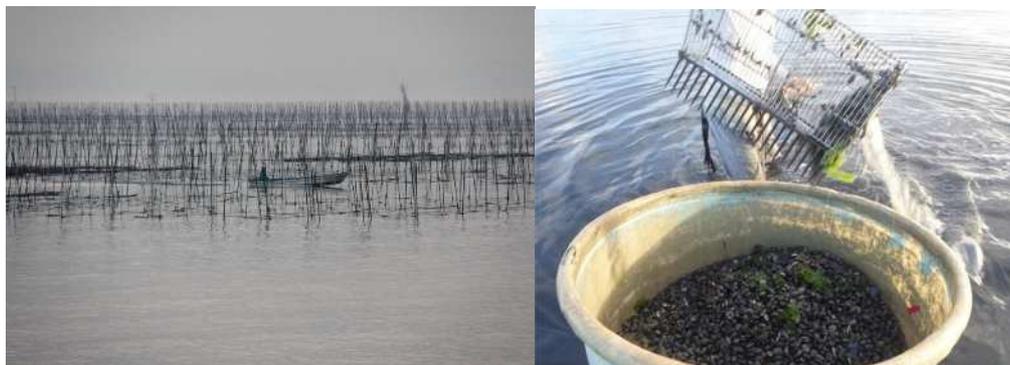




愛知県栄養塩管理検討会議報告書

「漁業生産に必要な望ましい栄養塩管理のあり方」



2025年2月

目次

第1 はじめに

- 1 趣旨
- 2 愛知県栄養塩管理検討会議
 - (1) 目的
 - (2) 概要
 - (3) 開催状況
- 3 伊勢湾・三河湾における海域の栄養塩類濃度等の変化とノリ・アサリへの影響
 - (1) 水質規制と海域の栄養塩類濃度の動向
 - (2) ノリ生産量の低下
 - (3) アサリ資源の減少

第2 愛知県における下水処理場（浄化センター）の栄養塩供給の取組

- 1 三河湾における栄養塩増加運転
 - 〈参考〉 愛知県の下水道普及率、矢作川及び豊川流域下水道と各浄化センター
- 2 水質の保全と「豊かな海」の両立に向けた社会実験
 - (1) 増加運転の実施状況
 - (2) 環境への影響
 - (3) 漁業への効果（周辺海域への全窒素・全リンの分布、ノリへの効果、アサリへの効果、数値シミュレーションによる効果把握）
 - 〈参考〉 数値シミュレーションの概要、漁業の状況
- 3 伊勢湾（愛知県）におけるリン濃度増加管理運転

第3 栄養塩管理の目標

- 1 漁業生産に必要な栄養塩濃度
 - (1) ノリ
 - (2) アサリ
 - (3) 伊勢湾・三河湾における漁業生産に必要な栄養塩濃度
- 2 伊勢湾・三河湾の栄養塩濃度分布とノリ・アサリ漁場
- 3 伊勢湾・三河湾の類型指定と見直し
- 4 伊勢湾・三河湾における栄養塩管理の目標の考え方
 - 〈参考〉 アサリ現存量の水準

第4 栄養塩管理方策の検討

- 1 下水処理場による栄養塩増加運転の拡大の有効性

—数値シミュレーションによる試行計算結果—

2 漁業生産に必要な栄養塩管理方策の方向性

- (1) 社会実験等の継続
- (2) 社会実験後の栄養塩増加について
- (3) 栄養塩増加運転の恒常的实施と枠組みづくり
- (4) 栄養塩を漁業生産につなげるための取組
- (5) その他の栄養塩増加の取組
- (6) モニタリング

〈参考〉 赤潮と貧酸素水塊について

第5 おわりに

第6 引用文献

〈巻末資料〉 愛知県栄養塩管理検討会議構成員名簿

第1 はじめに

1 趣旨

伊勢湾・三河湾においては、ノリの色落ちやアサリ漁獲量の減少が深刻な問題となっており、この要因の一つとして海域の栄養塩類濃度の不足（いわゆる貧栄養化）が指摘されている。栄養塩類の中でも、窒素・リンは、富栄養化の原因物質として削減が進められてきた一方、海藻類の成長やアサリの餌となる植物プランクトンの増殖にも重要な物質である。

このため、2017年4月に愛知県漁業協同組合連合会から愛知県知事あてに、①下水道の管理運転等の栄養塩類の適切な管理の検討に努めること、②総量削減制度による流入負荷削減施策を見直し、干潟・浅場の保全再生等、海域の再生対策を中心とすること、③窒素、リンの環境基準の見直しを行うこと、が要望された。これを受け、本県では県が管理する流域下水道のうち、処理水がノリ・アサリ漁場や本県アサリ漁業にとって重要なアサリ稚貝生息場の近傍に放流される矢作川浄化センターと豊川浄化センターにおいて、2017年度から2021年度までの秋冬期に、県の規制の範囲内（1 mg/L）でリン増加管理運転を実施した。さらに2022年度から2年間は、同浄化センターにおける放流水中の窒素とリンの濃度を国の規制値上限（従前の2倍の濃度）まで緩和し、濃度を増加させて放流し、水質への影響やノリ・アサリへの効果を調査する、「水質の保全と『豊かな海』の両立に向けた社会実験」を実施した。

2年間の社会実験の結果については、学識経験者、漁業関係者、関係行政機関を構成員とする「愛知県栄養塩管理検討会議」（以下「検討会議」とする。）において検証を行った。また、検討会議では社会実験の結果を踏まえ、今後の栄養塩管理の方向性ととともに、海域ごとの漁業生産に必要な栄養塩濃度の提案や管理方策など、漁業生産に必要な望ましい栄養塩管理のあり方について議論を行った。

本報告は、検討会議での議論等の最終的なとりまとめとして、伊勢湾・三河湾の水質の保全と「豊かな海」の実現に向けて、漁業生産に必要な望ましい栄養塩管理のあり方を整理したものである。なお、栄養塩の不足は様々な水産資源に影響を及ぼしているとの指摘があるが、検討会議では、対象の水産資源として、本県海域における重要水産資源であり、かつ科学的知見が集積されているノリ、アサリを中心に検討した。

※伊勢湾・三河湾の環境基準の水域類型や水質総量削減制度の見直し等については、別途、中央環境審議会や愛知県環境審議会等において審議されることを注記する。

2 愛知県栄養塩管理検討会議

(1) 目的

2022年度から2年間実施した「水質の保全と『豊かな海』の両立に向けた社会実験」の結果を検証し、その結果を踏まえた今後の栄養塩管理の方向性を検討するとともに、海域ごとの漁業生産に必要な栄養塩濃度の提案や管理方策など、漁業生産に必要な望ましい栄養塩管理のあり方を検討することを目的に検討会議を設置した。

(2) 概要

- 設置時期：2022年9月
 - 構成員（期別の構成員名簿は巻末に記載）
 - 委員 学識経験者（環境、水産関係）4名
 - 漁業関係者1名
 - 県（農業水産局、環境局、建設局）4名
 - 市町（豊橋市、西尾市、田原市、南知多町）4名
 - 特別委員 国関係機関（環境省、水産庁、国土交通省中部地方整備局）4名
（検討項目に関する助言又は協力を行う。）
- ※関係団体及び行政の構成員は、各構成団体の推薦を受け決定した。

(3) 開催状況

- 第1回愛知県栄養塩管理検討会議
開催日：2022年10月24日
主な議題：社会実験の実施方法及び検証方法について
- 第2回愛知県栄養塩管理検討会議
開催日：2023年6月26日
主な議題：2022年度水質の保全と「豊かな海」の両立に向けた社会実験の実施結果について
- 第3回愛知県栄養塩管理検討会議
開催日：2024年2月9日
主な議題：2023年度水質の保全と「豊かな海」の両立に向けた社会実験の中間報告と漁業生産に必要な栄養塩濃度について
- 第4回愛知県栄養塩管理検討会議
開催日：2024年6月27日
主な議題：水質の保全と「豊かな海」の両立に向けた社会実験の結果と望ましい栄養塩管理のあり方について
- 第5回愛知県栄養塩管理検討会議
開催日：2025年2月3日
主な議題：望ましい栄養塩管理のあり方について

3 伊勢湾・三河湾における海域の栄養塩類濃度等の変化とノリ・アサリへの影響

(1) 水質規制と海域の栄養塩類濃度の動向

我が国の海域には、かつての高度経済成長期に急速に進行した水質の悪化を背景として、環境基本法に基づき水域の利用目的に応じた環境基準が設定されている。特に、人口や産業が集中する伊勢湾（三河湾含む）を始めとした閉鎖性海域では、過剰な流入負荷による富栄養化で引き起こされるとされる赤潮や貧酸素水塊等の水質悪化を改善するため、水質汚濁防止法に基づく水質総量規制が適用され、陸域からの COD 流入負荷の削減に努められた。特に第 5 次総量規制からは、海域の内部生産を減らす目的で窒素とリンが指定項目に追加され、陸域流入負荷量の削減が実施されてきた。その結果として、三河湾を含む伊勢湾全体（愛知・岐阜・三重）の負荷量は 40 年間で窒素 44%、リン 67%が減少している（図 1-1）。伊勢湾、三河湾の海域別の全窒素（TN）、全リン（TP）の濃度は、近年は横ばい傾向を示す海域もあるが、長期的には低下傾向が見られる（図 1-2）。水質総量規制は着実に成果を上げてきたと言えるが、その一方で負荷量の削減が進んだことにより、近年では栄養塩類の低下による漁業生産への影響が指摘されるようになった。

