

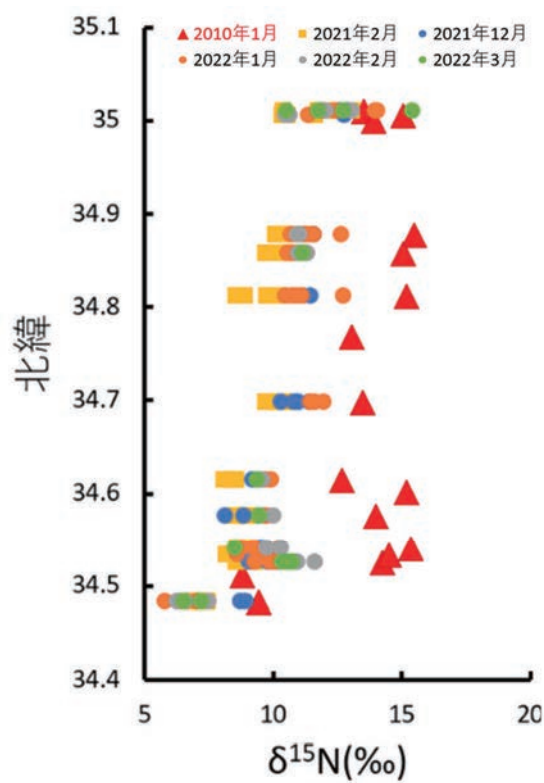


図 7

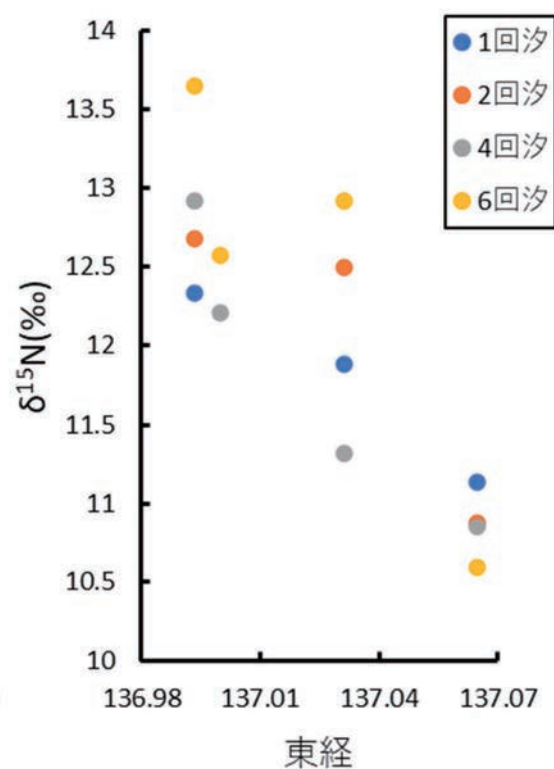


図 8

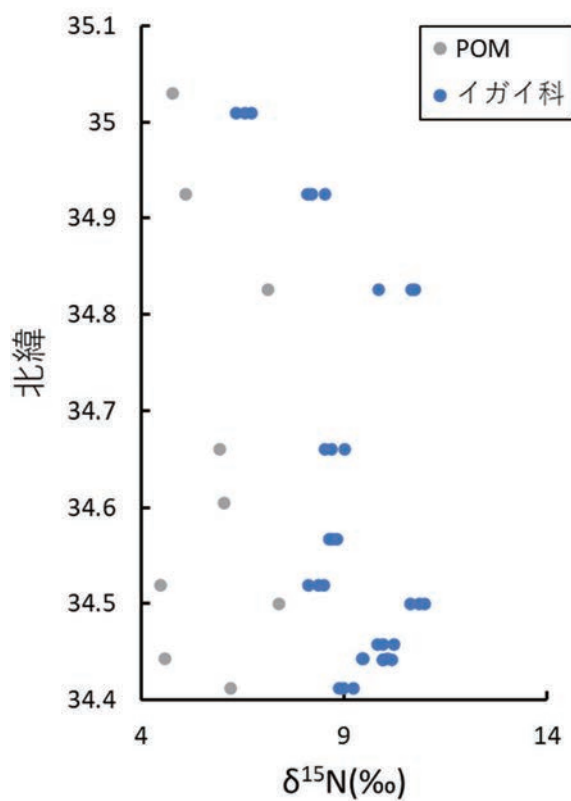


図 9

図 7 伊勢湾における養殖ノリの窒素安定同位体比

図 8 三河湾の矢作川河口における養殖ノリの窒素安定同位体比

図 9 伊勢湾における水中有機懸濁物およびイガイ類の窒素安定同位体比

課題番号：Ⅲ－３)

課題名：栄養塩管理方針の検討

一般社団法人 全国水産技術協会

シニア技術専門員 横山雅仁

技術専門員 畑 恭子

技術専門員 池田宗平

調査協力員 小山悠人

調査協力員 持田史佳

【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４年度は、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の構築を目指し、同海域においてノリ・アサリと栄養塩の関係を再現できる生態系モデルの検討を行う。

