で表示）

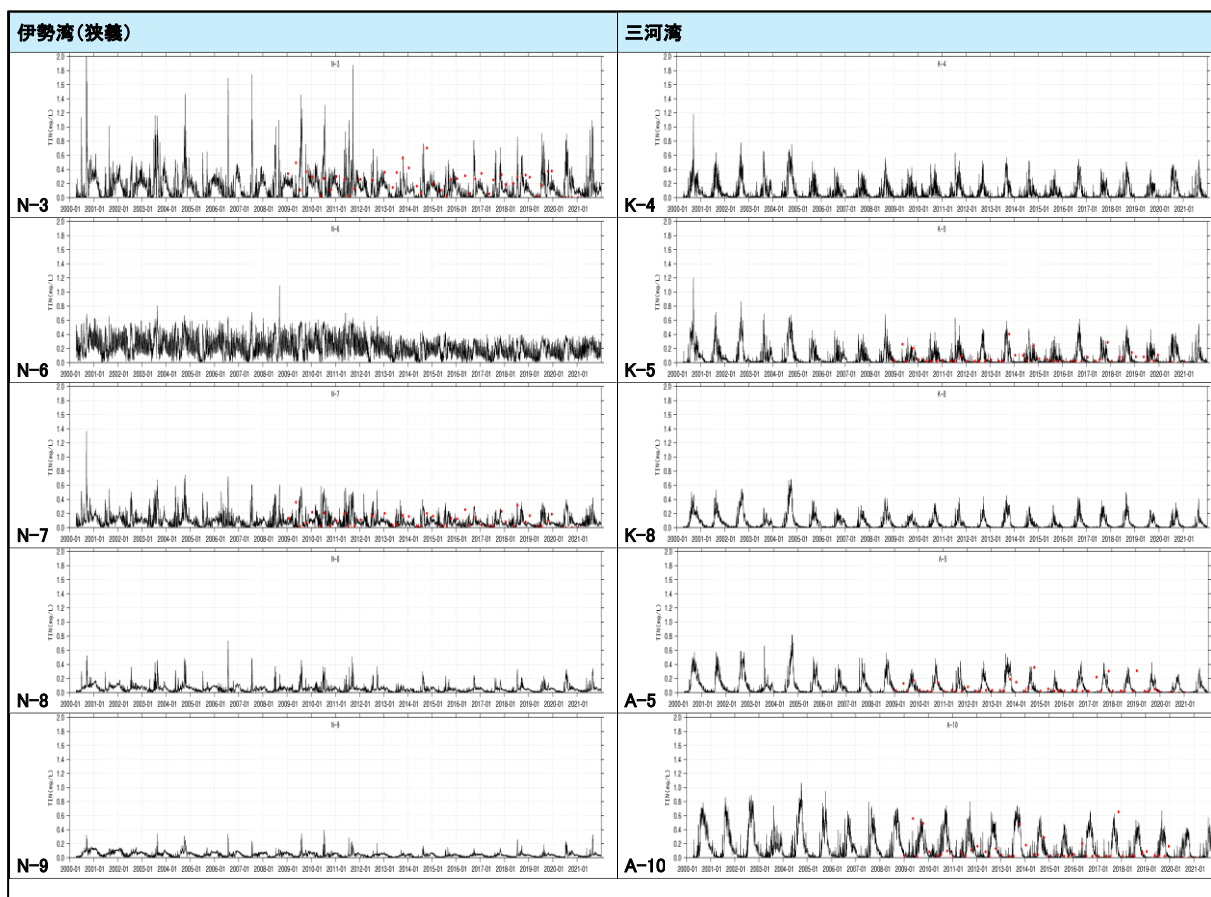


図 11 DIN（溶存態無機窒素）濃度計算結果（実測値は丸，計算結果は線で表示）

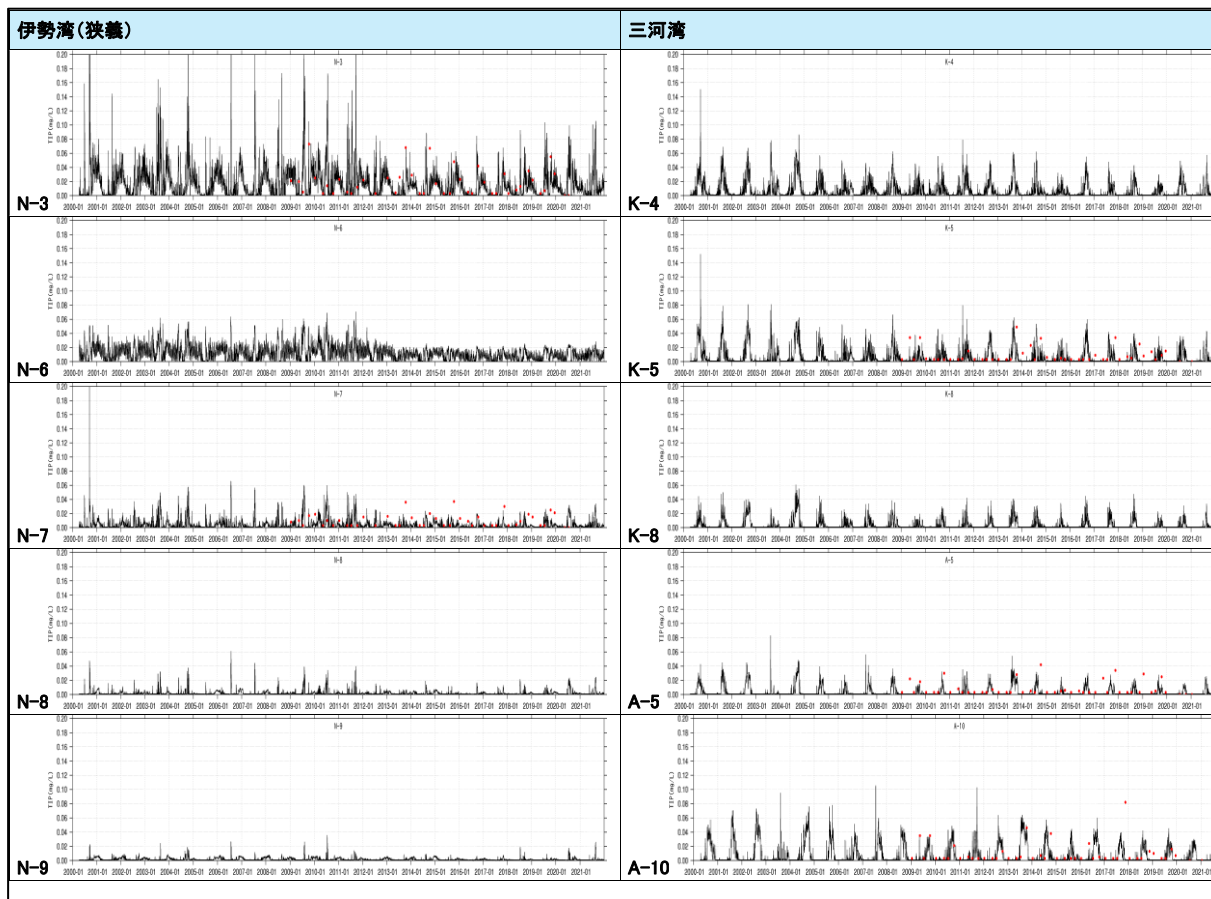


図 12 DIP（溶存態無機リン）濃度計算結果（実測値は丸，計算結果は線で表示）



- ・測定結果（2022-2024年度）において肥満度がもっとも低い季節は年によって異なるように見える。
- ・計算結果では夏から秋に肥満度が下がる年が多く見られるが、冬から春にかけて低い値が見られる年もある。

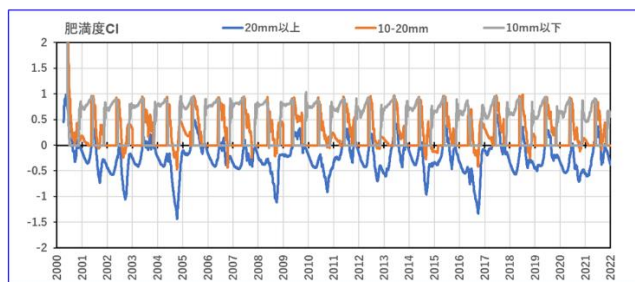
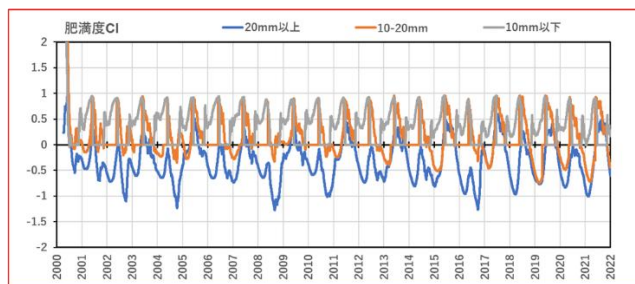
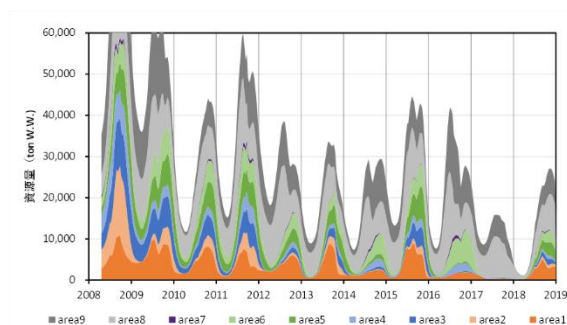
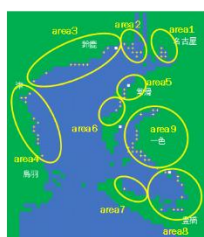


図 13 アサリ肥満度計算結果



全エリアでのアサリ資源量の計算結果



area1: 名古屋港
area2: 木曽川河口
area3: 三重沿岸北部
area4: 三重沿岸南部
area5: 知多半島北部
area6: 知多半島南部
area7: 田原
area8: 三河湾東部
area9: 三河湾西部