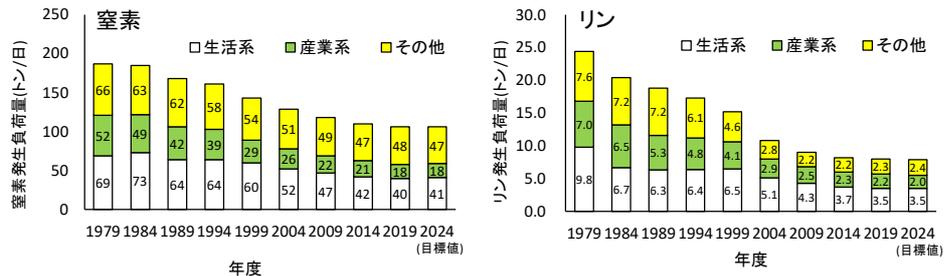


図 1-1 伊勢湾（三河湾を含む）への窒素・リン負荷量の推移
（環境省「発生負荷量管理等調査」）

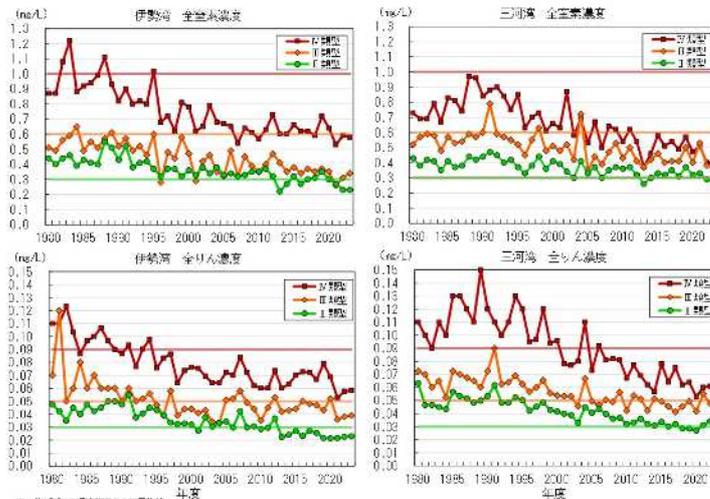


図 1-2 湾別の各類型海域における全窒素（TN）・全リン（TP）濃度の推移

伊勢湾、三河湾における全窒素（図1-3）、全リン（図1-4）及び植物プランクトン量の指標となるクロロフィルa濃度（図1-5）の年代別の水平分布では、環境基準の類型指定におけるⅡ類型の基準である全窒素0.3mg/L以下、全リン0.03mg/L以下の海域が近年拡大しており、それに伴って湾口から湾中央部にかけてクロロフィルa濃度が減少している。¹⁾

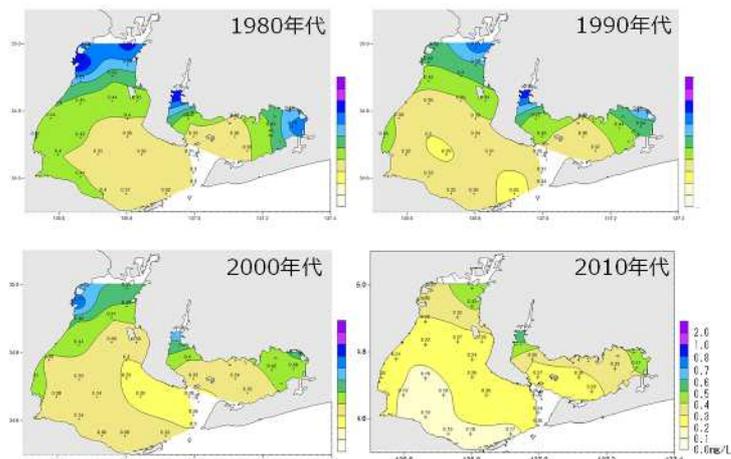


図1-3 全窒素（TN）濃度の年代別の水平分布¹⁾

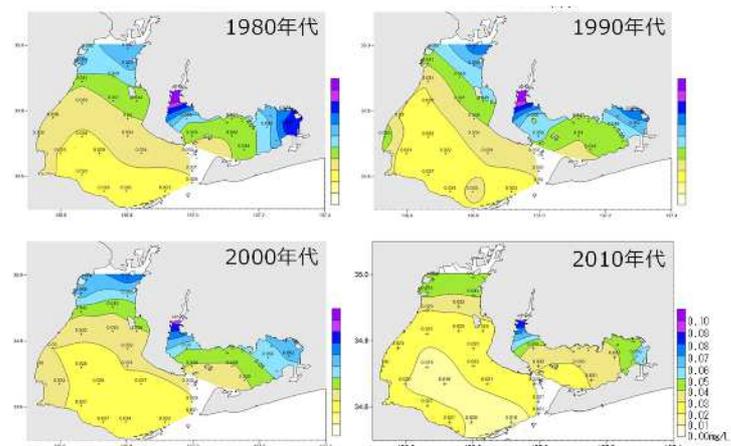


図1-4 全リン（TP）濃度の年代別の水平分布¹⁾

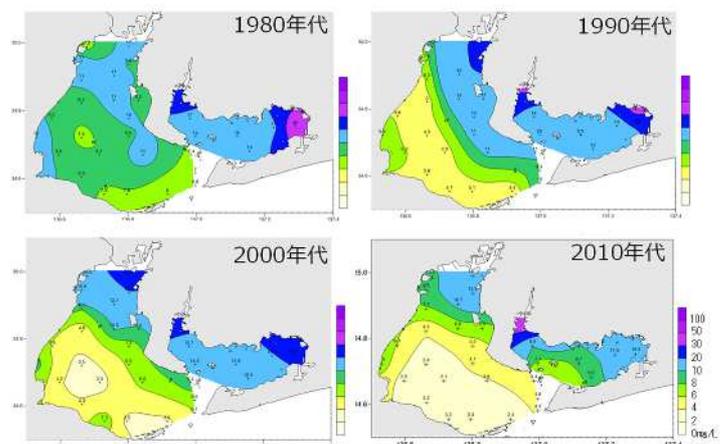
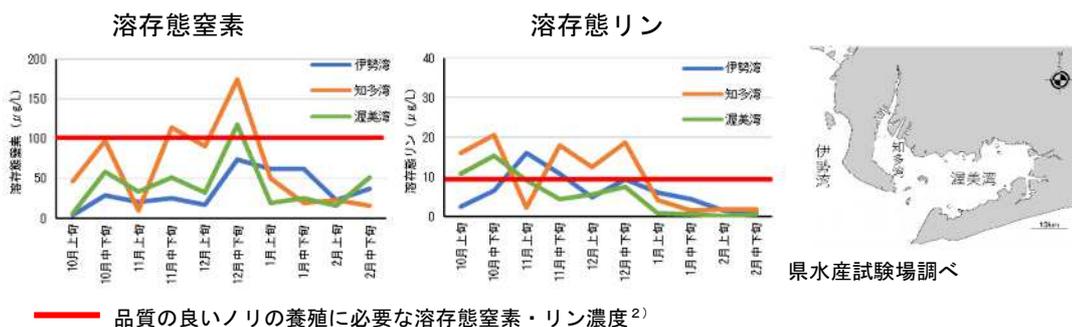


図1-5 クロロフィルa濃度の年代別の水平分布¹⁾

(2) ノリ生産量の低下

ノリは、秋に水温が 23℃以下になることを目安に、種付けした網を張り込んで育苗を開始し、11 月末から 3 月末まで収穫が行われる。しかし近年は、秋季の水温降下の遅延により生産開始が遅れている。また、ノリの育苗や成長に欠かせない栄養塩（溶存態の窒素、リン）濃度の経年的な低下により、品質の良いノリの養殖に必要な栄養塩濃度（溶存態窒素 100 $\mu\text{g/L}$ 、溶存態リン 10 $\mu\text{g/L}$ ）²⁾を下回ることが多く（図 1－6）、品質の低下やノリの色落ちが見られている。特にノリの色落ちが生産の早期終了につながり、毎年 10 回程度開催される共同販売における最終出荷回数は、1999～2002 年で平均 9.8 回であったが、近年では 8.3 回と最大 15%以上短縮している（図 1－7）。³⁾生産枚数や生産金額も減少傾向にあり、これらの状況は 2000 年代以降の経営体数減少の主要な要因と考えられる（図 1－8）。このように、水温降下の遅延によりノリの生産開始時期が遅れる現状にある中で、栄養塩の増加により、安定した育苗やノリの品質の向上を図るとともに、生産期間を継続させることがノリ養殖において重要であると言える。



— 品質の良いノリの養殖に必要な溶存態窒素・リン濃度²⁾

図 1－6 各湾の溶存態窒素・リン濃度の推移（2021 年度）

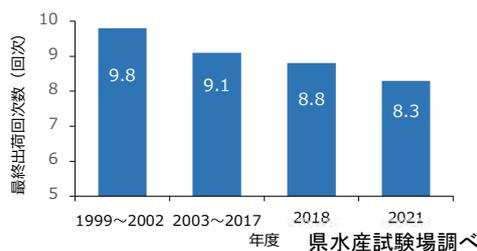


図 1－7 愛知県漁連海苔共同販売への最終出荷回（知多・西三河地区平均）

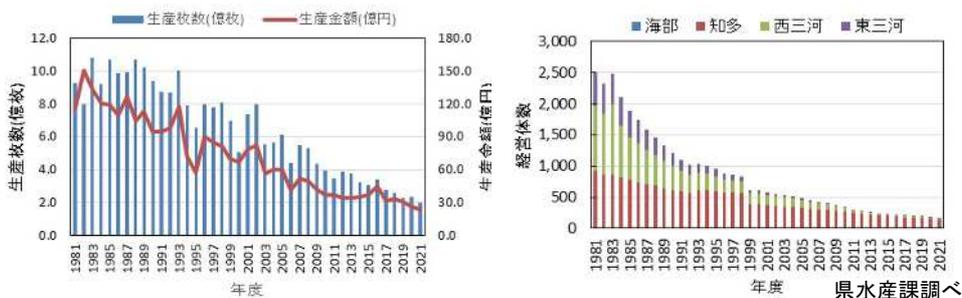


図 1－8 ノリ生産枚数（左）・経営体数（右）の推移

(3) アサリ資源の減少

愛知県におけるアサリ漁業は、伊勢湾・三河湾の沿岸部で盛んに行われ、年間の漁獲量は1万t前後と減少が著しい他海域に比べ安定して推移してきた。しかし、2014年以降に急減し2017年には1,635tと、直近のピークである2008年の19,278tのわずか8.5%となり、その後も漁獲量の低迷が続いている(図1-9)。また、資源の減少によるアサリ漁業者の減少や生産金額の落ち込みは、本県の水産業において大きな問題となっている。

アサリ資源の減少は他海域でも見られ、その減少要因は、乱獲、貧酸素水塊、食害等のほか、近年では豪雨等による短期出水や急速に発達する低気圧に伴う強い風波など気象に関するイベント等の関与が指摘されてきた。^{4, 5)} 一方、伊勢湾・三河湾では成長モデルや野外調査などの研究事例が蓄積され、秋冬期にアサリが大きく減少すること(秋冬期減耗)が明らかになっている(図1-10)。⁶⁾ この秋冬期減耗は、餌となる植物プランクトンの減少によって長期的な肥満度の低下が生じている中(図1-11)、⁶⁾ 特に秋から冬にかけて肥満度が低いため、秋の産卵によるエネルギー消費や回復不調、風波による攪乱等が影響して生じていると考えられている。^{7, 8)}