【方法】

(1) 検討委員会の開催

燧灘および備讃瀬戸海域の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８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、10月及び2月の計2回実施した。なお、検討委員会は本事業において別途実施されている瀬戸内海を対象とした検討に合わせて開催した。

<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）
- ・藤田弘一（三重県水産研究所 所長）
- ・山田久（国立研究開発法人水産研究教育機構 フェロー）

・山本昌幸（香川県水産課漁業調整室 室長補佐）

(2) 既往データの収集

モデルの構築に必要な環境データを収集・整理した。

(3) 伊勢・三河湾における栄養塩管理の現状

過去の関連事業である栄養塩管理運転の現状と効果に関する資料および文献を収集した。

(4) シミュレーションモデルの選定

実装可能なモデルの特徴を整理し、モデルの絞り込みを行った。

【結果】

(1) 検討委員会の開催

検討委員会は、次に示す通り開催し、委員より本課題における栄養塩の管理方針の検討にあたって留意すべき事項等について専門的な立場でのご意見を伺った。

1) 第1回検討委員会（令和4年10月3日開催）

2) 第2回検討委員会（令和5年2月15日開催）

第1回および第2回検討会における主な指摘事項は表1に示す通りである。栄養塩管理方針の検討に向けては、今後、以下の課題について引き続き検討が必要となる。

(2) 既往データの収集

モデル構築に向けたデータ収集の進捗を表2に示す。開境界について、図1の通り、沿岸定線水質調査から水温、塩分、栄養塩の時系列データを収集整理した。2017年以降、特に水深50mでの水温および塩分の増加傾向がみられた。このデータを開境界として今後はモデルの入力条件として設定する。陸源負荷量については、経年的な負荷量減少をモデルにて考慮するため、図2に示す通り、一級河川は水文水質データベースを使用し、年代別のLQ式を作成した。いずれの河川においても経年的に流量に対する負荷量が低下しており、特に出水時に湾へ流入する負荷の減少がみられた。内湾での水質データとして、公共用水域水質調査及び広域総合水質調査のデータをモデルの検証用データとして収集した（図3）。湾奥から湾中央にかけて、総量削減による栄養塩濃度の経年的な低下が確認できた。アサリ・ノリの漁獲量については、農林水産省の海面漁業生産統計調査からモデル検証用の時系列のデータとして図4の通り整理した。アサリは2014年以降に急減し、ノリについても2003～2020年の間に半減している。

(3) 伊勢・三河湾における栄養塩管理の現状

愛知県では、2002年より行われている窒素リンの総量規制によって伊勢・三河湾での流入負荷量は減少し、三河湾での全窒素・全リンの濃度は長期的に減少傾向となっている。特に冬期の濃度低下は、ノリ養殖期間（10月下旬～3月）における早期の色落ちの発生に伴う養殖期間の早期終了、アサリの肥満度低下による秋冬季減耗が漁獲量の急減の一因として指摘されている（服部ほか2021）。これを受け、三河湾では、矢作川浄化センター及び豊川浄化セ

ンターにおいて、2017 年度よりリン濃度増加放流に係る試験運転が実施され、その影響・効果について報告されている（蒲原ほか 2019, 2020, 2022）。

水質への影響について、図 5 の通り、矢作川浄化センターからの放流水の TP 濃度は管理運転期間前と比較して平均約 3.8 倍となり（a）、 $\text{PO}_4\text{-P}/\text{TP}$ でみても 82%と、運転前から 44%増加し、ノリや植物プランクトンが吸収しやすい $\text{PO}_4\text{-P}$ の供給量増加がみられる（b）。平面的な波及を見ると、 $\text{PO}_4\text{-P}$ および Chl-a について、放流口直近では濃度の増加がみられるものの、漁場まで波及している様子は見られていない（図 6 (a,b)）。アサリへの影響について、図 7 の通り、管理運転前（A）と比較して稚貝が個体数を維持して成長し（B）、生残率も向上する効果が認められている（図 8 (C,D)）。ノリへの影響について、図 9 に示す通り、管理運転期間（2018 年 10～3 月）においても、漁期後期（1 月後半）になると栄養塩が不足し、品質の良い乾海苔生産に必要な濃度水準を下回ることによって、黒み度、出荷回数に大きく影響している（図 10）。

（4）シミュレーションモデルの選定

本事業におけるモデルの選定に関して、比較検証した結果を表 3 に示す。伊勢湾三河湾では水産資源（ノリ、アサリ）をターゲットとしたモデルを構築する必要がある。また栄養塩添加に応答して、水質、底質、そして低次生態系まで詳細に考慮したモデルとする必要があると考えられる。このため、伊勢湾及び三河湾での栄養塩管理の検討には伊勢湾シミュレーター（田中ほか 2011, 田中・鈴木 (2010)）が現時点では有効であると考えられた。また、黒潮大蛇行の影響と栄養塩低下とは分けて考えるべきというご指摘を踏まえて、2012 年～2014 年あたりを再現年の候補として検討する。