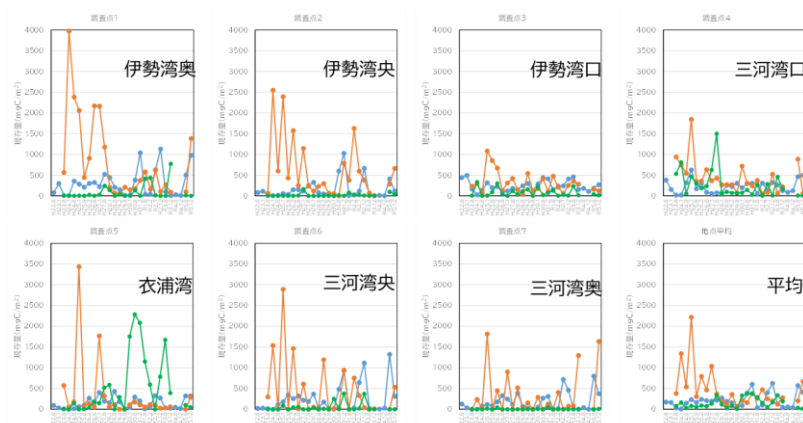


2021年の三河湾西部の漁獲割合を参考に設定
引用（水試ニュースNo.550(2022)）

【アサリ資源量計算結果の特徴】

- 2014年以降も減耗が継続している。
- ただし、資源減耗は2012年ぐらいからで、漁獲量よりもやや早い傾向
- 年々の資源量変化は大きく、2015年に資源増加のピークがある。

図 14 アサリ資源量計算結果



● **メイオベントス:**

- 平均: $0.1 \sim 0.5 \text{ gC/m}^2$ 程度
- 近年(2018年ぐらいから)増加している地点がみられ、 1 gC/m^2 程度の地点も。

● **堆積物食者(多毛類):**

- 平均: $0.5 \sim 2.0 \text{ gC/m}^2$ 程度
- 近年(2018年ぐらいから)減少。
- 減少している近年では、 $0.1 \sim 0.5 \text{ gC/m}^2$ 程度

● **懸濁物食者(アサリ以外の二枚貝):**

- 平均: $0.1 \sim 0.5 \text{ gC/m}^2$ 程度
- 近年の衣浦湾で $1 \sim 2 \text{ gC/m}^2$ の年も見られる。

白龍による底生生物調査(2010~2023年)【炭素量換算】
 —:メイオベントス、—:堆積物食者(多毛類)、—:懸濁物食者(アサリ以外の二枚貝)

図 15 アサリ以外の底生生物実測値

- 底生系に関して若干の調整を行ったケース
- 貧酸素水塊の再現性を行ったケース

- BMAの光制限関数の微調整
- ベントス現存量減耗時の最小値の調整
- ベントス摂餌速度・同化効率の調整
- 底泥拡散係数の微調整

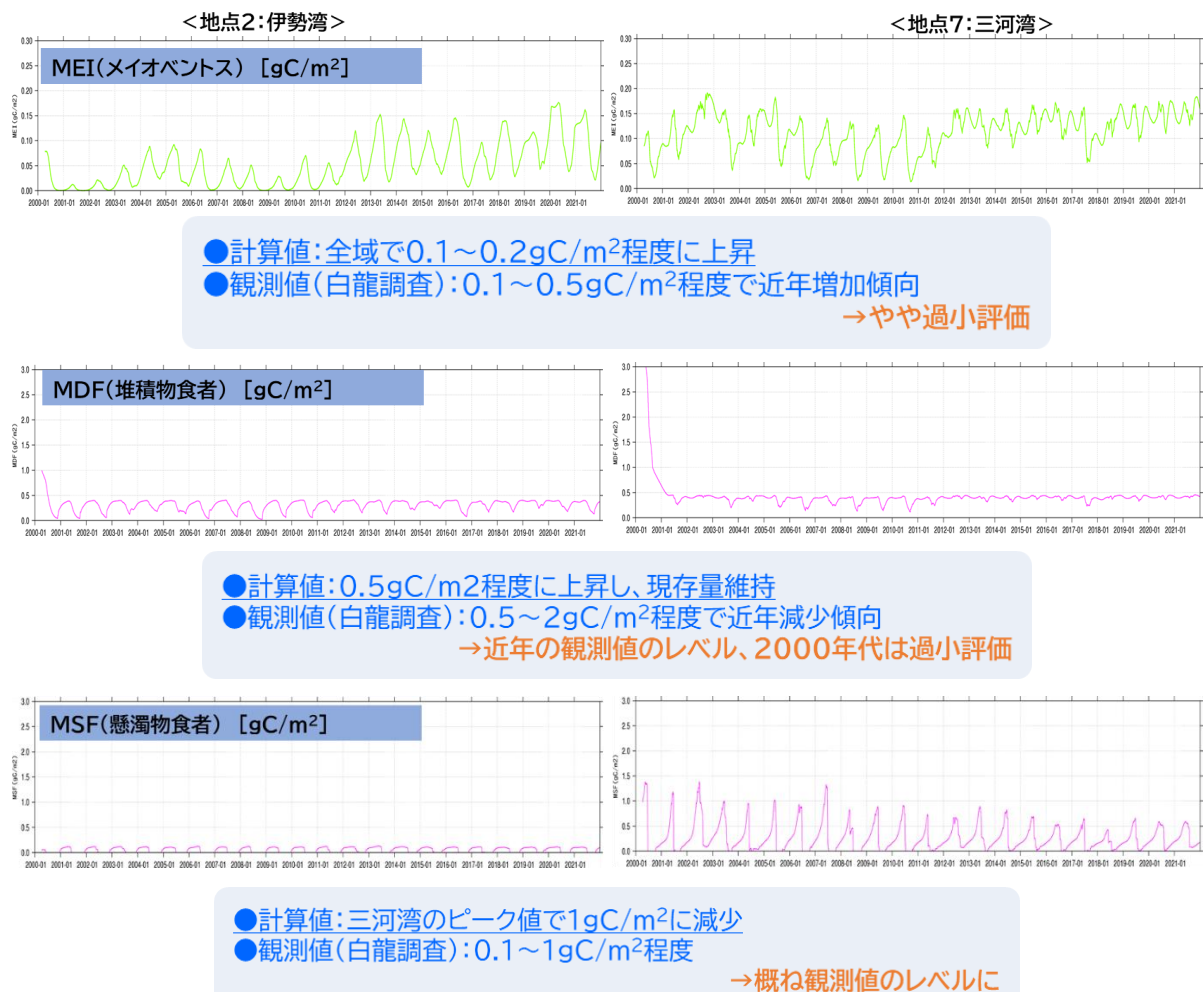
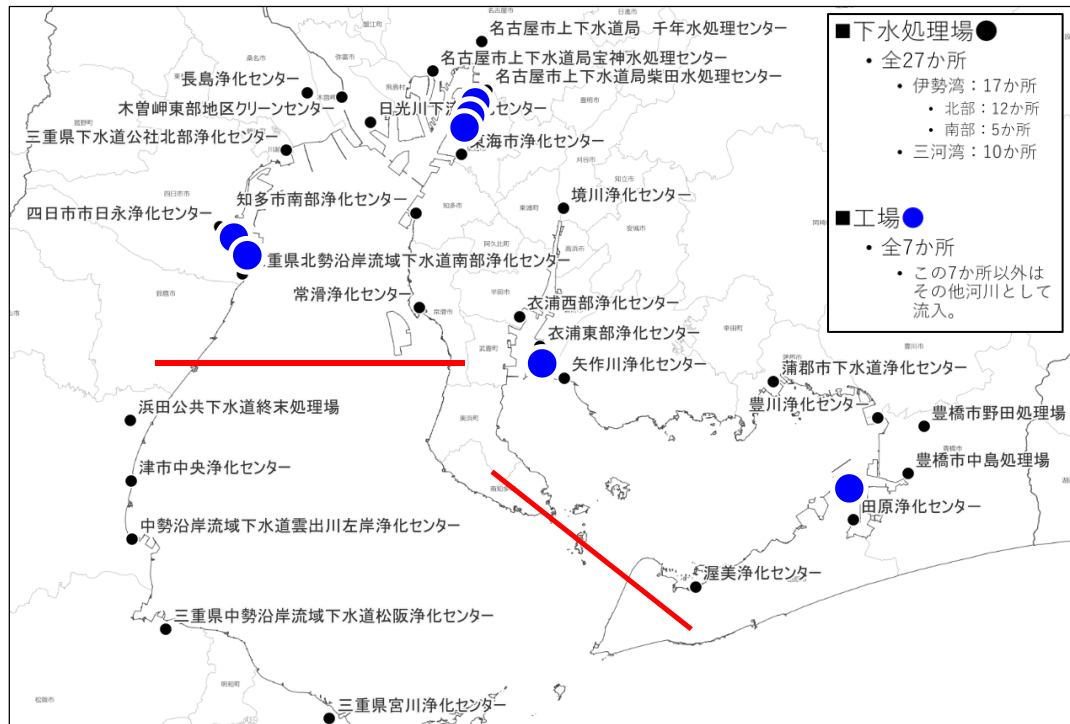


図 16 アサリ以外の底生生物現存量計算結果

表 1 感度解析ケース

ケース	下水処理場	工場・事業所	干潟	備考
0	現況ケース			
1	(1) 9～3月にNP増加 (2) 通年NP増加	— —	— —	T-N 30mg/L, T-P 3mg/L
2	(1) 9～3月にNP増加 (2) 通年NP増加	9～3月にNP増加 通年NP増加	— —	Case1-(1)+ 工場・事業所 Case1-(2)+ 工場・事業所
3	(1) —	—	6,000ha	伊勢湾再生の検討ケースの中で最大面積
4	(1) 通年NP増加	通年NP増加	6.000ha	Case2(2) + case3(1)
5	(1) (2)	黒潮大蛇行を想定した開境界条件（栄養塩、水温）を設定（参考資料）		