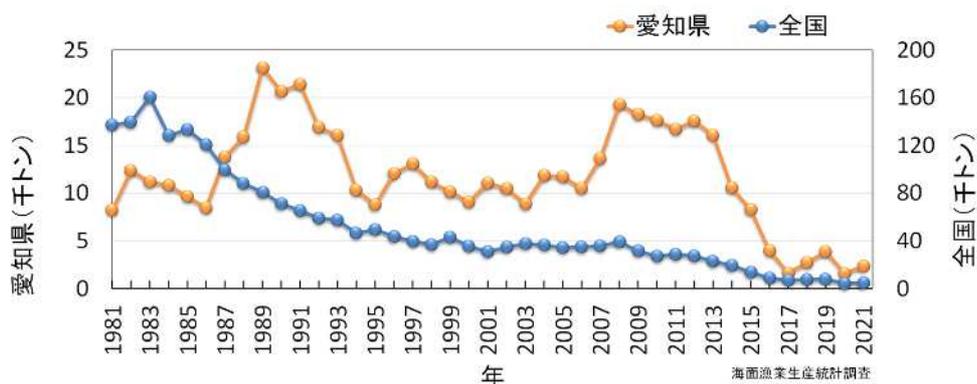


図1-9 愛知県のアサリ漁獲量の推移

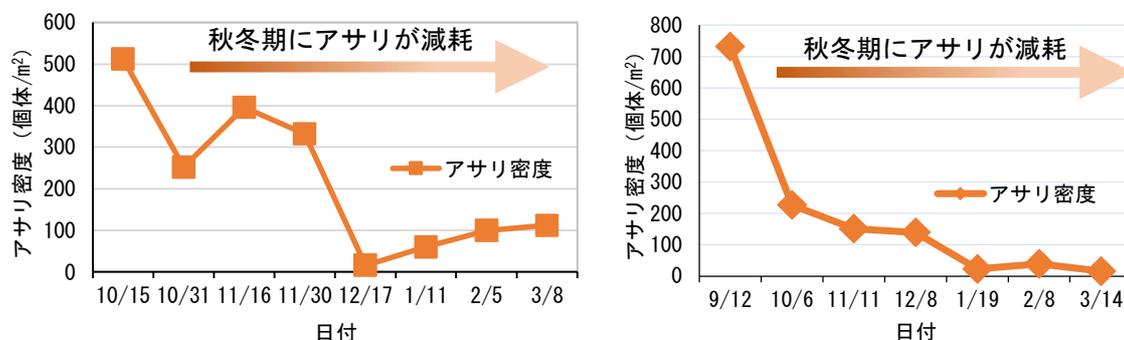


図1-10 移植したアサリ稚貝の密度変化(左:一色、右:小鈴谷、2018年)

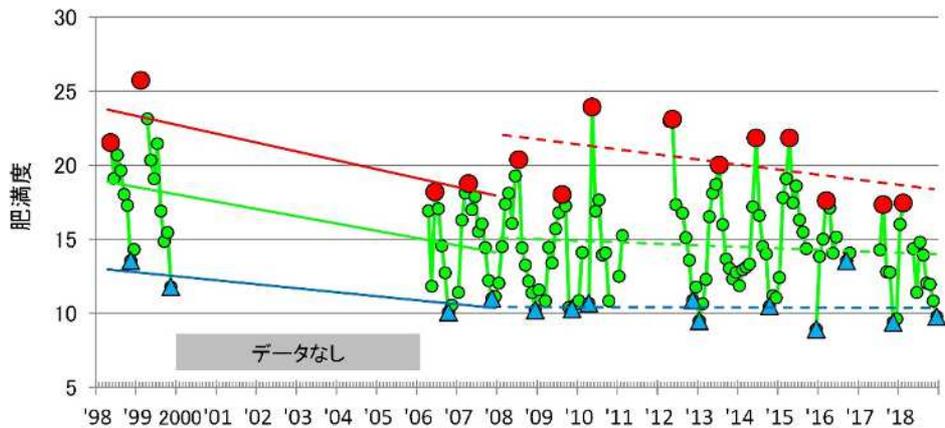


図 1-11 一色干潟漁場におけるアサリの肥満度の長期変動(●年最高値、▲年最低値)

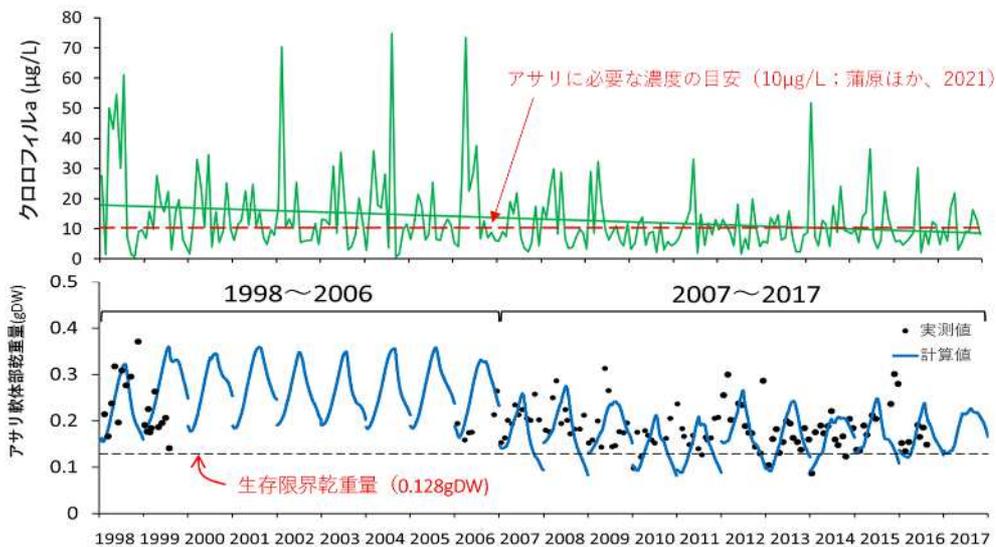


図 1-12 西三河地先海域におけるクロロフィル a 濃度と成長モデルから計算されたアサリ軟体部重量の経年変化

図 1-12 に西三河地先海域におけるクロロフィル a 濃度と成長モデルから計算されたアサリ軟体部重量の経年変化を示した。成長モデルは餌料環境や水温の変化に伴うアサリの成長や軟体部重量の変化を、数式で表現するモデルである。クロロフィル a 濃度は長期的に減少傾向にあり、アサリ軟体部重量も 2007 年頃から減少しており、この頃から餌不足によりアサリの状態に影響が生じ、生存限界重量を下回る期間が増大した結果、資源の減少につながった可能性が指摘されている。⁹⁾ この餌不足の状況は伊勢湾のアサリについても同様である。¹⁰⁾ また、近年の水温上昇によって生物の基礎代謝にかかるエネルギー消費量は増加することから、アサリが再生産や生残のための活力を維持するためには、これまで以上に餌が十分に供給されることが必要となり、¹¹⁾ 資源回復には餌不足の解消が重要であると考えられる。

第2 愛知県における下水処理場（浄化センター）の栄養塩供給の取組

本章では、愛知県における下水処理場（浄化センター）（図2-1）での栄養塩供給の取組を概説するとともに、特に、検討会議で検証された「水質の保全と『豊かな海』の両立に向けた社会実験」で得られた管理運転の状況やノリ・アサリへの効果を示す。社会実験の結果では、環境への悪影響は見られず、浄化センターからの栄養塩やクロロフィルaの漁場への波及により、ノリとアサリに効果が認められた。加えて、下水処理場において管理運転を効果的に進める上での課題を整理した。

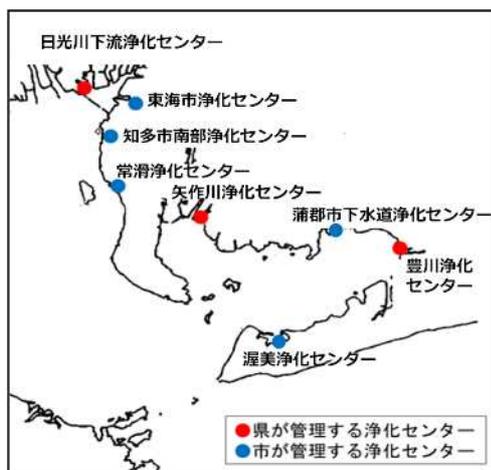


図2-1 栄養塩増加運転を実施している下水処理場（浄化センター）位置図

1 三河湾における栄養塩増加運転

2017年度から2021年度までの5年間、三河湾沿岸の矢作川及び豊川浄化センター（図2-1）において、県の総量規制基準の範囲内（リン：1mg/L以下）でリン濃度を増加するリン濃度増加試験運転を実施した。2017年度は11～3月に、2018、2019年度は10～3月、2020、2021年度は9～3月に試験運転を実施した。

また、蒲郡市の蒲郡市下水道浄化センター及び田原市の渥美浄化センターにおいても、県の総量規制基準の範囲内での栄養塩増加運転の取組が、2017年度以降に順次実施されている（ただし、蒲郡市は窒素、田原市はリンを対象）（図2-1）。

<参考>

○愛知県の下水道普及率

県内38市14町2村のうち、38市12町で下水道事業を実施しており、下水道普及率は81.5%（2023年度末）である。

○矢作川及び豊川流域下水道と各浄化センター

矢作川流域下水道は、岡崎市を始め4市1町（岡崎市、豊田市、安城市、西尾市、幸田町）を対象とした流域下水道として、昭和47年度に事業着手、平成4年4月に供用開始した。計画区域面積16,469ha（県内最大）、計画処理人口85.8万人、一日あたりの計画処理水量467,000m³である。なお当流域下水道における下水道普及率は82.4%（2023年度末）である。

豊川流域下水道は、豊川市を始め4市（豊橋市、豊川市、蒲郡市、新城市）を対象とした流域下水道として、昭和47年に事業着手し、昭和55年12月に県下で初めての流域下水道として供用開始した。計画区域面積6,583ha（県内3番目）、計画処理人口22.3万人、一日あたりの計画処理水量107,000m³である。なお当流域下水道における下水道普及率は82.1%（2023年度末）である。

2 水質の保全と「豊かな海」の両立に向けた社会実験

リン増加試験運転（三河湾）に引き続き、2022年度（11～3月）及び2023年度（9～3月）の2年間、矢作川浄化センターと豊川浄化センターにおいて、放流水中の窒素とリンの濃度を国の規制値（窒素：20mg/L以下、リン：2mg/L以下）上限まで緩和し、放流水中の濃度を高める社会実験を実施した。

（1）増加運転の実施状況

社会実験期間の放流水中の濃度は（表2-1、表2-2）、2年間の通常運転期間の平均に対して全窒素で1.5倍、全リンで3.2倍、社会実験実施前の平均（5か年平均、全リンについてはリン増加試験運転期間に該当）に対して全窒素で1.3～1.5倍、全リンで1.6～1.7倍であり、総量規制基準に適合していた。