なお、モデル構築に際して、本事業の小課題間において以下のデータについて情報共有して進める。

- ・伊勢湾・三河湾外の水温・塩分、栄養塩
- ・植物プランクトンの種別現存量（炭素重量）
- ・動物プランクトンの種別現存量（炭素重量）
- ・アサリの摂餌環境、現存量（炭素重量）など

【参考文献】

蒲原聡，高須雄二，湯口真実，美馬紀子，天野禎也，石田俊朗，宮脇大，鈴木智博．2017 年から 2018 年の三河湾における 2 ヶ所の広域流域下水道の冬季リン管理運転が湾奥部の水質に与えた影響．愛知県水産試験場研究報告，24，1-13，2019．

蒲原聡，高須雄二，湯口真実，美馬紀子，天野禎也．2018 年度ノリ漁期において伊勢・三河湾で生産された乾海苔の黒み度への漁場の栄養塩類の影響．愛知県水産試験場研究報告，25，1-8，2020．

蒲原聡，湯口真実，栗田貴代，鈴木輝明．三河湾豊川河口域におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* の発生から見た流域下水道の栄養塩供給効果．水環境学会誌，45(4)，181-191，2022．

国立環境研究所．平成 30 年度閉鎖性海域における気候変動による影響把握等検討業務報告書

環境省請負業務．2019

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．

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．港湾空港技術研究所報告，50(2)，3-68，2011．

服部宏勇，松村貴晴，長谷川拓也，鈴木智博，黒田拓男，和久光靖，田中健太郎，岩田靖宏，日比野学．愛知県内アサリ漁場における秋冬季のアサリ肥満度の変動と減耗．愛知県水産試験場研究報告，26，1-16，2021．

東博紀，佐藤嘉展，吉成浩志，牧秀明，越川海，金谷弦，内山雄介．瀬戸内海における中小河川からの淡水流入量と流動シミュレーションの再現性への影響．土木学会論文集 B28(海岸工学)，74(2)，I_1135-I_1140，2018．

東博紀，秋山千亜紀，中田聡史，吉成浩志．瀬戸内海流域圏の汚濁負荷流出モデルの構築と2006~2015 年における全窒素流出の変動傾向．土木学会論文集 B1(水工学)，75(2)，I_421-I_426，2019．

Mukta SAPKOTA，浜口俊雄，小尻利治．Numerical Analysis of Flooding Impacts Using Hydro-BEAM in Red River Basin, Vietnam．京都大学防災研究所年報，54，B. 683-689，2011．

永尾謙太郎，畑恭子，芳川忍，細田昌広，藤原建紀．水質改善対策の評価を目的とした浮遊系-底生系結合生態系モデルの開発と適用．海岸工学論文集，55，1191-1195，2008．

長谷川一幸，清野通康，横田瑞郎，秋元泰，丸茂恵右，市川哲也，長谷川晃一．現地観測と数値シミュレーション解析による大阪湾奥部における DO 分布特性の把握．海洋調査技術，21(1)，1-12，2009．

表 1(1) おもな指摘事項

第 1 回検討委員会	
鈴木委員	愛知では，緊急なのはノリ・アサリであり，考え方としては，アサリを当面の対象とする。すでに論文化されているし，海外での例もある。アサリである程度必要な栄養塩濃度が提示されれば，ほかの種にも効果があるように思う。 愛知県側の厳しい設定での管理運転。今後は上限値が 2 倍になる
中村委員	表層の Chl-a は減っているが，下層では大型の貝類は取れてる。浅場が困っている印象。外海でリンが 20%低下している。落ちている以上はもっと岸側から出す必要がある。
松田座長	伊勢湾(三重県側)の浅場減少を評価できることが望ましい。 (今までに失われていったものがどんな効果を持っていたのか)
藤田委員	外海の状況が過去とは違う。今回の大蛇行は 2022 年に入ってから，観測史上最高の水温，塩分などが発生。同じ大蛇行でも過去の元は全く違うもの。外海が貧栄養になり，外海からの栄養塩供給が減少している。それを加味したうえで管理運転等の供給を検討する必要がある。

表 1(2) おもな指摘事項

第 1 回検討委員会	
山田委員	DO と TN/TP の相関はないとのことだが、アウトプットとして、DO は出した方がいい。心配する人もいる。
鈴木委員	この 5 年の目標は、漁獲を担保するための背策を立てる。大蛇行に関する対策と、管理運転の話は次元が違う。外海は別の研究テーマとして扱うべき。
反田委員	兵庫県の栄養塩管理計画では下水処理場だけでなく一般事業所にまで範囲を広げている。また、一部の事業所に関しては総量削減の範囲から外して、栄養塩管理の協力者として栄養塩管理計画に名を連ねている。
松田座長	兵庫県の取り組みは、今後日本全国へ広がっていくと考えられる。
鈴木委員	製鉄所の負荷量などは愛知県でも大きい。製鉄所側は、すぐにでもできるが、総量削減計画の改定をしてもらわないとできない。主要な事業所の負荷を増えた場合の計算は有効。
松田座長	すでに三重側では総量削減の緩和に向いているので、先をみた検討は有効。
第 2 回検討委員会	
鈴木委員	黒潮はあくまでもイベント（振動）で、長期トレンドである栄養塩の低下とは切り離して考える必要がある。 三河湾東側での栄養塩も低下している。整理の仕方等を変えて確認が必要。
反田委員	データがあれば、地点ごとの肥満度の時系列等を参照されたい。
鈴木委員	事業の出口をどうとらえていくのか。資源が回復する栄養塩濃度を把握する等。
反田委員	将来的な制度の変更に対する科学的根拠となることが望ましい。