出典：国土地理院タイル（白地図）

図 17 下水処理場および工場の位置

伊勢湾北部

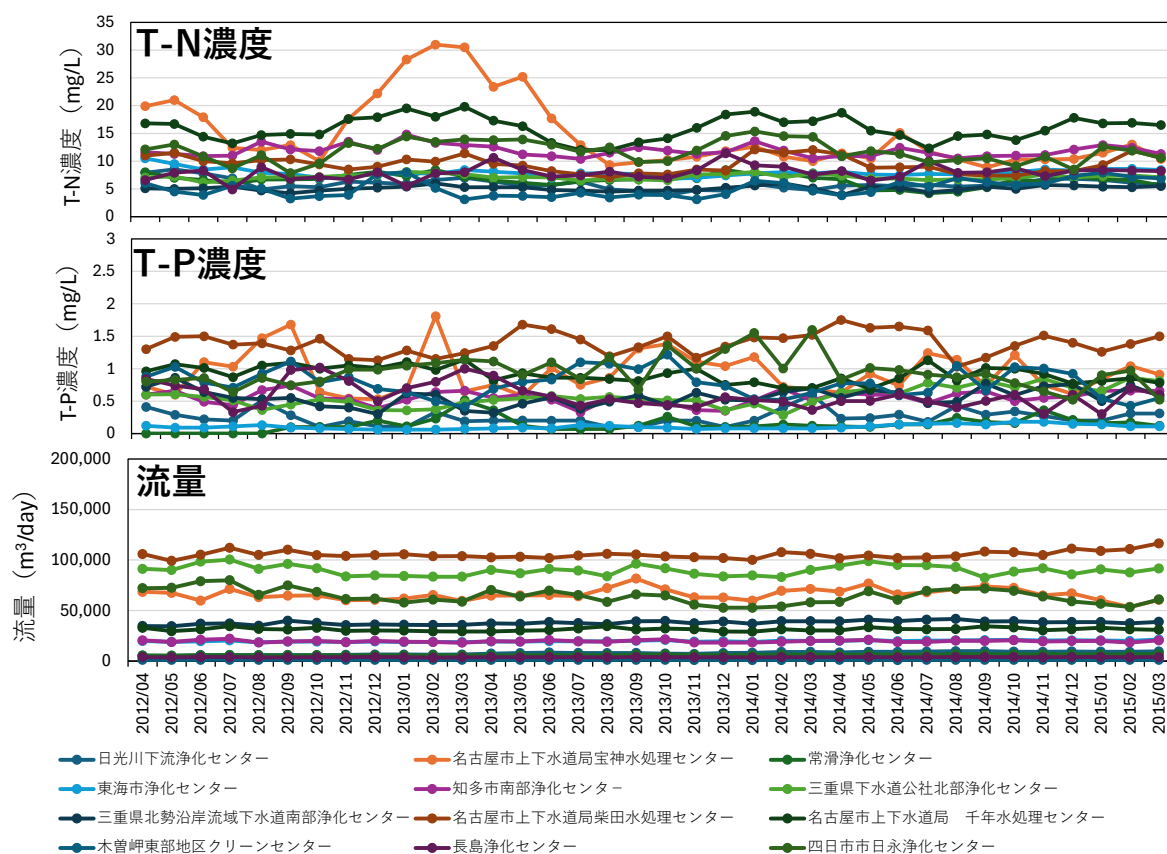


図 18 下水処理場からの流入水質濃度および流量（伊勢湾北部）

伊勢湾南部

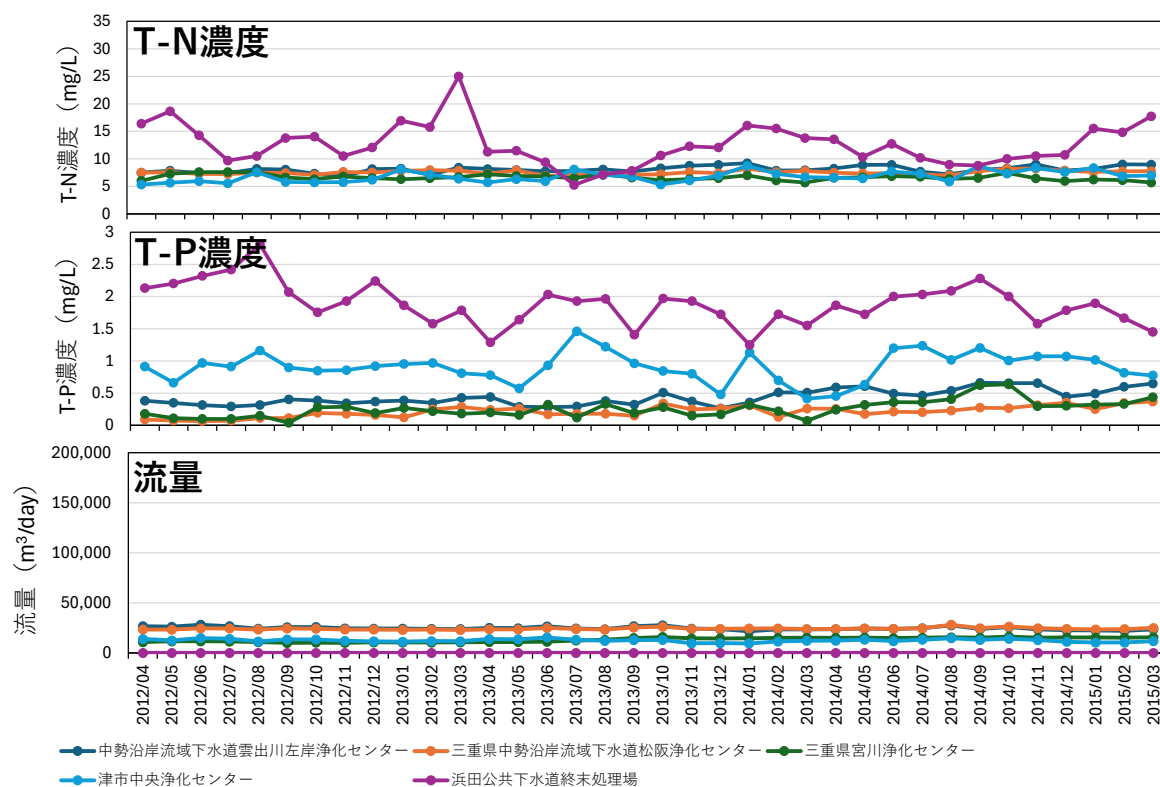


図 19 下水処理場からの流入水質濃度および流量（伊勢湾南部）

三河湾

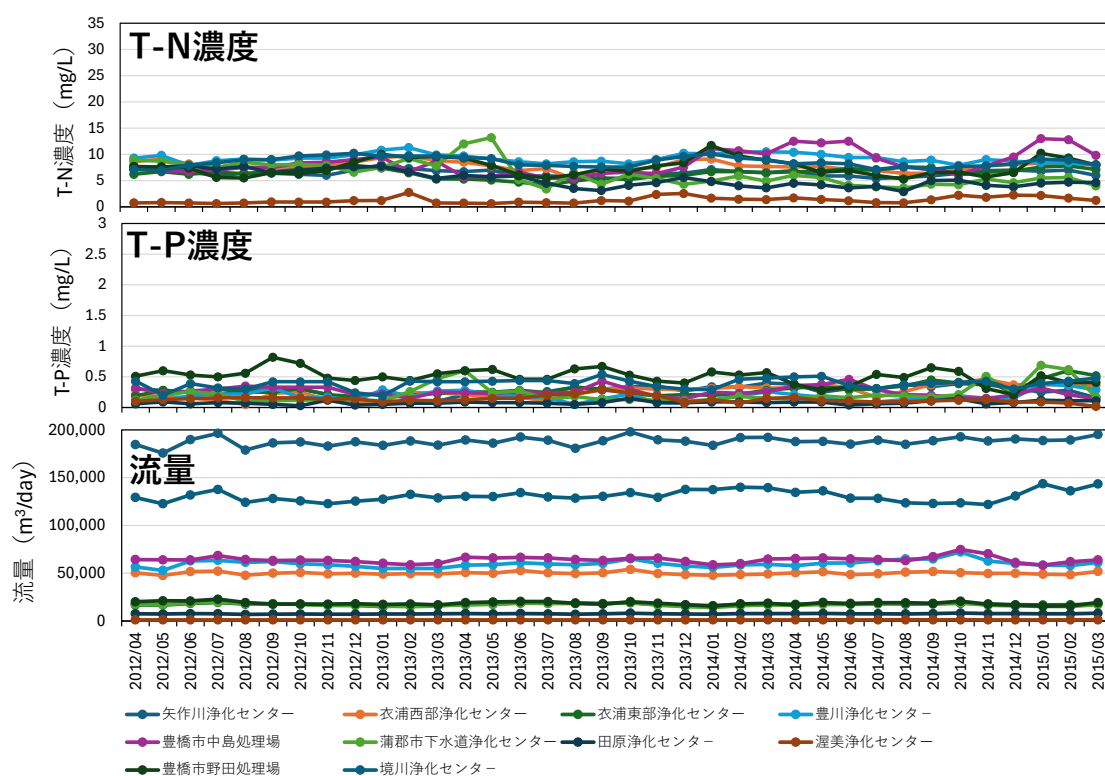


図 20 下水処理場からの流入水質濃度および流量（三河湾）

工場

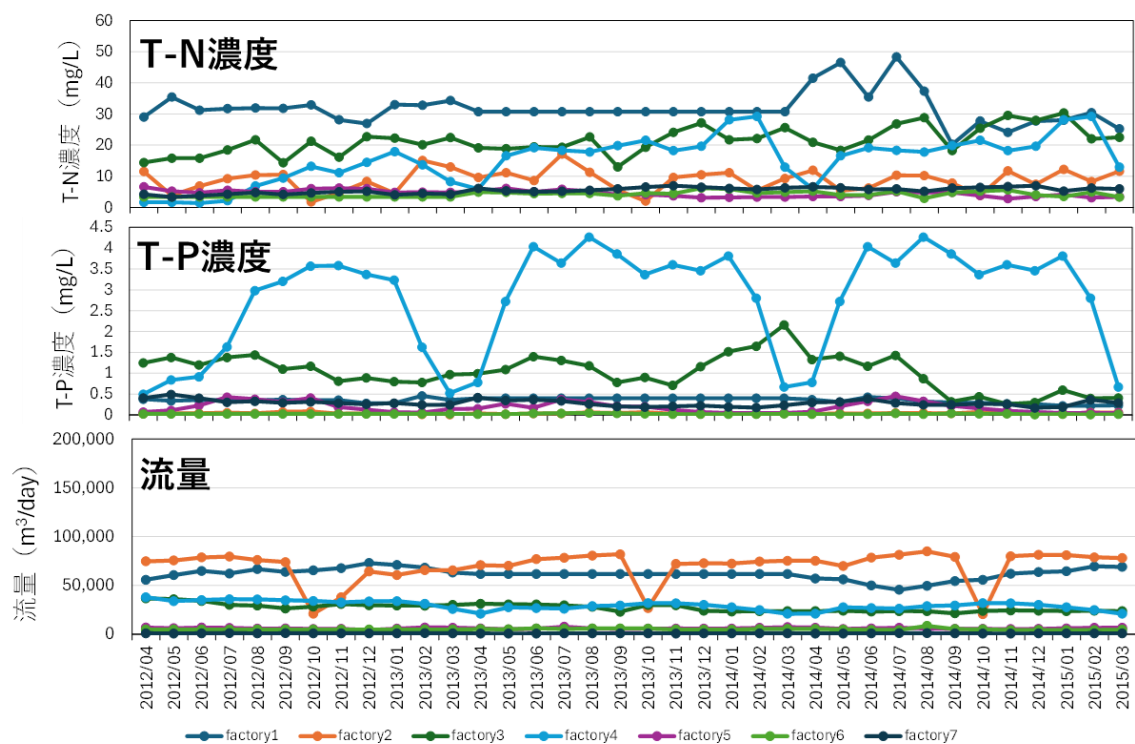
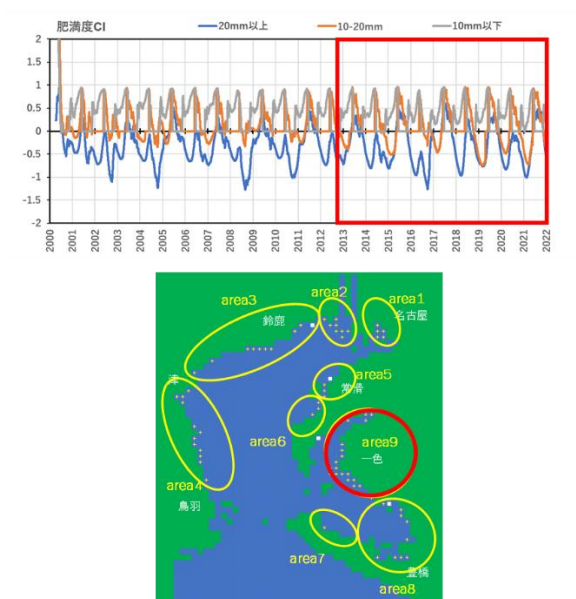
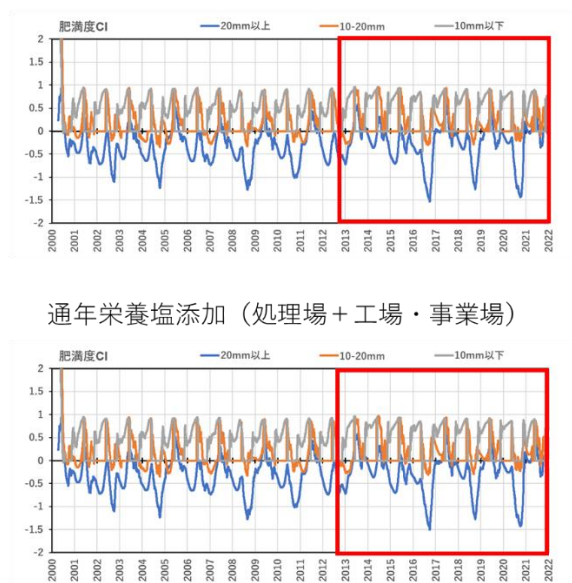


図 21 工場からの流入水質濃度および流量

現況ケース



通年栄養塩添加（処理場）



通年栄養塩添加（処理場＋工場・事業場）

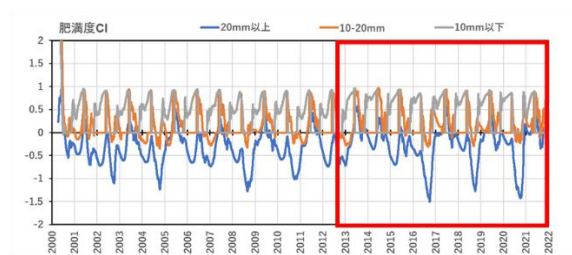