表2-1 放流水中の平均濃度【全窒素】（各年度との比較）

（右端表に示す社会実験期間の倍率は、2017-2021年における9月-翌年3月の平均値と比較した場合、及び2022年と2023年の通常運転期間の平均値と比較した場合をそれぞれ示す。なお、表2-2も同様である。）

浄化センター名	年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2022	2023	社会実験期間の倍率	
		社会実験前（9/1～3/31）					通常運転		社会実験期間		2017-2021	2022,2023
矢作川浄化センター	mg/L	6.4	7.1	7.1	7.2	7.2	6.6	7.4	10.5	9.8	1.5倍	1.5倍
		平均 7.0					平均 7.0		平均 10.2			
豊川浄化センター	mg/L	9.3	9.7	8.4	8.1	7.7	7.0	7.9	11.3	11.9	1.3倍	1.5倍
		平均 8.6					平均 7.5		平均 11.6			

2022年度は11月～3月、2023年度は9月～3月で社会実験を実施。

表2-2 放流水中の平均濃度【全リン】（各年度との比較）

浄化センター名	年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2022	2023	社会実験期間の倍率	
		リン増加運転年度（9/1～3/31）					通常運転		社会実験期間		2017-2021	2022,2023
矢作川浄化センター	mg/L	0.66	0.71	0.66	0.69	0.76	0.33	0.37	1.28	0.96	1.6倍	3.2倍
		平均 0.70					平均 0.35		平均 1.12			
豊川浄化センター	mg/L	0.70	0.73	0.59	0.78	0.73	0.36	0.40	1.40	1.05	1.7倍	3.2倍
		平均 0.71					平均 0.38		平均 1.23			

2017年度は11月～3月、2018・2019年度は10月～3月、2020・2021年度は9月～3月にリン増加運転を実施。

2022年度は11月～3月、2023年度は9月～3月で社会実験を実施。

一方で、放流濃度の時間変動や日間変動（図2-2）があることと、他の水質規制項目の遵守が必要であるため、下水処理場での濃度管理の負担が増加するとともに栄養塩増加量に限界があった。現行では規制基準の運用において濃度管理が日平均濃度で行われており、下水処理場での管理負担軽減のための規制基準の運用方法が課題となった。

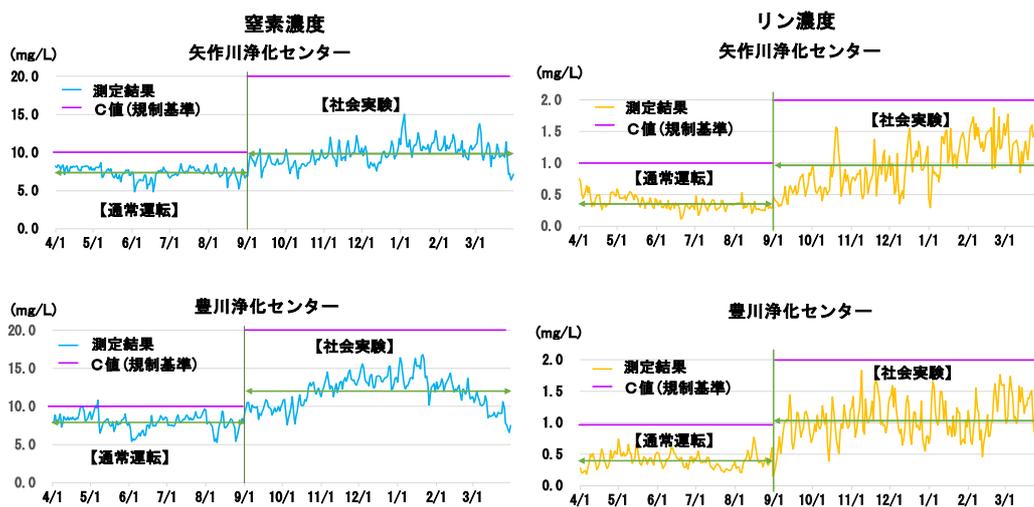
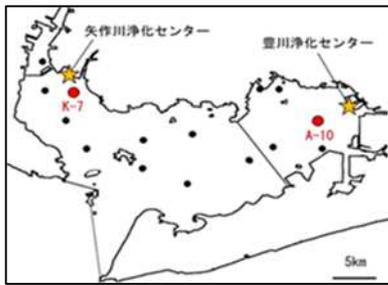


図2-2 矢作川浄化センター及び豊川浄化センターにおける放流水中の全窒素・全リン濃度（2023年度）

(2) 環境への影響

社会実験期間中の放流口に近い水質調査地点において、社会実験の中断条件に該当するような全窒素と全リンの濃度変化や、極度の赤潮の発生は認められなかった。



(参考) 社会実験の中断条件

- ・公共用水域水質調査*において窒素、リン濃度が2か月連続して各月の過去10年間における最大値を超過し、原因が栄養塩管理運転による場合や他に原因がない場合。
- ・極度の赤潮が発生し2か月以上継続することが予測され、原因が栄養塩管理運転による場合や他に原因がない場合。

*水質汚濁防止法第16条に基づき作成した水質測定計画により実施する調査

図2-3 水質調査地点及び社会実験の中断条件

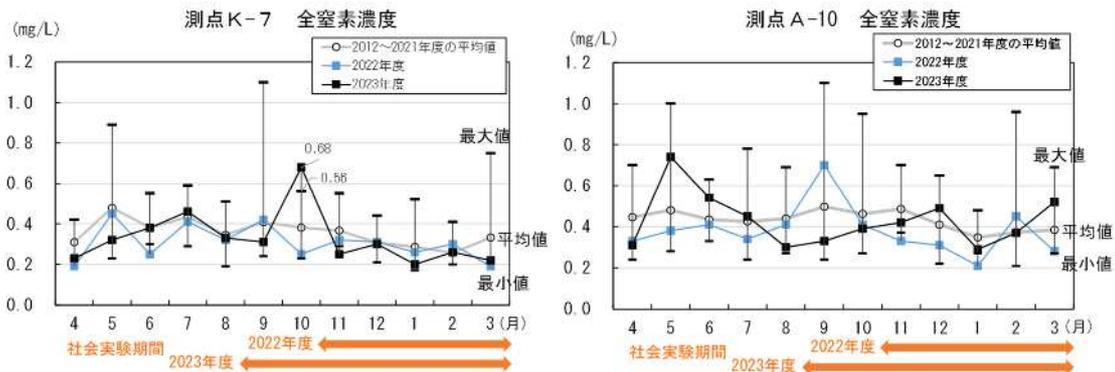


図2-4 2022、2023年度の測点K-7・A-10の月別全窒素濃度及び過去10年間の平均値と最大値・最小値

(※2023年10月の超過原因は採水日前日からの降雨による影響と考えられた)

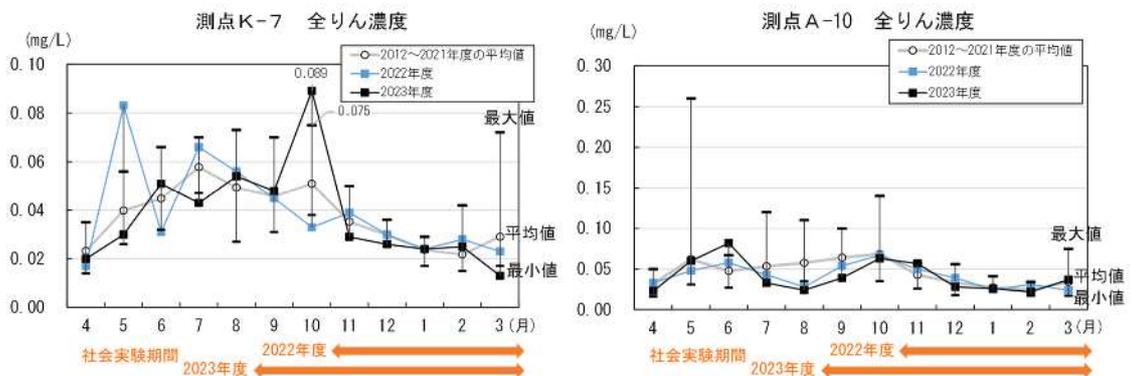


図2-5 2022、2023年度の測点K-7・A-10の月別全リン濃度及び過去10年間の平均値と最大値・最小値

(※2023年10月の超過原因は採水日前日からの降雨による影響と考えられた)

(3) 漁業への効果

○周辺海域への全窒素・全リンの分布

全窒素、全リンは、社会実験期間中において両地区とも放流口付近で濃度が高く、周辺でも濃度の上昇が認められ、周辺に広がる様子が確認されたが、平面分布には社会実験期間と社会実験前の過去5か年平均との間で顕著な差はみられず、生物による消費等の影響が考えられた。一例として矢作川地区における全リンの濃度分布について図2-6に示す。