表 2 収集データの概要（●：入手・整理済 ○：入手済・未整理 △：入手中）

項目	提供元（調査名等）	収集状況
外洋からの負荷量	水産試験場（沿岸定線水質調査）	●
河川データ（一級河川）	国土交通省（水文水質データベース）	○
河川データ（その他河川）	環境省（汚濁負荷量）	○
工場からの排水	環境省（汚濁負荷量）	△
下水処理場からの流入	各県・各市	○
湾内水質	環境省（公共用水域/広域総合水質調査）	●
アサリ漁獲量	農林水産省（海面漁業生産統計調査）	●
アサリ資源量	各県水産関係	△

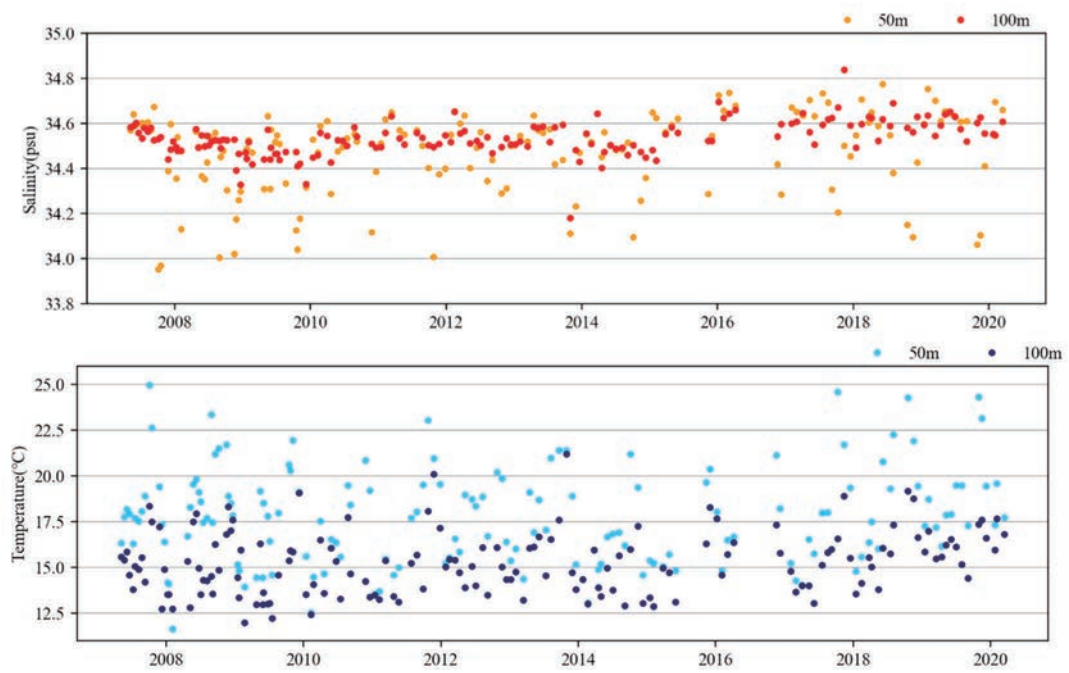
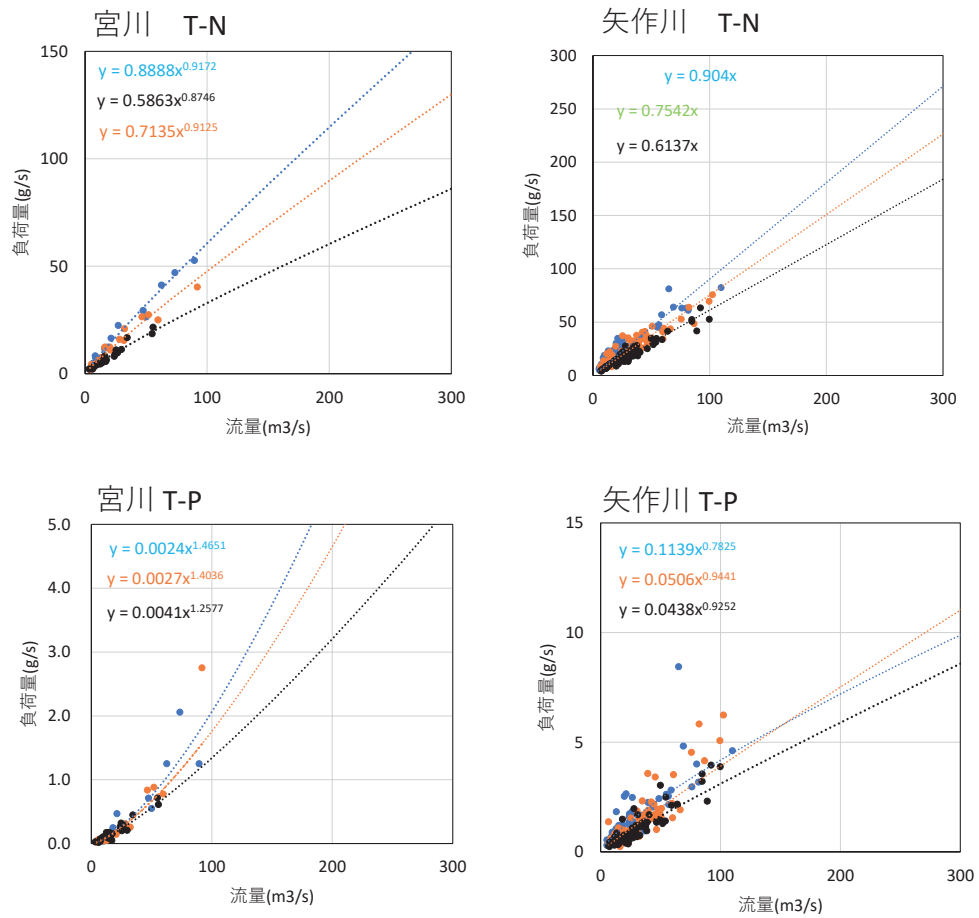