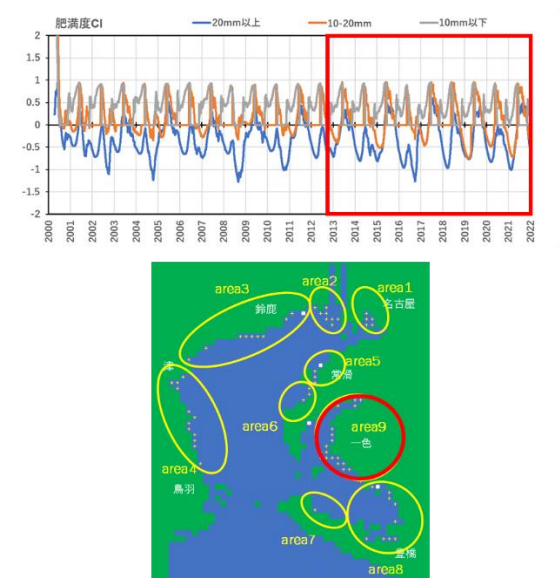
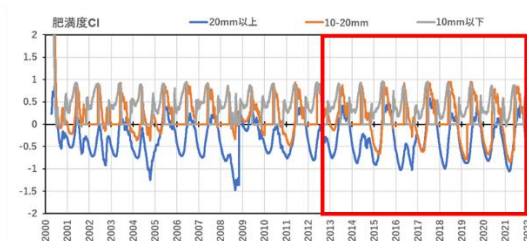


図 22 栄養塩管理（増加措置）ケースでのアサリ肥満度の変化（一色干潟付近）

現況ケース



干潟造成



通年栄養塩添加（処理場＋工場・事業場）＋干潟

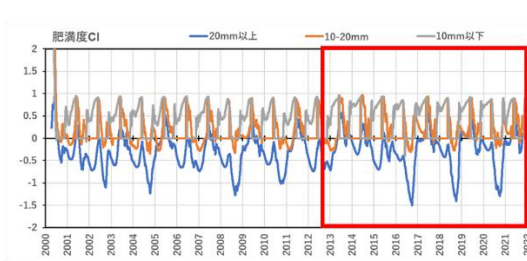
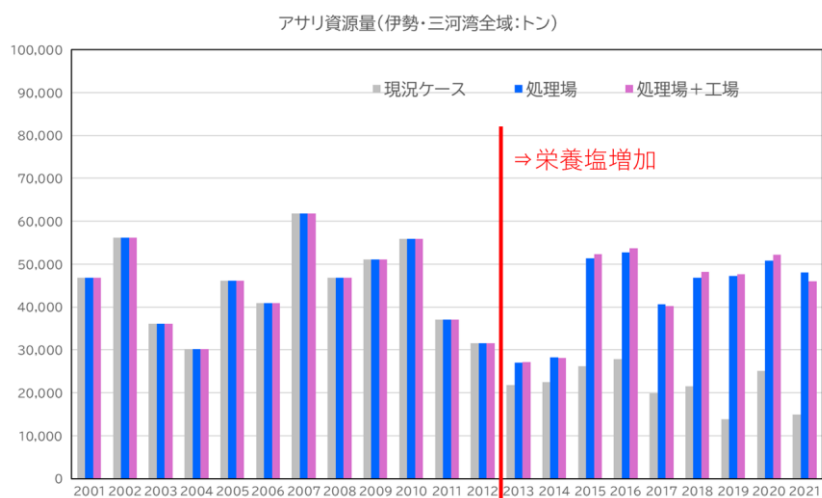
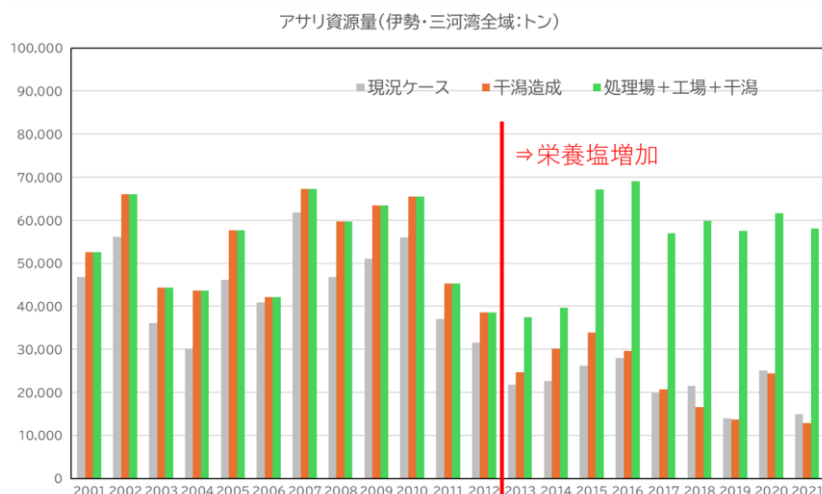


図 23 栄養塩管理（増加措置），干潟造成ケースでのアサリ肥満度の変化（一色干潟付近）



- 栄養塩増加を実施した2013年と翌年の2014年の資源量増加の程度は大きくないが、2015年以降資源量は大きく増え、40,000～50,000トンの資源量となる。
- 処理場のみと処理場+工場で栄養塩を増加したケースでは、概ね工場からも増加した場合の方が資源量が多くなっているが、3年サイクルで資源量が低下する年が見られている。