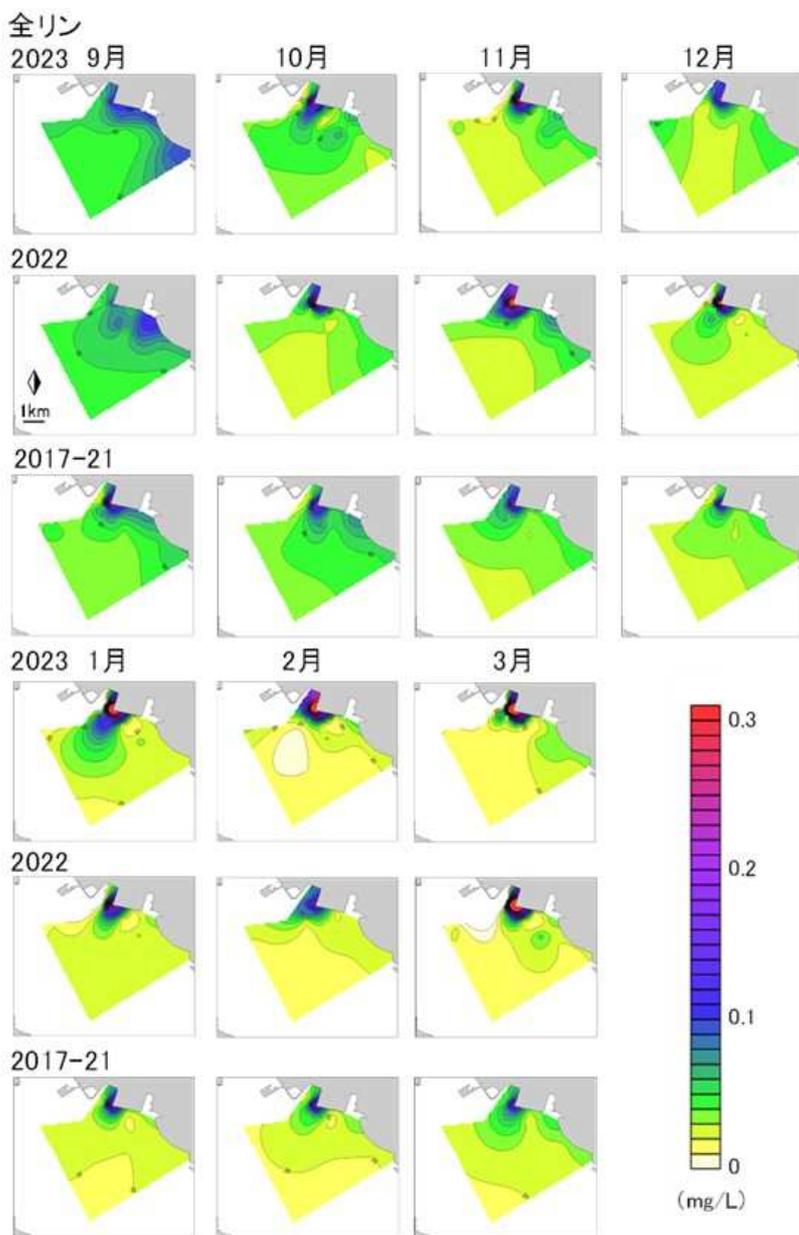


図2-6 2023年度、2022年度及び社会実験前の過去5か年平均における矢作川地区の全リン濃度分布

○ノリへの効果

矢作川地区において、2022年度のノリ葉体の色調（L*値：色が黒く良いノリほど値が小さい）は良好であり、2023年度のノリ葉体の色調も放流口に近いYN-1で良好であった。また、期間中の最大値を比較すると2017～2021年度に対して社会実験期間（2022、2023年度）で低く、社会実験によってノリの色落ちが軽減されたと考えられた。

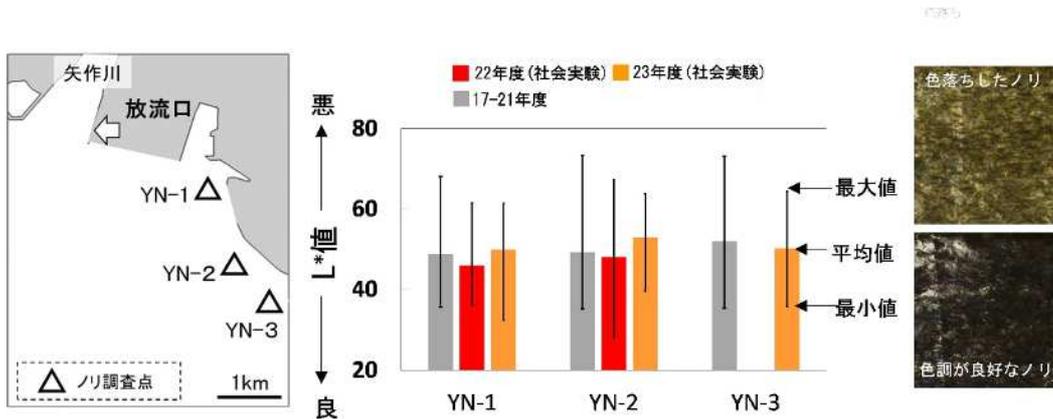


図2-7 矢作川地区におけるノリの色調（L*値）

○アサリへの効果

アサリについては、9月からリン増加試験運転を行った2020年度以降、社会実験期間を通じて不漁原因であった稚貝の秋冬期の減耗が軽減され現存量は高い水準となった。一方、現存量の増加に伴い、餌の競合による春から夏の肥満度の低下が認められており、さらなる餌料条件の改善によって現存量と肥満度が高い水準で維持されることが、資源の回復には必要であると考えられた。

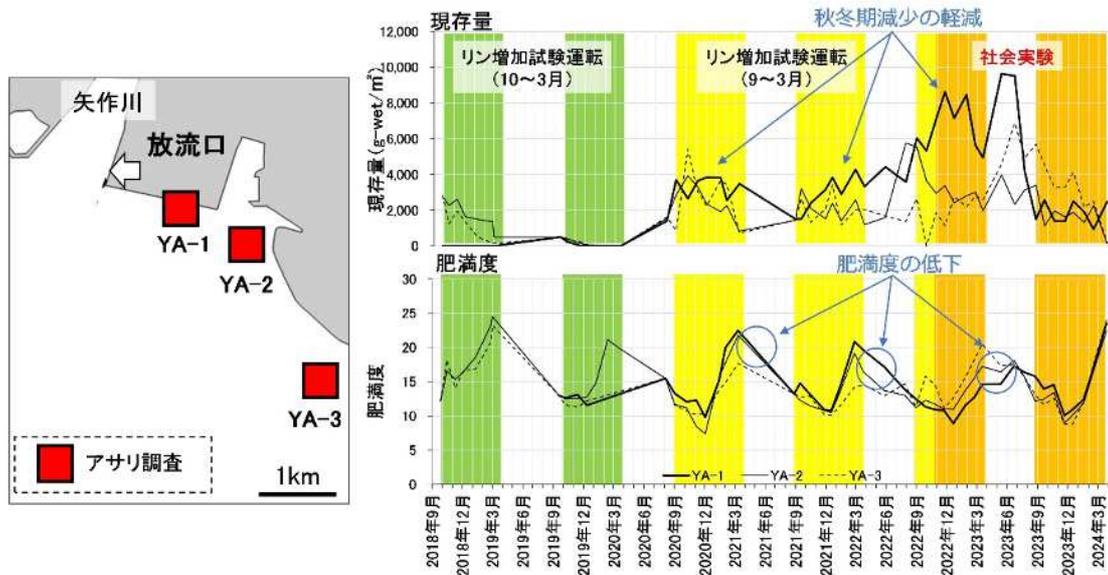
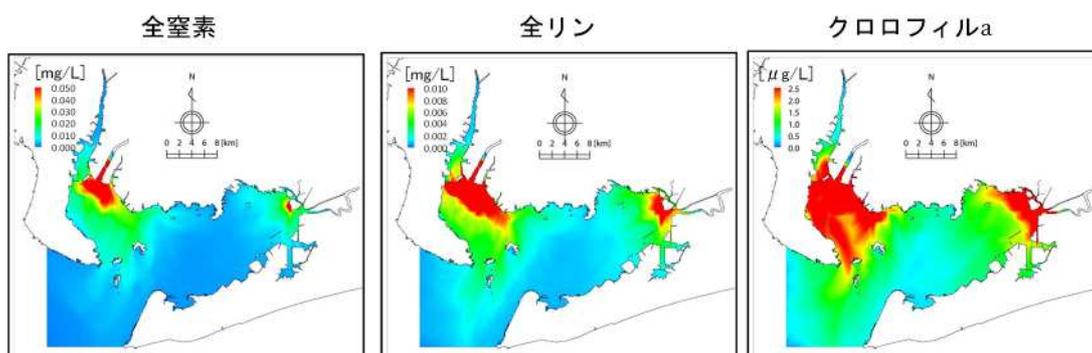


図2-8 矢作川地区におけるアサリの現存量（上図）、肥満度（下図）の推移

○数値シミュレーションによる効果把握

底生生物等による消費等の影響を除外した数値シミュレーションによって、社会実験の効果が及んだ範囲を推定した結果、矢作川浄化センターと豊川浄化センターのそれぞれから海域の栄養塩類（全窒素・全リン）とクロロフィルa濃度の増加する範囲が、濃淡はあるものの湾域全体に広がること示された。これらのことから、社会実験によりノリ・アサリ漁場へ栄養塩類やアサリの餌となる植物プランクトン（クロロフィルa濃度）が供給され、ノリやアサリに効果を及ぼしたと考えられた。



※11～3月の濃度変化（社会実験実施時～未実施時）の最大範囲を示したもの
※図中、赤色部分は増加量が多く、青色部分は増加量が小さいことを示す

図2-9 社会実験実施時の表層における濃度変化最大範囲（11～3月）

<参考>

○数値シミュレーションの概要

社会実験の効果を把握するため、流れや水温、塩分の変化を再現する流動モデルと、栄養塩やプランクトンの増殖等を再現する水質生態系モデルを結合して数値シミュレーションを行った。計算範囲は、三河湾全域を対象とする広域と、浄化センター周辺海域を詳細に検討するための狭域の2種類とした。水平格子分割は、広域は200mの等間隔格子、狭域は50～100mの不等間隔格子とした。鉛直層区分については、1～10m間隔で17層の区分とした。

ア 流況シミュレーション

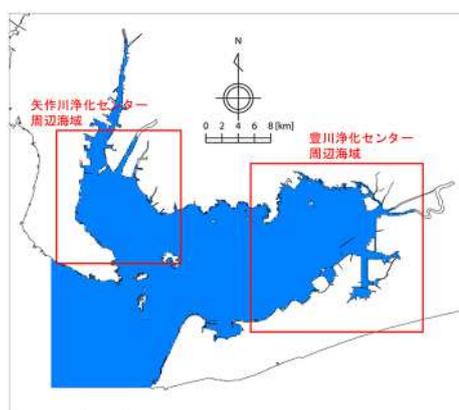
流況シミュレーションに使用した数値モデルは、流体力学方程式に従い潮汐流・河川流入・風応力等に伴う流れ場・水温・塩分の変化を計算できる3次元流動モデルとした。

イ 水質生態系シミュレーション

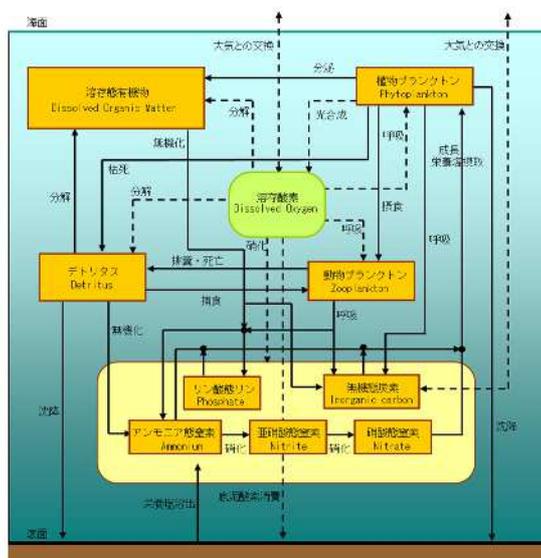
水質生態系シミュレーションに使用するモデルは、植物プランクトン、動物プランクトン、懸濁態有機物、溶存態有機物、栄養塩（アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、リン酸態リン）および溶存酸素量で構成される低次生態系の物質循環を計算できる水質生態系モデルとした。ただし、底生生態系はモデルに含めず、底生生物の作用を除外した栄養塩増加運転の波及効果の検証を目的とした。