図 1 外洋での水温・塩分（沿岸定線水質調）

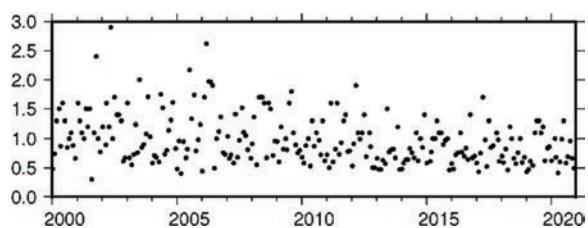


河川	流量観測所	水質観測所
矢作川	米津	米津大橋
宮川	岩出	岩出

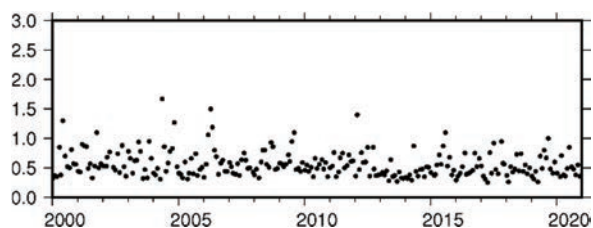
- 2002-2006年
- 2007-2012年
- 2013-2018年

図 2 陸源負荷量の変化（例として宮川および矢作川）

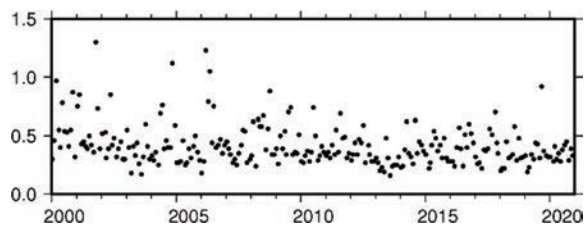
K-2



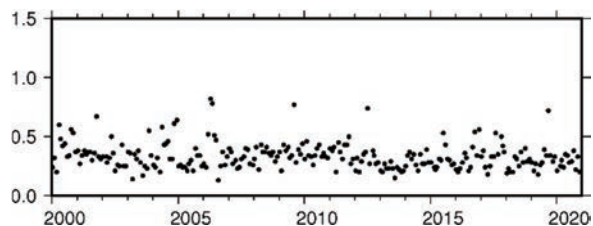
K-3



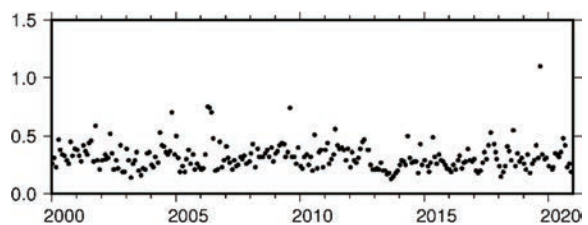
K-4



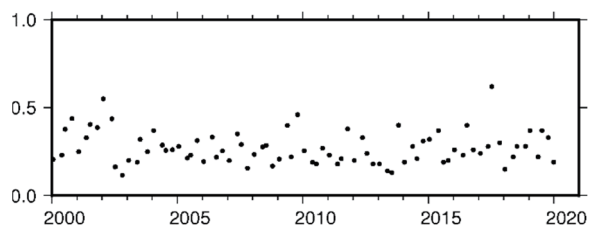
K-5



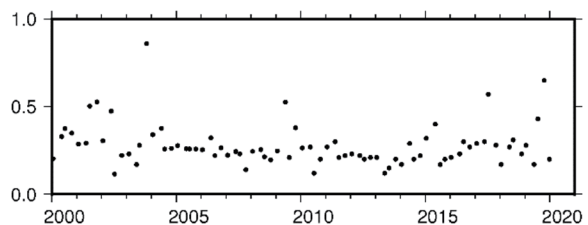
K-6



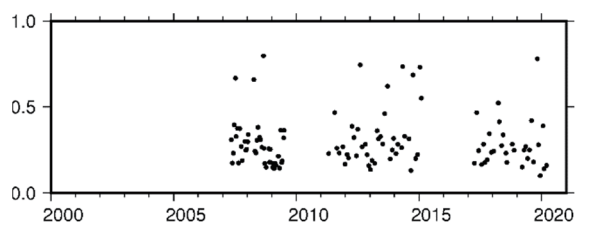
31



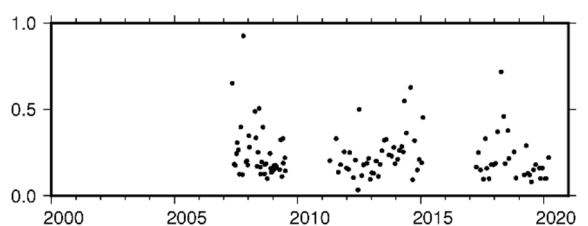
43



A1



A10



K-2,K-4,K-6:公共用水域水質調査(●)

31,43:広域総合水質調査(●)

A1,A10:沿岸定線水質調査(●)