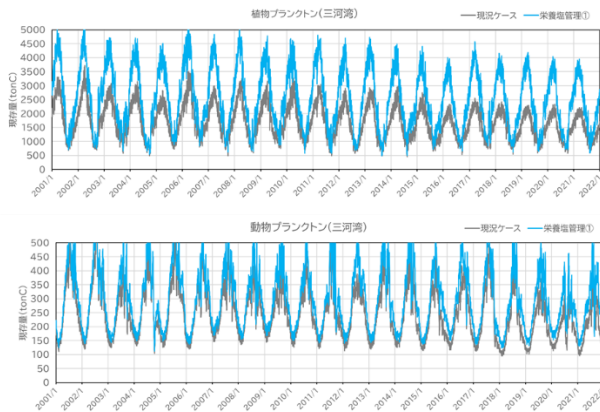
図 24 栄養塩管理（増加措置）ケースでのアサリ資源量比較



- 干潟造成のみのケースでは栄養が足りていたと考えられる
2010年以前は資源量が増加できていたが、現状の資源量低下が顕著になった2013年以降は現状ケースと同程度
- 干潟造成に加え2013年以降栄養塩の増加措置を行った場合、60,000～70,000トンの資源量となり、栄養塩増加措置のみのケースと比べて20,000トン近く増加する。
- 肥満度の結果では、20mm以上の肥満度が産卵に伴いパルス的に低下する傾向を示していることから、造成面積に対して増加している栄養塩では十分ではないことが考えられる。

図 25 栄養塩管理（増加措置）、干潟造成ケースでのアサリ資源量比較

【日変動】



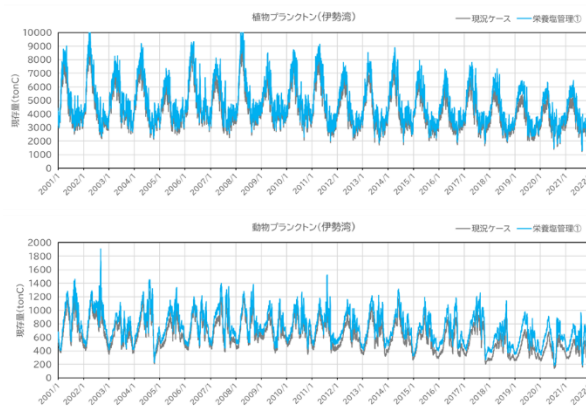
計算期間の平均値

【三河湾平均】	現状 ケース	栄養塩 管理①	栄養塩管理① ／現状
植物プランクトン 現存量(tonC) <gC/m ² >	1,679 <3.41>	2,496 <5.07>	148.6%
動物プランクトン 現存量(tonC) <gC/m ² >	250 <0.50>	299 <0.60>	119.6%
ZOO/PHY	14.8%	11.9%	-

- 植物プランクトンは、3.41→5.07gC/m²と、約1.5倍の現存量に増加。
- 動物プランクトンは、0.50→0.60gC/m²と、約1.2倍の現存量に増加
- 動物プランクトンは、現存量は増加しているものの、植物プランクトンに対して、14.8→11.9%とその比率は低下している。

図 26 栄養塩管理（増加措置）ケースでのプランクトン現存量比較（三河湾）

【日変動】



計算期間の平均値

【伊勢湾】	現状 ケース	栄養塩 管理①	栄養塩管理① ／現状
植物プランクトン 現存量(tonC) <gC/m ² >	4,271 <2.97>	4,742 <3.30>	111.0%
動物プランクトン 現存量(tonC) <gC/m ² >	623 <0.43>	747 <0.52>	119.9%
ZOO/PHY	14.5%	15.7%	-

- 植物プランクトンは、2.97→3.30gC/m²と、約1.1倍に増加。
- 動物プランクトンは、0.43→0.52gC/m²と、約1.2倍に増加。
- 栄養塩管理による動物プランクトンの増加率の方がやや大きく、植物プランクトンに対する現存量比も、14.5→15.7%と増加している。

- 三河湾ではアサリの増加率が大きく(数倍程度)、動物プランクトンとの餌料の競合が生じているが、伊勢湾ではその競合は小さくなく、動物プランクトン→魚類への転送が大きくなりやすい状況を表現したものと考えられる。

図 27 栄養塩管理（増加措置）ケースでのプランクトン現存量比較（伊勢湾）

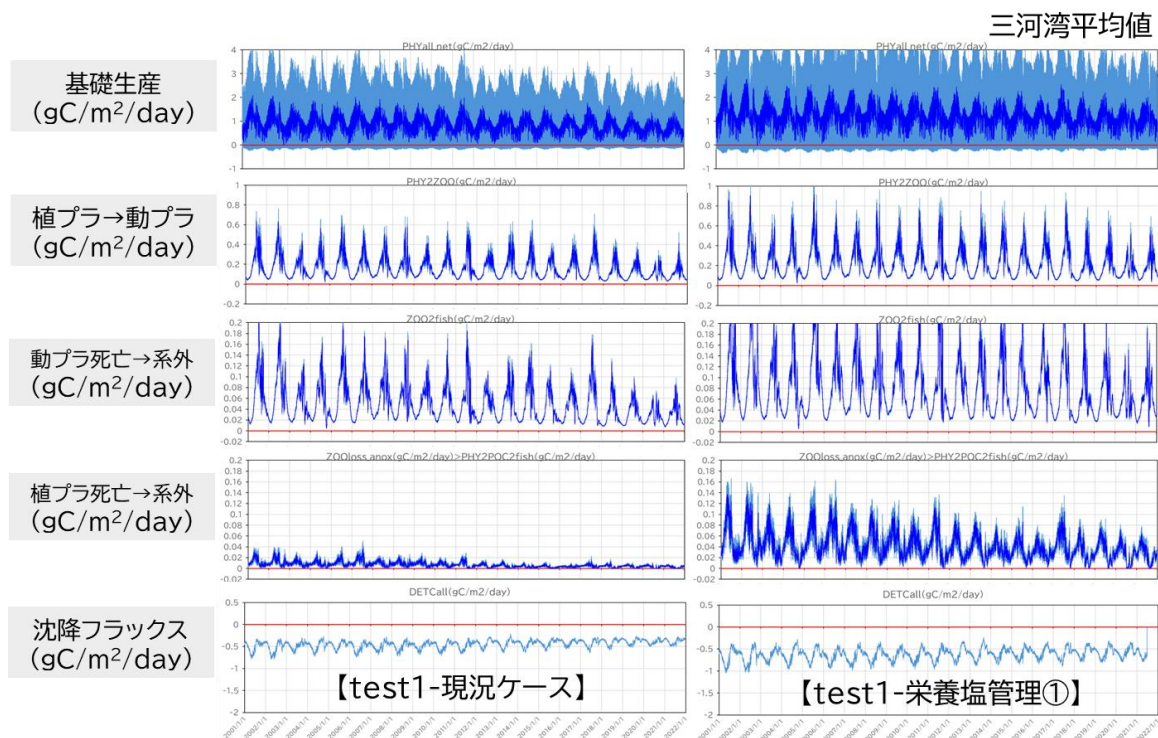
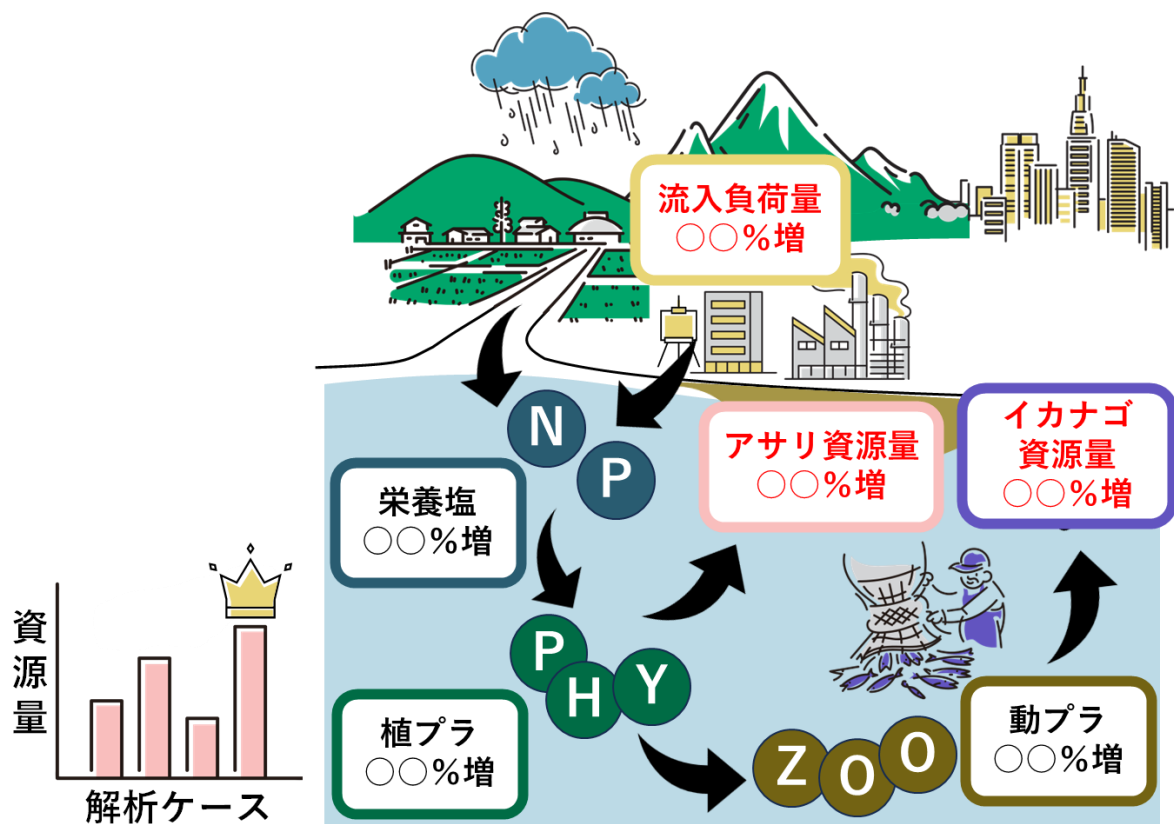


図 28 栄養塩管理（増加措置）ケースでのフラックスの比較（三河湾）



【参考】[水産研究所だより](#)（令和 3 年 3 月），[令和 4（2022）年度イカナゴ伊勢・三河湾系群の資源評価](#)