参考表 1 流況シミュレーションの計算条件一覧

条件項目	設定条件
計算期間	2022年4月1日0時～2023年3月31日24時。 (計算のタイムステップは5秒)
対象範囲	広域：三河湾全域。 狭域：浄化センター周辺海域。
水平格子	広域：200 m 等間隔。 狭域：50～100 m 不等間隔。
鉛直層区分	最低1 m 間隔、20 層。
水深(海底地形)	海図と海底地形デジタルデータ(日本水路協会)より設定。
湾口潮位	広域：計算潮位より毎時の水位変動を入力。 狭域：広域の計算結果より狭域境界上の潮位を抽出。
湾口水温・塩分	広域：湾口境界における水温・塩分から設定。 狭域：広域の計算結果より狭域境界上の水温・塩分を抽出。
河川流量	三河湾に流入する主要9河川(豊川、矢作川、汐川、梅田川、柳生川、佐奈川、矢作古川、猿渡川、境川)の時間流量を入力。
浄化センター	三河湾沿岸に位置する9センターの放流量を入力。
気象要素	風、気温は、AMeDASと愛知水試の海上ブイの毎時データから入力。 湿度、日射量、雲量、降水量は、AMeDASの毎時データから入力。



参考図 1 対象範囲
(狭域は赤枠部分)



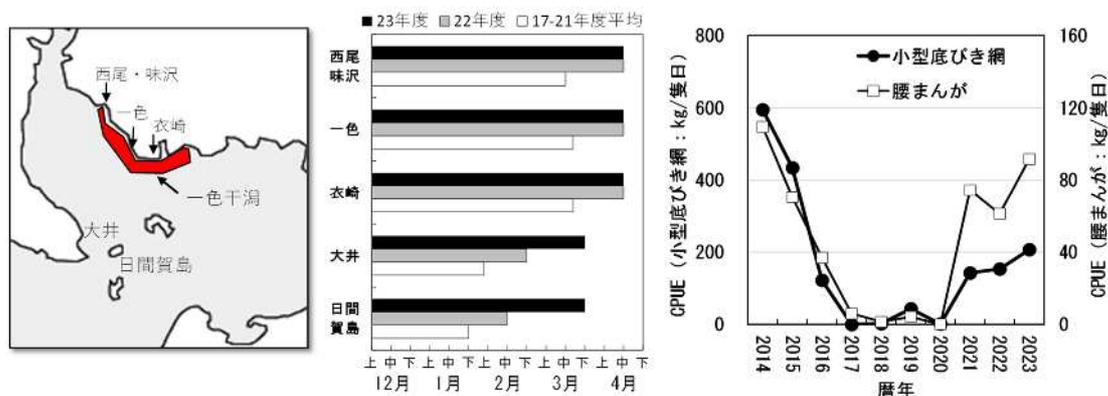
参考図 2 水質生態系モデル概念図

参考表 2 水質生態系シミュレーションの計算条件一覧

条件項目	設定条件
計算期間	2022年4月1日0時～2023年3月31日24時。 (計算のタイムステップは60秒)
基本条件	計算範囲、水平格子、鉛直層区分等は、流況シミュレーションと同様。
湾口水質	広域：湾口境界における水質項目から設定。 狭域：広域の計算結果より狭域境界上の水質項目を抽出。
流入負荷量	三河湾に流入する主要9河川(豊川、矢作川、汐川、梅田川、柳生川、佐奈川、矢作古川、猿渡川、境川)の時間負荷量を入力。
浄化センター	三河湾沿岸に位置する9センターの排水負荷量(濃度)を入力。
モデル構成要素	参考図2参照。 植物プランクトンは夏季優占種と冬季優占種の2種を考慮。

○漁業の状況

社会実験を行った2年間（2022年度、2023年度）は、過去5年間（2017～2021年度）に比べ良質なノリが長期間出荷された。また、1日1隻あたりのアサリの漁獲量（CPUE）は、2種類の漁法（小型底びき網、腰まんが）とも増加傾向となった。



参考図3 漁場位置（左）、各地区における良質なノリ（平均単価 10 円以上）が出荷された時期（中）及び一色干潟における1日1隻あたりのアサリ漁獲量（右）

3 伊勢湾（愛知県）におけるリン濃度増加管理運転

伊勢湾（愛知県）沿岸の下水処理場（日光川下流浄化センター（県管理）、東海市浄化センター（東海市）、知多市南部浄化センター（知多市）、常滑浄化センター（常滑市）の4か所において（図2-1）、県の第9次総量削減計画における総量規制基準の範囲内でリン濃度を増加する管理運転を実施している（表2-3）。常滑市（常滑浄化センター）は独自に2018年度12月から実施しており、その他の浄化センターでは2022年度冬期から開始し、2023年度以降には4か所の浄化センターで9月から翌年3月に実施している。

表2-3 リン濃度増加運転を実施している伊勢湾側の下水処理場

施設名	管理	実施開始時期
日光川下流浄化センター	愛知県	2022年度12月～
東海市浄化センター	東海市	2022年度2月～
知多市南部浄化センター	知多市	2022年度12月～
常滑浄化センター	常滑市	2018年度12月～

第3 栄養塩管理の目標

本章では、調査結果や既往知見をもとにノリ、アサリを対象として漁業生産に必要な栄養塩濃度を検討した。その結果、必要な栄養塩濃度は、全窒素（TN）で0.4mg/L以上、全リン（TP）で0.04mg/L以上であると整理した。

また、伊勢湾・三河湾における栄養塩濃度分布及び環境基準の類型指定の現況とノリ、アサリの漁場位置の関係を整理した。現在のノリ、アサリ漁場の多くは、漁業生産に必要な栄養塩濃度を下回る海域に含まれるとともに、環境基準の類型指定においてⅡ類型が適用される海域に含まれている。このため、Ⅱ類型の海域については、漁業生産に必要な栄養塩濃度が許容できる適切な類型への見直しを行った後、環境基準値の範囲内で、当面この濃度を目標に海域の栄養塩濃度を増加させることが重要と考えられた。

1 漁業生産に必要な栄養塩濃度

漁業生産に必要な栄養塩濃度を検討するため、伊勢湾・三河湾における栄養塩濃度に対する水産資源の応答について、ノリ、アサリを対象として調査結果や既往知見を整理した。特に、アサリは重要な水産資源であるとともに水質浄化機能を担っており、伊勢湾・三河湾の漁業生産における重要種と位置付けられる。加えて、栄養塩濃度への応答について科学的知見が集積されていることから、本種を対象とした。なお、本章以降の検討では全窒素（TN）及び全リン（TP）を対象とし、栄養塩と表記し取り扱う。

(1) ノリ

ノリ養殖に必要な栄養塩濃度は溶存態無機窒素（DIN）及び溶存態無機リン（DIP または PO_4-P ）で示されており、ここでは三河湾での観測結果から得られている DIN/TN 比または DIP/TP 比により、それぞれ全窒素（TN）、全リン（TP）濃度を求め、表3-1に示した。ノリ養殖においては漁場の流速等も生産に影響し、その違いにより必要とされる濃度が漁場で異なるため多少の幅があるが、全窒素、全リンは概ねそれぞれ0.3mg/L以上、0.03mg/L以上と考えられた。

表3-1 ノリに必要な栄養塩濃度

文献	DIN	DIP	TN (mg/L)	TP (mg/L)	備考
水産用水基準 ¹²⁾	0.07～ 0.10	0.007～ 0.014	0.25～ 0.40*	0.022～ 0.036*	*TN, TP は知多湾年代別溶存態比(2010年代, 湾奥(K7), 湾口(K6))より換算(柘植ら ¹³⁾)
ノリ養殖テキスト ²⁾	0.10	0.010	0.29～ 0.40*	0.027～ 0.029*	
範囲	0.07～ 0.10	0.007～ 0.014	0.25～ 0.40	0.022～ 0.036*	

(2) アサリ

栄養塩に対するアサリの応答に関する知見を表3-2に示した。海域や考え方が異なることから、全窒素や全リンの濃度に多少の差がみられるものの、水産用水基準を除いて全窒素では0.37~0.47mg/L、全リンでは0.038~0.054mg/Lの範囲（いずれも年平均値）となっている。なお、水産用水基準は漁獲が多くなる濃度範囲を示しており、他の知見よりも高い値を示している。以上から、アサリに必要な栄養塩濃度は、全窒素では0.4 mg/L以上、全リンでは0.04 mg/L以上と整理した。また、ノリで示した必要な栄養塩濃度は、ノリ漁期（10~3月）に必要な濃度であるが、アサリに必要な栄養塩濃度より低いので、アサリに必要な濃度を満たせばノリに必要な栄養塩濃度を確保できると考えられる。

表3-2 アサリに必要な栄養塩濃度

文献	考え方	全窒素 (mg/L)	全リン (mg/L)	備考	
水産用水基準 ¹²⁾	漁獲が多い	0.60< ≤1.00	0.05< ≤0.09		
蒲原ほか ⁹⁾	肥満度(個体の生死)	0.39	0.046	水質データは知多湾環境基準点(K4, 5, 6, 8)の平均値	
Uchida <i>et al.</i> ¹⁴⁾	漁業の成立	好不漁の境目	0.38	0.038*1	*1: TPは知多湾年代別 TN/TPより換算 ¹³⁾
		愛知県の水準*2	0.47	0.044*1	
日比野ほか ¹⁵⁾	資源崩壊水準(西三河地区)	0.37	0.039	水質データは一色干潟沖の環境基準点(K7)	
	漁業成立確率95%(西三河地区)	0.46	0.054		
範囲(水産用水基準除く)		0.37~ 0.47	0.038~ 0.054		

*2: 漁獲量減少前の西三河地区の漁獲を達成する水準(2010~2014年平均値)

(3) 伊勢湾・三河湾における漁業生産に必要な栄養塩濃度

アサリは、伊勢湾・三河湾における重要な漁業対象種であるとともに、干潟・浅場での水質浄化機能など内湾の生態系や物質循環において重要な要素であり、豊かな漁業生産に必要な重要種に位置付けることができる。特に赤潮や貧酸素水塊の軽減を図りつつ、水質の保全と「豊かな海」を実現するためには、懸濁態有機物(植物プランクトン)の除去やそれらの沈降を抑制する機能の回復が重要であり、まずは本種の資源回復を目標とすることが合理的と考えられる。