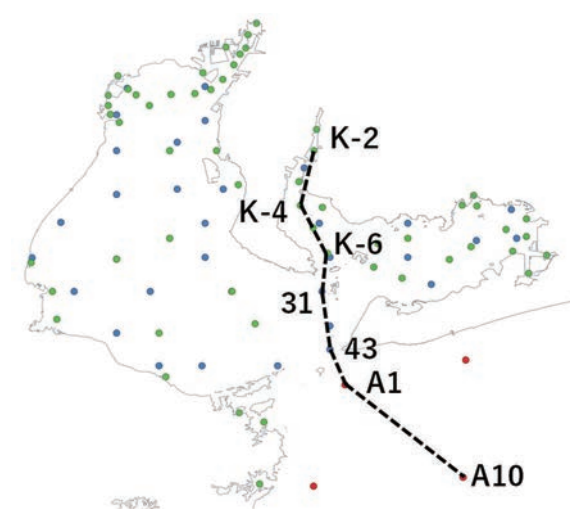


図 3 外洋・陸域から内湾への負荷量の影響（例として湾外－衣浦湾の TN (mg/L)）

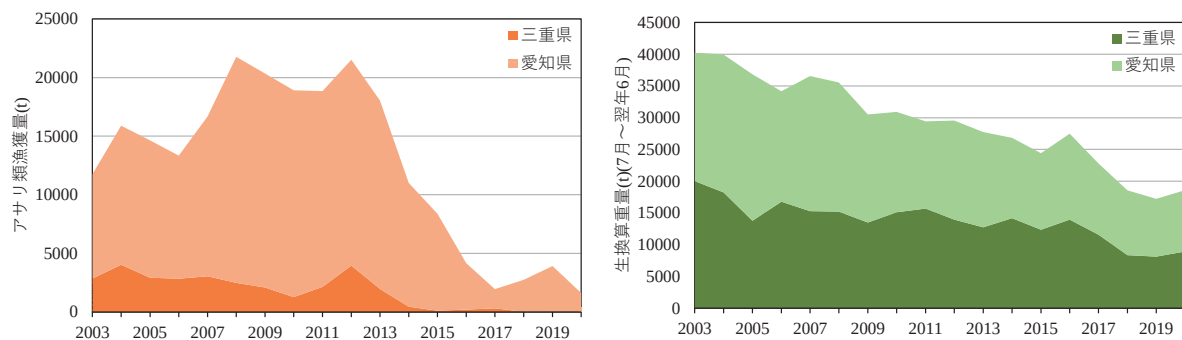


図 4 アサリ及びビノリの漁獲・生産量

(a) 浄化センター放流水の平均 TP 濃度 (b) 浄化センターの放流水の $\text{PO}_4\text{-P}/\text{TP}$

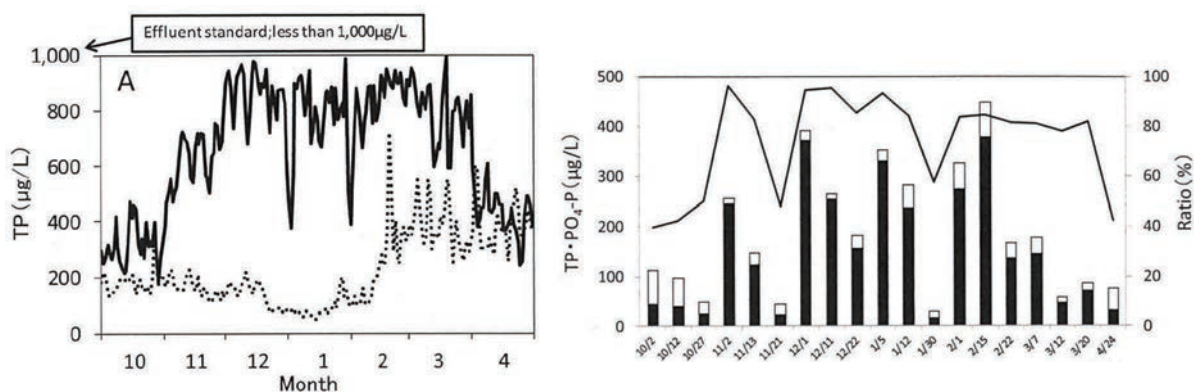


図 5 管理運転期間の放流水の水質（例として矢作川浄化センター）（蒲原ら 2019）

(a) $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g/L}$)の平面分布

(b) Chl-a($\mu\text{g/L}$)の平面分布



図 6 管理運転の水質への影響（例として矢作川浄化センター）（蒲原ら 2019）