図 29 最終成果イメージ

課題番号：IV

課題名：藻類養殖場における生産力低下の原因解明と栄養塩供給手法の開発

徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課

池脇義弘，吉田和貴，酒井基介，井口悠稀

大塚テクノ株式会社 川村浩史，三枝 渚

【背景・目的】

紀伊水道西部及び周辺海域において、栄養塩の不足が原因と考えられるノリ・ワカメの色落ち被害が深刻化している（牧野ほか，2015）。そこで、本海域のノリ・ワカメ養殖漁場における、海水中の栄養塩濃度等の分析を行い、漁場生産力低下の原因解明を行う。また、養殖藻類の色落ちを防ぎ、回復させるための方策の一つとして、施肥が考えられる。徳島県沿岸の藻類養殖漁場は、水深が深く、流れが速いことから、徐々に肥料成分が溶け出すような施肥剤を漁場に設置する手法が有効と考えられ、そのような特性をもつ施肥具の開発を行い、実用化を目指す。

【方法】

(1) 藻類養殖場における生産力低下の原因解明

(藻類養殖漁場栄養塩調査)

徳島県のノリ・ワカメ養殖漁場がある海域および感潮域を、「播磨灘」，「小鳴門海峡」，「鳴門海峡南部」（鳴門市地先の紀伊水道），「紀伊北」（松茂町～徳島市地先），「紀伊南」（小松島市～阿南市地先），「吉野川」（スジアオノリ漁場がある吉野川感潮域）6つの区域に分類し，その中に計35の定点を設定した（図1）。2025年10月から2026年3月までの原則火曜日に，調査定点にて表層水を採水し，塩分及び無機溶存態窒素（DIN）濃度の測定と植物プランクトンの計数を行った。塩分測定には，ポータブル電気伝導率計（東亜ディーケーケー社製，CM-31P）を用いた。DIN濃度は，試水をGF/Cフィルターで濾過した後，連続流れ分析装置（ビーエルテック社製：QuAAtro）で測定した。植物プランクトンは，*Coscinodiscus wailesii* 及び *Eucampia zodiacus* について計数した。

また，養殖ワカメの色調の指標となる SPAD 値（團ほか，2004）の測定を，播磨灘の鳴門市栗田地区と紀伊水道南部の阿南市今津地区で行った（図1）。SPAD 値は，葉緑素計（コニカミノルタ社製：SPAD-502 Plus）を用いて計測した。計測部位は藻体基部と中部（最大裂葉）の2箇所，裂葉の中肋に近い部分を3回ずつ測定した平均値を各個体の各部位の SPAD 値とした。なお，ワカメの藻体基部付近は裂葉の幅が狭いため，SPAD 計の計測部が裂葉により確実に覆われるよう幅が10mm以上の仮根にできるだけ近い裂葉で計測を行った。

(徳島県沿岸の DIN 濃度の変動傾向)

藻類養殖漁場栄養塩調査は，1988年から実施し37年間のデータが蓄積されており，このデータを用いて，徳島県沿岸の藻類養殖漁場の DIN 濃度の変動に見られる特徴について調べた。

(2) 栄養塩供給手法の開発

(溶出試験)

容器に硝酸アンモニウム溶液を充填し，半透膜を挟んだ穴（以下，「溶出口」という。）から肥料成分である硝酸イオン及びアンモニウムイオンが半透膜を通して海中で浸出するという構造の

施肥具（図 2）を開発し、その改良を進めてきた。今年度は、昨年度開発した側面に直径 30mm 溶出口を 1～3 個設けた容積 2.5L の従来型プラスチックバッグ型施肥具（以下、「プラバッグ」という。）を、ノリ養殖での使用を想定して小型化する改良を行った。改良により、プラバッグ側面の長辺を短くしたもの（四角タイプ）と短辺を短くしたもの（スリムタイプ）を作製した。改良型プラバッグは、ともに容積 2.0L、溶出口数 2 個とした（図 3）。施肥具内には無機態窒素を含有する液肥として 50%硝酸アンモニウム溶液（以下、「原液」という。）を充填した。半透膜は、ヴィスキングチューブ（ケニス株式会社製）を切り取って用いた。

形状が異なる各施肥具の溶出特性を調べるため、溶出試験を実施した。溶出試験は、約 700L の海水を入れた容積 1 トンの角形水槽（田中三次郎社製、KF-1000S）に、四角タイプ、スリムタイプと比較のため従来型の容積 2.5L の溶出口数 2 個のプラバッグを 1 つずつ吊るして実施した。水槽には換水率約 2.5～3 回転/h で海水を注水した。そして、2～4 日毎に施肥具を取り上げ、施肥具内の硝酸アンモニウム溶液（以下、「液肥」という。）の比重と水温を計測した。比重はメスフラスコを用いて液肥を 200 ml を計量し、電子天秤（エー・アンド・デイ社製：EK-2000i）でその重量を計測して求めた。なお、比重を計測した液肥は再び施肥具に戻して水槽に吊るした。

施肥具内に原液の何%の DIN が残ったかを「成分残存率」と定義し、次式で求めた。

成分残存率 (%) = 液肥の DIN 濃度 / 原液の DIN 濃度 × 100

そして、あらかじめ求めた液肥の比重と成分残存率との関係式から、液肥の成分残存率を推定した。溶出試験は、2025 年 7 月 15 日から 2026 年 2 月 16 日の間の様々な水温条件で計 4 回実施し、海水温や施肥具の形状の違いが成分残存率の変化に与える影響を調べた。

（野外試験）

開発した施肥具の効果を見るため、ノリ養殖漁場とワカメ養殖漁場において施肥具を設置し、色落ちしたワカメの色調を回復させる試験をおこなった。クロノリ養殖漁場での試験は、愛媛県西条市地先の漁場（図 4）で 2026 年 1 月 19 日から 17 日間実施した。養殖漁場に張られたロープにスリムタイプの施肥具を 2 個設置し、試験開始後 7 日目に先に設置した施肥具のすぐ横にさらに 1 個ずつ設置した（図 4）。養殖しているクロノリのサンプルは、試験開始前に 1 箇所、試験終了時に施肥具のすぐ近くと離れた場所（対照区）のそれぞれ 1 箇所ずつで採取し、施肥具から溶出した無機態窒素の吸収を確認するため、窒素安定同位体比の分析に供した。

ワカメ養殖漁場での試験は、徳島県阿南市地先の漁場（図 5）で実施した。この漁場では 3m 間隔で格子状に養殖ロープが張られており、ロープの交点のブイの直下に施肥具を 25 個設置した（図 5）。施肥具はスリムタイプを用いたが、液肥成分の溶出が長く続くよう、液肥に加えて粉末の硝酸アンモニウム（和光純薬、試薬 1 級）500g をプラバッグ内に入れて供した。また、漁場の北東角の水深 1m に電磁流向流速計（JFE アドバンテック社製 INFINITY-EM）を設置した。なお、この漁場では、南向きの流れが卓越し、また、季節的に北西の季節風が吹きやすいことから、施肥具から溶出した成分が流れてゆきにくいと考えられる漁場の北東角付近を対照区に設定した。

試験開始後 10 日前後経過したときに対照区を含む漁場内の様々な箇所でワカメを採取し、SPAD 値を測定し色調の変化を対照区と比較するとともに窒素安定同位体比を分析し、原液の窒素安定同位体比との差を用いて施肥の効果を推定（池脇 投稿中）することとした。

【結果】

（1）藻類養殖場における生産力低下の原因解明

(藻類養殖漁場栄養塩調査)

2025 年 10 月中旬から 2026 年 2 月下旬までの DIN 濃度と塩分の調査結果についてコンター図で示した (図 6)。また、図 7 に区域別の *C. wailesii* 及び *E. zodiacus* の出現状況を示した。

DIN 濃度は、10 月下旬から 11 月下旬に多くの地点で、ワカメが色落ちする危険のある $2\mu\text{M/L}$ 未満に低下した後 12 月は $3\sim 4\mu\text{M/L}$ に回復した。とくに 12 月中下旬には、吉野川河口周辺で $8\sim 10\mu\text{M/L}$ になった地点も見られた。一方 1 月上旬以降次第に DIN 濃度は低下し、1 月下旬以降は $1\mu\text{M/L}$ 未満になる地点もみられた (図 6)。塩分は、11 月および 12 月に吉野川や那賀川河口近くで一時的な低下が見られたが、調査期間を通じて高めで推移した (図 6)。河口域周辺の局所的な塩分の低下は、河川水や降雨の影響と考えられた。また、色落ち原因プランクトンである *C. wailesii* は 10 月下旬から 11 月下旬にかけて最大で 2,500 細胞/L 以上まで増加したが、*E. zodiacus* は 1 月中旬以降増加したものの最大でも約 30 細胞/ml と大量発生には至らなかった (図 7)。

色落ち原因プランクトンの動態から、10 月下旬～11 月下旬の DIN 濃度の低下原因は *C. wailesii* の大量発生が原因であると考えられたが、1 月以降 *E. zodiacus* の密度がさほど高くなかったにもかかわらず DIN 濃度が低下した原因は、徳島市のアメダスによる観測値をみると 2025 年 11 月以降 2026 年 2 月中旬までまとまった量の雨が降らず、とくに 2026 年 1 月から 2026 年 2 月中旬までは合計で 11mm しか降雨がなかったことによる影響が考えられた (図 8)。また、12 月に見られた DIN 濃度の回復は塩分濃度の低下を伴っていないことから、底層水がワカメ養殖漁場に流入した可能性が考えられた。

養殖ワカメの藻体中部の SPAD 値は、DIN が極端に低下しなかった播磨灘の栗田ではおよそ 9 前後とわずかに色落ち (團ら 2004) している程度であったが、2026 年 1 月中旬以降低下した状態が続いた紀伊南の今津では 2 月下旬には平均で 5.8 と色落ち状態となった (図 9)。

(徳島県沿岸の DIN 濃度の変動傾向)

1988 年 10 月に開始された藻類養殖漁場栄養塩調査の観測結果のうち、播磨灘、紀伊北、紀伊南、吉野川の各区域の DIN 濃度と塩分濃度のデータを用いて、これらの変動傾向や両者関係について分析した。なお、本調査は 2006 年漁期までは隔週で行った。図 10 に各区域の DIN 濃度の漁期平均値 (漁期は、徳島県沿岸で主に藻類養殖が行われる 10 月から翌年 3 月までの期間を指し、例えば 2000 年 10 月から翌年 3 月までの期間は“2000 年漁期”とした。) の経年変化を示した。DIN 濃度は吉野川が最も高い傾向がみられ、また、播磨灘、紀伊北、紀伊南の 3 つの海域の中では、紀伊北が高かった (図 10)。すべての区域で経時的に減少傾向がみられ、3 つの海域の中では 1900 年代の紀伊北の減少傾向が著しく、2005 年漁期以降は、各海域の間にほとんど差は見られなくなった (図 10)。また、塩分は、播磨灘は最小値が 28.7 とほとんど下がらなかったのに対して、そのほかの 3 つの区域では、塩分が低下することがあり、塩分と DIN 濃度に負の相関関係がみられた (図 11)。この両者の相関関係は吉野川が最も明瞭 ($r=0.81$) だったが、紀伊南はやや弱く ($r=0.50$)、紀伊南の DIN 濃度の変動には、河川水以外の影響も大きい可能性が示唆された。