このため、アサリに必要な栄養塩濃度[全窒素(TN):0.4mg/L以上、全リン(TP):0.04mg/L以上]を、漁業生産に必要な栄養塩濃度とすることが妥当と判断された。

2 伊勢湾・三河湾の栄養塩濃度分布とノリ・アサリ漁場

伊勢湾・三河湾における全窒素 (TN) 及び全リン (TP) 濃度は経年的に低下しており、漁業生産に必要な栄養塩濃度 (全窒素 : 0.4mg/L 以上、全リン : 0.04mg/L 以上) を下回る海域が拡大している (図3-1)。¹⁾

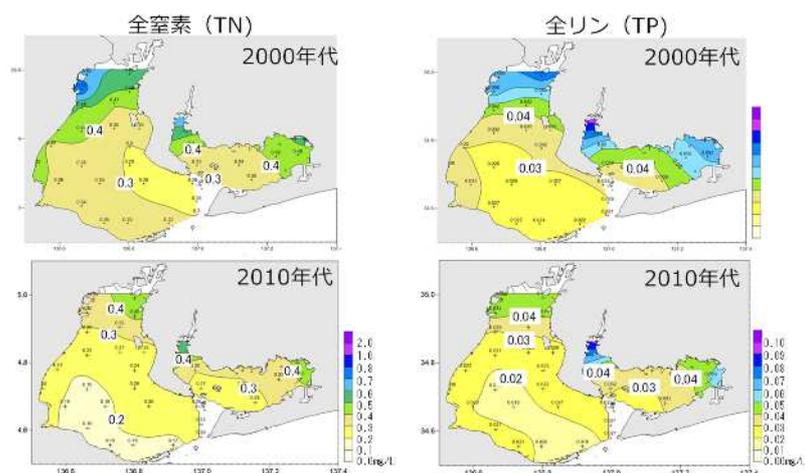


図3-1 伊勢・三河湾における全窒素(TN)及び全リン(TP)の水平分布¹⁾

ノリ漁場は、伊勢湾側では知多半島沿岸ほぼ全域、三河湾では知多湾、島しょ部及び田原市に位置する (図3-2)。アサリ漁場は、伊勢湾側では常滑市、三河湾側では西尾市 (旧幡豆郡含む) を中心にほぼ沿海全域に及ぶ。また、湾内では船びき網漁業や底びき網漁業等の漁船漁業も営まれている。これらの漁場のほとんどは、漁業生産に必要な栄養塩濃度 (全窒素 : 0.4mg/L 以上、全リン : 0.04mg/L 以上) を下回る海域に含まれている。

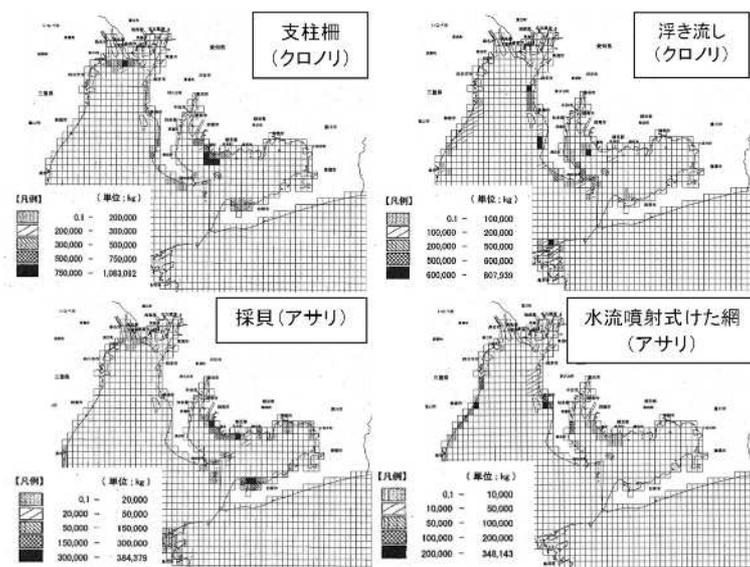


図3-2 ノリ・アサリ漁場の位置

平成19年度漁場環境評価メッシュ図ー伊勢湾及び周辺海域ー(水産庁・日本水産資源保護協会編) から抜粋し一部改変(網掛け部分が漁場位置に対応)

3 伊勢湾・三河湾の類型指定と見直し

ノリ・アサリ漁場の多くは、環境基準の類型指定において、漁業生産に必要な栄養塩濃度（全窒素：0.4mg/L以上、全リン：0.04mg/L以上）を下回るⅡ類型（全窒素：0.3mg/L以下、全リン：0.03mg/L以下）が適用されている海域に位置している（図3-3）。このため、海域の栄養塩を必要な濃度に高める上では、現行の類型適用を見直す必要があると考えられる。

環境基準の運用に関して、環境省は、地域のニーズに応じた効果的な水環境の保全の取組を推進するため、2024年9月に中央環境審議会水環境・土壌農薬部会、生活環境の保全に関する水環境小委員会において、地域の利用の態様に合わせて適切に水質を管理するため類型を見直すことは、「水質の悪化を許容すること」には当たらない（「現状非悪化」に反しない）との考え方を明示した。あわせて、「利用目的の適応性に係る水浴の見直し」、「季別の類型指定」、「CODの達成評価」の見直しの方針が示され、地域のニーズや実情に応じて環境基準の水域類型の指定を柔軟かつ適時適切に見直すための基盤が整った。

制度改正の動向と検討会議で整理された知見を踏まえ、Ⅱ類型の海域については、漁業生産に必要な栄養塩濃度を許容できる類型への見直しを行うことが合理的であると考えられる。

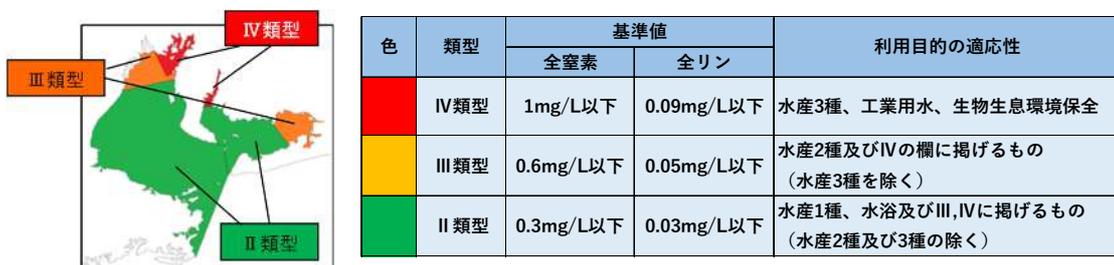


図3-3 伊勢・三河湾における類型指定の状況と全窒素・全リンの基準濃度

4 伊勢湾・三河湾における栄養塩管理の目標の考え方

兵庫県では、豊かで美しい瀬戸内海の再生に向けて、「環境の保全と創造に関する条例」を2019年10月に改正し、瀬戸内海の海域における良好な水質を保全し、かつ、豊かな生態系を確保する上で望ましい栄養塩類の濃度（県条例に基づく下限値以上、環境基準値以下）を全国で初めて設定している（表3-3）。

表3-3 兵庫県栄養塩類管理計画における望ましい栄養塩類濃度

類型	全窒素(mg/L)		類型	全りん(mg/L)	
	県条例下限値	環境基準値		県条例下限値	環境基準値
Ⅱ	0.2	0.3	Ⅱ	0.02	0.03
Ⅲ	0.2	0.6	Ⅲ	0.02	0.05

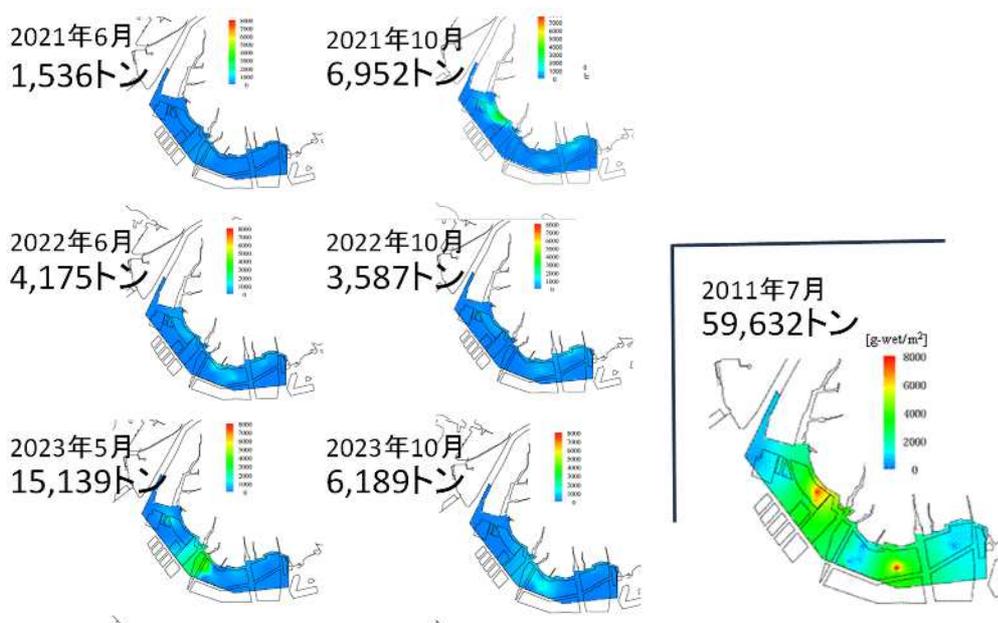
伊勢湾・三河湾においても、検討会議で整理した知見を踏まえ、必要とされる栄養塩類濃度が許容される水域類型への見直しを行った後、環境基準値の範囲内で、漁業生産に必要な栄養塩濃度（全窒素：0.4mg/L以上、全リン：0.04mg/L以上）を目標として、適切な栄養塩管理を実施していくことが重要であると考えられる。また、類型指定が見直され漁業生産に必要な栄養塩濃度が達成されることで、今回検討したノリ・アサリだけでなく、水産用水基準¹²⁾で示される水産2種（全窒素：0.6mg/L以下、全リン：0.05mg/L以下）で対象とされるイワシ類、スズキ、カレイ類、シャコ、ナマコ等といった、伊勢湾・三河湾の漁業における地域ニーズの高い対象種についても、必要な栄養塩濃度との乖離が是正されることが期待される。

<参考>

○アサリ現存量の水準

漁獲量減少前（2009～2011年）の一色干潟におけるアサリ現存量（稚貝含む）は4.5万～6.0万トンと推定されている。2021～2023年の現存量は1,536～15,139トンであり、現存量は増加傾向にあるが、その水準は最大でもアサリ漁獲量減少前の25～34%に留まっている（下図）。¹⁶⁾