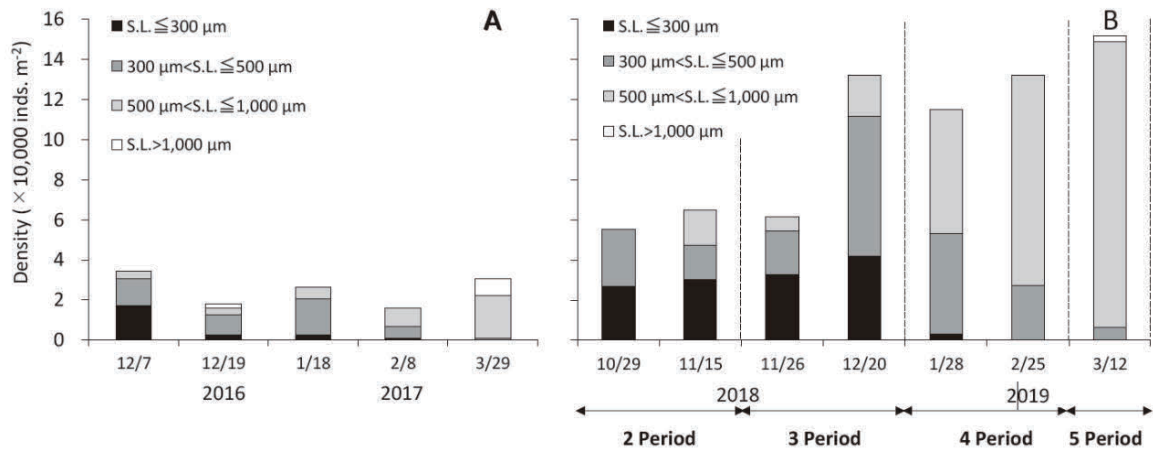


図 7 管理運転前後におけるアサリへの殻長別現存量の比較（蒲原ら 2020）

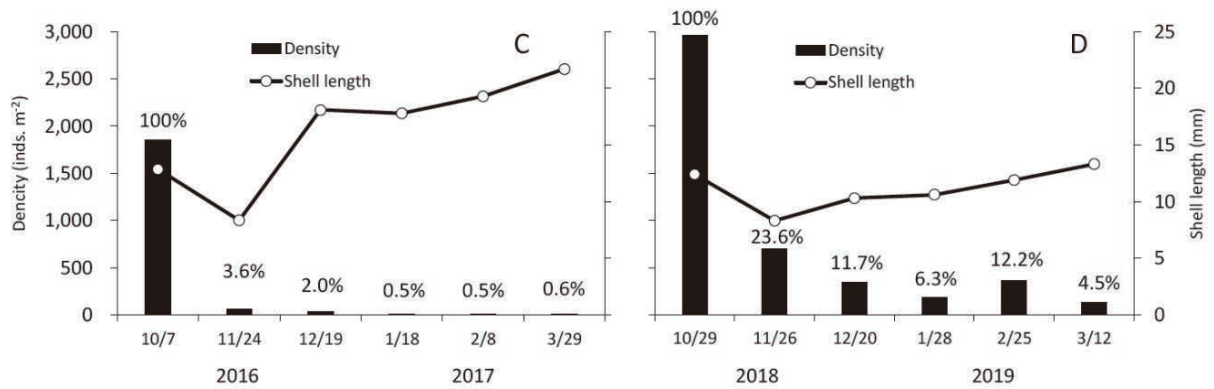


図 8 管理運転前後におけるのアサリ稚貝の生残率の比較（蒲原ら 2020）

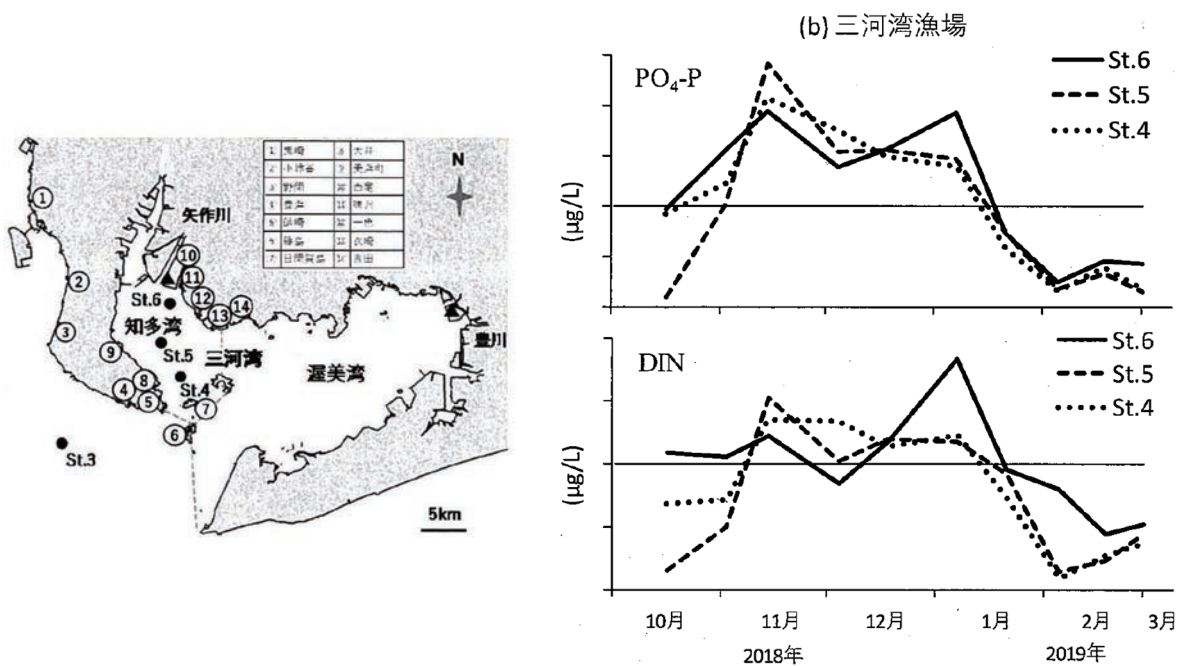


図 9 管理運転期間のノリ漁場での栄養塩濃度（例として三河湾漁場）（蒲原ら 2022）

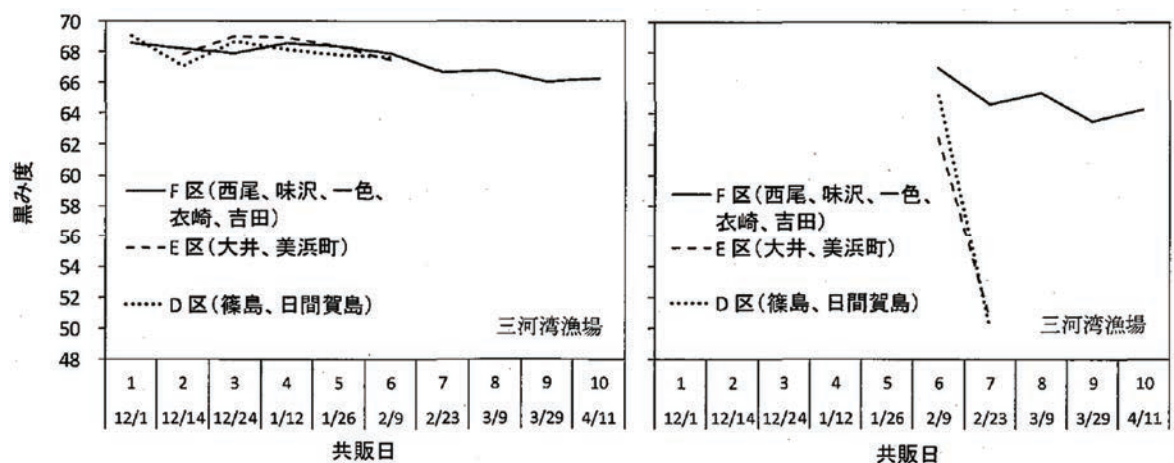


図 10 漁場別のノリの黒み度の変化（例として三河湾漁場）（蒲原ら 2022）

表 3 モデルの選定

計算項目		伊勢湾シミュレーター	第8次総量削減モデル	第9次総量削減モデル
陸源負荷		観測値より境界条件として設定(モデルなし)		河川流量と点源/面源の負荷より計算(モデルあり)
流動モデル		非静水圧モデル (水塊挙動の再現性：高)	静水圧近似モデル (水塊の挙動の再現性：課題あり)	
モデル間の連結		↑連動計算	↓条件として入力	↑連動計算
水質 モデル	金属類	水・底質で考慮	底質のみ考慮	還元物質として一括で考慮
	セルクオータ※	考慮している	考慮していない	考慮していない (食物連鎖をモデル化していない)
	魚類		考慮していない	
	二枚貝・多毛類		考慮している	
	動物プラ		考慮している	
	海草類		考慮している	
底質 モデル	メイオベントス	考慮している	考慮していない	考慮していない (食物連鎖をモデル化していない)
	底生微細藻類		考慮している	
	堆積物/懸濁物食者		考慮している	

※植物プランクトンが細胞内蓄積している栄養素。植物プランクトンによる栄養塩の摂取に影響。

令和4年度漁場環境改善推進事業のうち
栄養塩、赤潮・貧酸素水塊に対する被害軽減技術等の開発
「(1) 栄養塩の水産資源に及ぼす影響の調査」報告書

発行	令和5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