(2) 栄養塩供給手法の開発

(溶出試験)

従来型のプラバッグ (容積 2.5L, 2 口) と新しく改良したスリムタイプと四角タイプの溶出特性を調べたところ、従来型よりも改良型の方がやや成分残存率の低下が早い傾向がみられ、また、異なる水温帯で試験をおこなったところ、水温が低いほうが溶出しにくくなる傾向が見られた (図 12)

（野外試験）

愛媛県西条市地先のクロノリ養殖漁場で実施した施肥試験のクロノリサンプルの $\delta^{15}\text{N}$ を分析したところ、施肥試験前は9.49‰であったのが、施肥開始後17日目のサンプルでは、施肥具の近くで6.02‰、施肥具設置場所から離れた対照区で7.51‰と、 $\delta^{15}\text{N}$ の低下が見られた（表1）。液肥の $\delta^{15}\text{N}$ は、-2.64‰であったことから、施肥によりクロノリが施肥具から溶出した窒素成分を吸収したと考えられた。施肥近くのサンプルよりは値が高かったものの、対照区でも施肥開始前より $\delta^{15}\text{N}$ が低下したことについては、海域の $\delta^{15}\text{N}$ が変化した可能性と、潮流により対照区にも施肥具からの溶出成分が届いた可能性が考えられるが特定はできなかった。

徳島県阿南市地先のワカメ養殖漁場での施肥試験は、3月6日に開始した。

【参考文献】

牧野賢治，住友寿明，中西達也，加藤慎治，平野匠，上田幸男．養殖ワカメの色落ちのメカニズムと対策．海洋と生物，218，254-260，2015．

團昭紀，加藤慎治，萩平将．養殖ワカメの色落ち対策試験 色落ち指標としてのSPAD値の利用．平成14年度徳島県水産研究課事業報告書，91-93，2004．

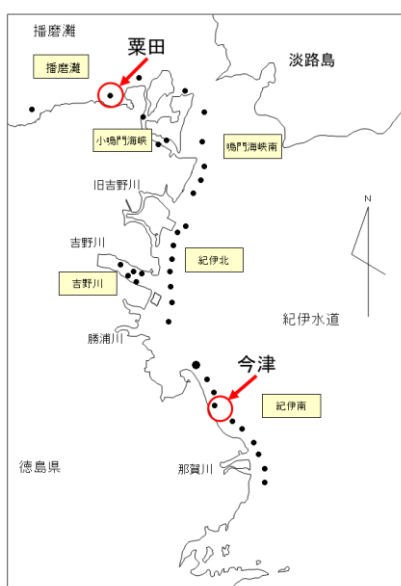


図1 栄養塩等を観測した調査地点(黒丸)とワカメのSPAD値を測定した漁場の位置(赤の白抜き丸)

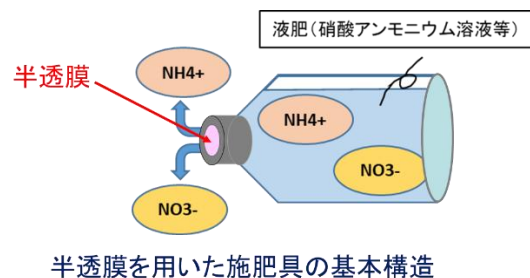
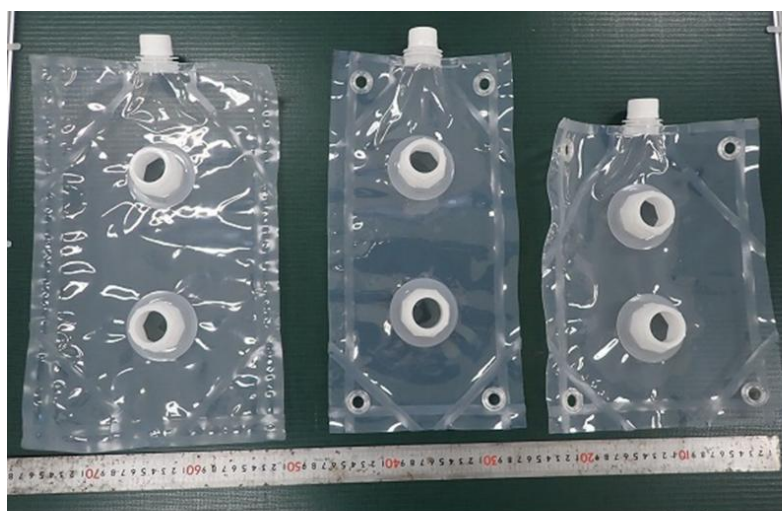


図2 半透膜を用いた施肥具の概念図



【従来型(2口)】	【スリムタイプ(2口)】	【四角タイプ(2口)】
容積: 約2.5L	容積: 約2.0L	容積: 約2.0L
(250×400mm)	(170×400mm)	(210×350mm)
溶出口: 直径30mm	溶出口: 直径30mm	溶出口: 直径30mm

図3 従来型施肥具(2口タイプ)と改良型施肥具(スリムタイプと四角タイプ)の外形

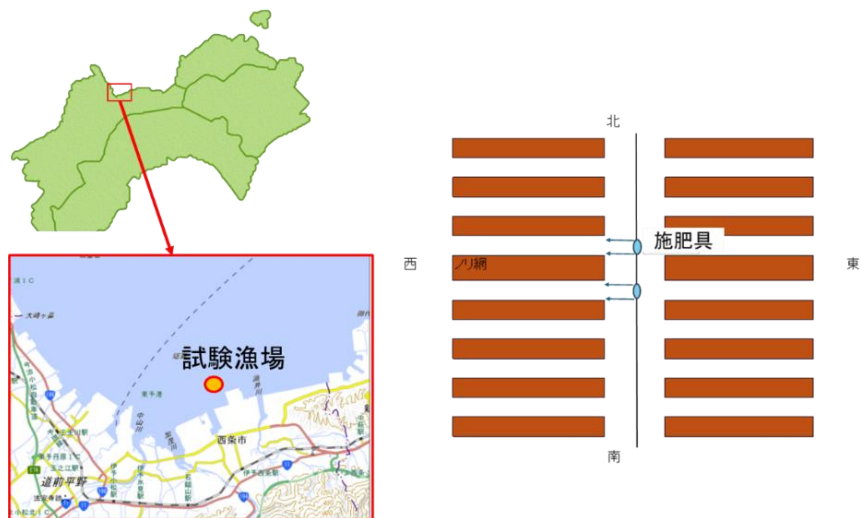


図4 愛媛県西条市地先のクロノリ養殖漁場で実施した施肥試験の実施場所(左図)と、施肥具の設置方法

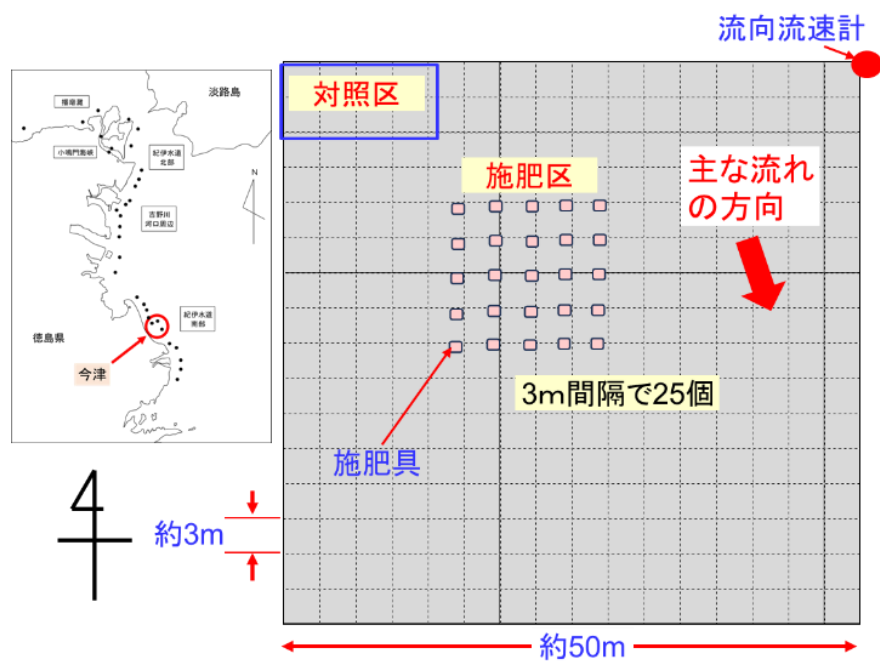


図5 ワカメ養殖漁場で実施した施肥試験の漁場の位置(左図)と施肥具の設置箇所(右図)

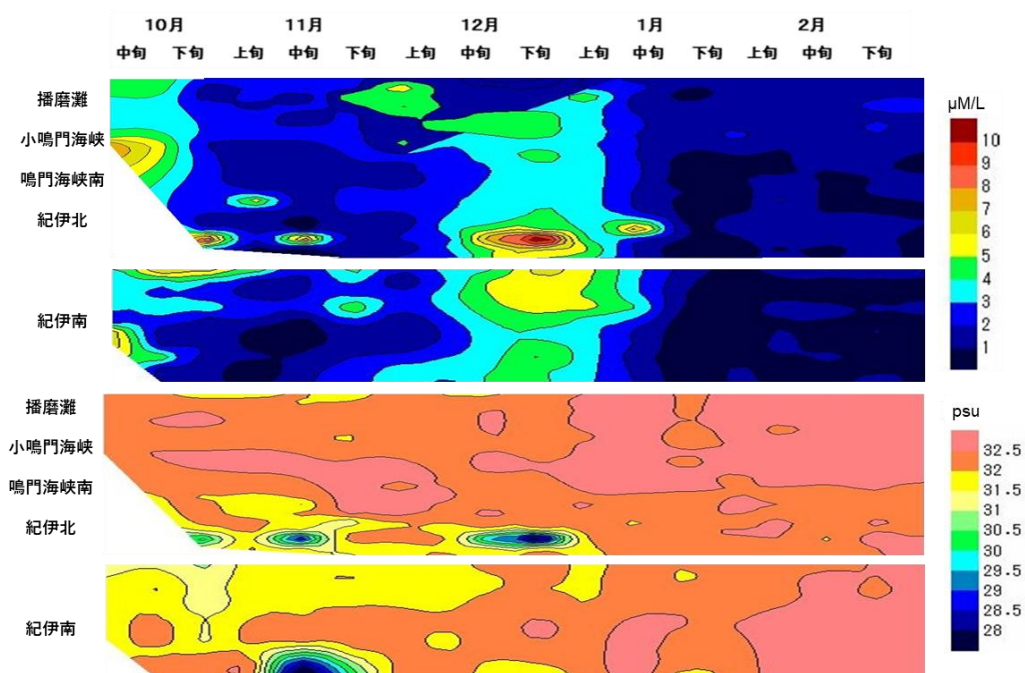


図6 藻類養殖漁場栄養塩調査における DIN 濃度と塩分のコンタ図
上図: DIN 濃度, 下図: 塩分

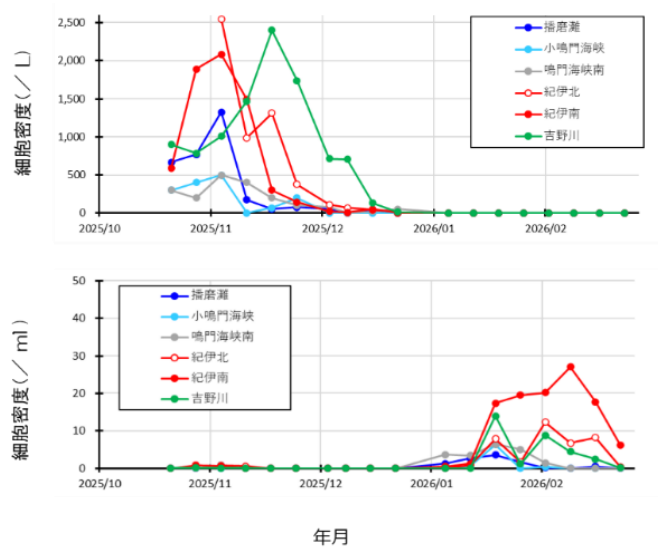


図7 *Coscinodiscus wailesii*(上図)および *Eucampia zodiacus*(下図)の細胞密度の変化

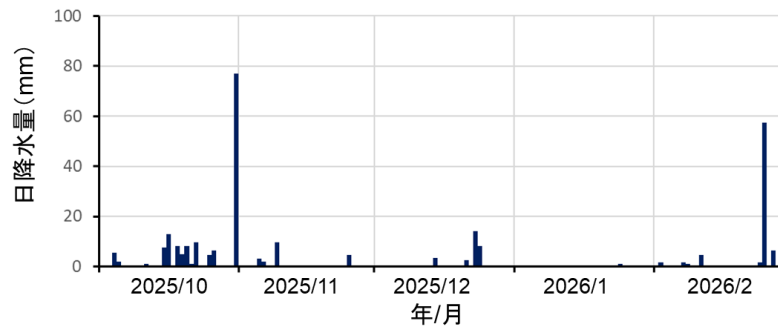


図8 アメダス観測地点(徳島市)で観測された日降水量(2025 年 10 月～2026 年 2 月)

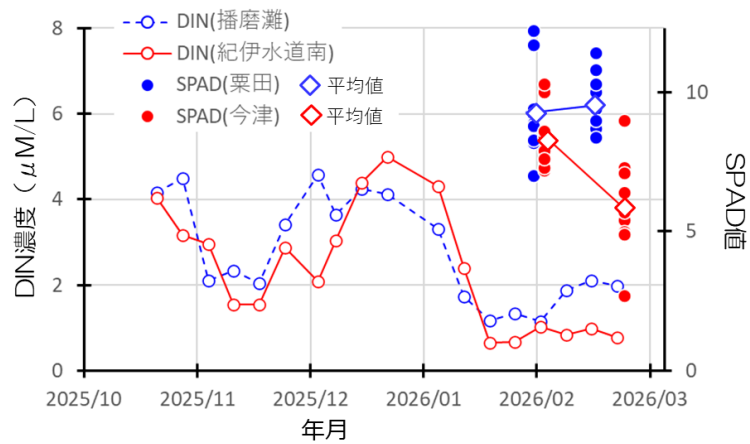


図9 播磨灘および紀伊南における平均 DIN 濃度の変化と
養殖ワカメの藻体中部の SPAD 値(鳴門市粟田地区および阿南市今津地区)

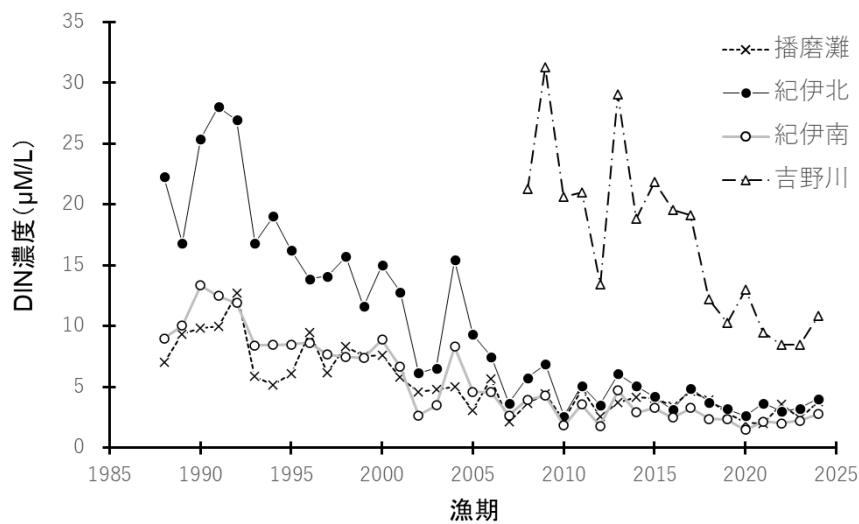


図 10 各区域の DIN 濃度の漁期平均値の経年変化

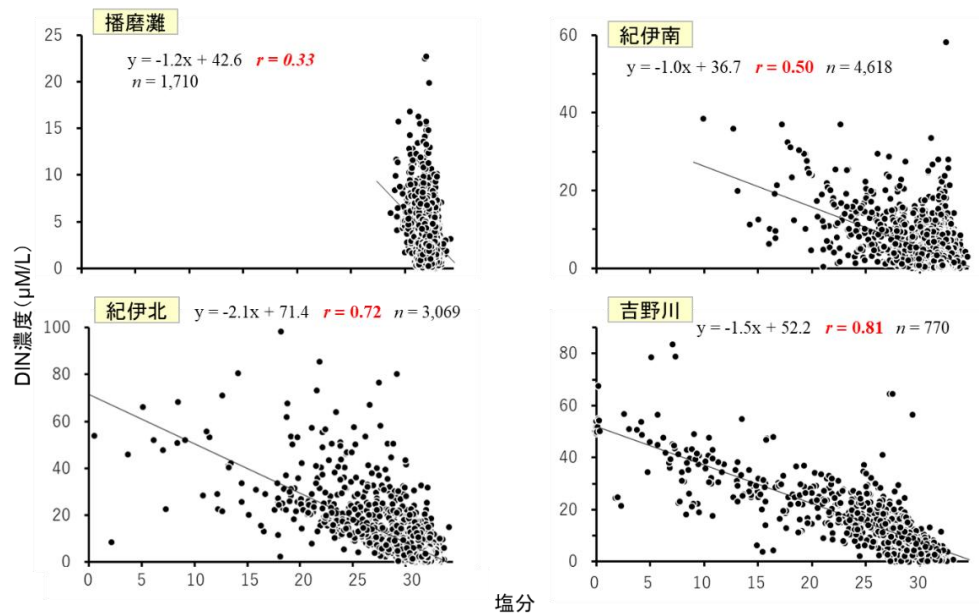


図 11 各区域の塩分と DIN 濃度の関係

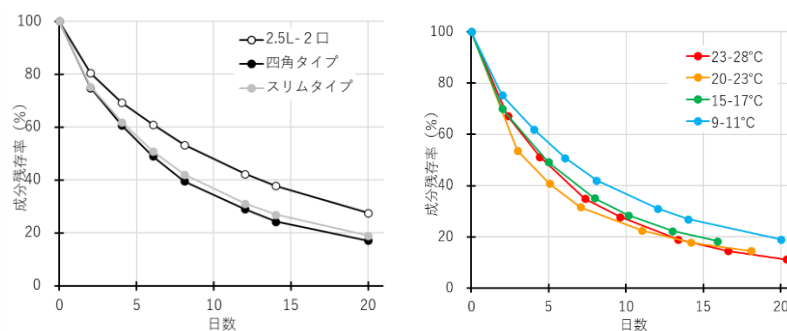


図 12 溶出試験結果. 左図: 各タイプの施肥具の成分残存率の変化(水温 9~11°C)
右図: 各水温条件における成分残存率の変化(スリムタイプ)

表 1 施肥試験漁場におけるクロロリサンプルおよび液肥の窒素安定同位体比

採取日	条件	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$
2026/1/19	施肥前	9.49
2026/2/2	施肥後17日(対照区)	7.51
2026/2/2	施肥後17日(施肥具近く)	6.02
—	液肥	-2.64

令和7年度豊かな漁場環境推進事業のうち
海域特性に応じた赤潮・貧酸素水塊、栄養塩類対策推進事業
「(2) 栄養塩類不足による漁業被害への対策技術の開発・実証・高度化」報告書

発行	令和8年3月
発行者	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所 〒739-0452 広島県廿日市市丸石 2-17-5
編集責任者	阿保勝之、渡部諭史、黒木洋明