2020年の秋以降、移植された稚貝をはじめアサリ稚貝の生き残りは良くなり漁獲資源が形成され、CPUEの増加につながった。¹⁶⁾一方で、現存量の増加によって成長率や肥満度が低下する状況が確認されており、漁場の生産力を高める必要性が指摘されている。¹⁷⁾また、近年の調査から天然稚貝発生量や浮遊幼生密度が低いことが確認されており、¹⁸⁾資源回復においては再生産（成貝－産卵－幼生－稚貝－成貝の過程）を通じて天然発生群が増加することが重要であることが指摘されている。¹⁶⁾



参考図 一色干潟漁場におけるアサリ現存量の推移¹⁶⁾

第4 栄養塩管理方策の検討

本章では、伊勢湾・三河湾での栄養塩増加運転にかかる数値シミュレーションによる試行計算の結果を示し、下水処理場における栄養塩増加運転の拡大の有効性を示した。漁業生産に必要な栄養塩濃度を実現するための栄養塩管理方策の方向性として、2027年度（予定）までの社会実験の継続とともに、社会実験後の栄養塩増加措置としての下水処理場による周年の栄養塩増加運転の必要性及びそれらの恒常的实施と枠組みづくり、さらに安定的かつ効果的な栄養塩増加運転を行うための検討の必要性を示した。また、併せて栄養塩を漁業生産につなげるための取組やモニタリングを併せて実施することで、水質の保全と「豊かな海」の両立のための順応的な管理とすることが重要であるとした。

1 下水処理場による栄養塩増加運転の拡大の有効性

—数値シミュレーションによる試行計算結果—

数値シミュレーションによって、下水処理場による栄養塩増加運転の方法について以下のケースで試行計算を行い、漁業生産に必要な栄養塩濃度（全窒素：0.4 mg/L 以上、全リン：0.04 mg/L 以上）となる範囲や変化を検討した。なお、伊勢湾については、伊勢湾再生推進会議伊勢湾再生海域検討会による伊勢湾シミュレーターの計算結果を引用した。

○三河湾

○三河湾における数値シミュレーションによる試行計算（愛知県水産試験場）

ケース1 三河湾沿海下水処理場（9か所）において9～3月に窒素とリンの放流濃度を国の規制値上限（TN：20 mg/L、TP：2 mg/L）で増加運転

ケース2 三河湾沿海下水処理場（9か所）において周年、窒素とリンの放流濃度を国の規制値上限（TN：20 mg/L、TP：2 mg/L）で増加運転

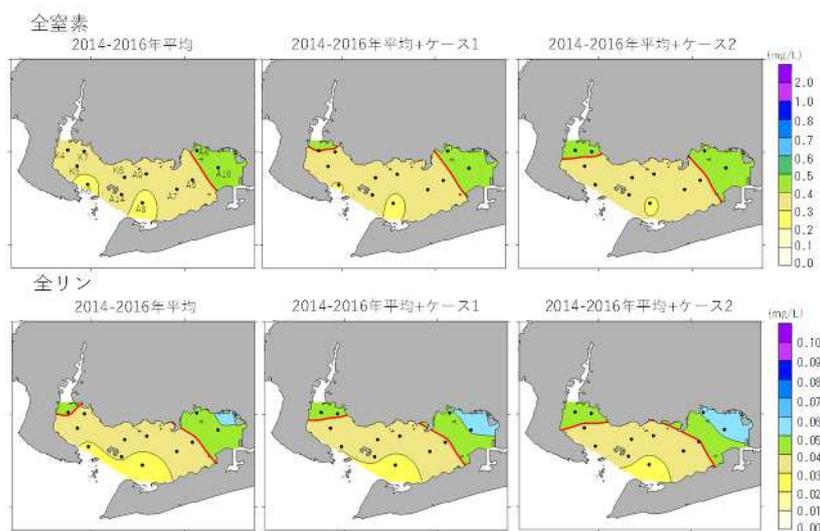


図4-1 三河湾における試行計算結果（年平均濃度）

各ケースによる栄養塩増加運転により、三河湾のアサリ漁場の一部はアサリに必要な栄養塩濃度に達し、その他の海域においてもアサリに必要な栄養塩濃度との乖離が是正されることが示された。その効果は、ケース1よりケース2で高かった（図4-1）。

○伊勢湾

○伊勢湾における数値シミュレーションによる試行計算

（令和5年度伊勢湾再生海域検討会研究WG）

ケース1 伊勢・三河湾沿海下水処理場（27か所）において10～3月に窒素とリンの放流濃度を国の規制値上限（TN：20 mg/L、TP：2 mg/L）で増加運転

ケース2 伊勢・三河湾沿海下水処理場（27か所）において周年、窒素とリンの放流濃度を国の規制値上限（TN：20 mg/L、TP：2 mg/L）で増加運転

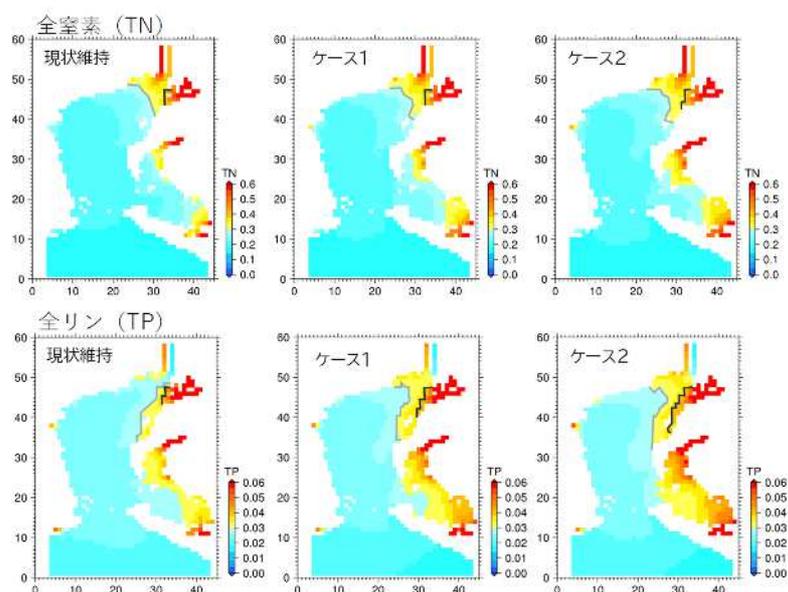


図4-2 伊勢湾シミュレーターによる試行計算結果（年平均濃度）
（令和5年度伊勢湾再生海域検討会研究WG資料）

伊勢湾においても、各ケースによる栄養塩増加運転によりアサリに必要な栄養塩濃度を満たす範囲は拡大し、漁場における栄養塩濃度との乖離が是正されることが示された。その効果はケース1よりケース2で高かった。一方で、伊勢湾側の知多半島南部海域では、濃度の上昇は限定的である可能性も考えられた。

三河湾・伊勢湾ともに沿海下水処理場での増加運転の拡大（実施箇所や期間の拡大）により、海域における栄養塩の増大効果が高くなることが明らかとなり、ノリ・アサリ漁場の多くでアサリに必要な栄養塩濃度との乖離が是正されると考えられた。以上から、漁業生産に必要な栄養塩管理方策の一つとして、下水処理場による栄養塩増加運転の拡大は有効であると考えられる。

なお、数値シミュレーションでは結果を明確に示すために、国の規制値上限での増加放流を仮定して試行計算しているが、実際の運用においては上限濃度を維持して放流させるこ

とはできない点には留意が必要である。また、検討会議の数値シミュレーションでは、栄養塩濃度の増加効果の把握を目的としたため、魚介類等の水生生物の生息に対する直接的な影響の判断指標である底層溶存酸素量（底層 D0）への影響は予測できていない。今後は、底層 D0 等への影響についても把握していく必要がある。

2 漁業生産に必要な栄養塩管理方策の方向性

(1) 社会実験等の継続

2022 年度、2023 年度に実施した 2 か年の社会実験により、極度の赤潮の発生など水質への影響は見られず、ノリ・アサリへの効果が認められた。これらの結果等を踏まえ、2024 年 8 月に県の第 9 次総量削減計画に係る総量規制基準を改正し、2027 年度（予定）まで 9 月から翌年 3 月の期間で、矢作川浄化センター及び豊川浄化センターにおいて、国の規制値上限（全窒素：20 mg/L、全リン：2 mg/L）の範囲での栄養塩増加運転を継続実施することとした。また、伊勢湾については、引き続き関係市と連携し、県の総量規制基準の範囲内でリン濃度を増加させる栄養塩増加運転を、9 月から翌年 3 月の期間で 4 か所において実施していく予定である。

(2) 社会実験後の栄養塩増加について

ア 栄養塩類の重要性と増加措置

栄養塩類の変動による水産資源への影響については、特に高次消費者の生物に対しては応答が複雑であり、水温上昇等の他の影響もある中で明確な因果関係として解明できない点も多い。一方で、モデルによる貧栄養過程での生態系応答¹⁹⁾や個体成長モデル^{9, 10)}によるプロセスの理解により、栄養塩を起点とした基礎生産量と生物応答の因果関係を支持する知見の蓄積も進んでいる。加えて、社会実験の結果により、栄養塩類の供給によりノリの色落ちが軽減され、アサリでは秋冬期減耗が回避されるようになった。

瀬戸内海においては、瀬戸内海環境保全特別措置法に基づき、環境基準の範囲内で栄養塩類増加措置が環境に及ぼす影響について、調査、予測及び評価を行うなどにより、栄養塩類管理計画を策定の上、栄養塩類の供給が可能となっている。栄養塩類増加措置の実施方法としては、「栄養塩類管理計画策定に関するガイドライン」(<https://www.env.go.jp/content/000127313.pdf>)において、下水処理場や民間事業場等の管理運転の他、施肥や海底耕耘、かいぼり等が挙げられている。現在、兵庫県及び香川県において栄養塩類管理計画が策定されており、計画において栄養塩類増加措置に位置付けられているのは、下水処理場又は民間事業場の排水における取組であり、海底耕耘などは実施されているが、管理計画には位置付けられていない。

愛知県では、これまでに、県または市が管理する一部の下水処理場において、社会実験をはじめとする栄養塩増加運転が実施されてきており、栄養塩増加運転にかかるノウハウを蓄積しているところである。また、令和5年3月には国土交通省水管理・国土保全局下水道部から、下水処理場における「栄養塩類の能動的運転管理の効果的な実施に向けたガイドライン（案）」が公表されている。数値シミュレーションの試行計算結果からも、伊勢湾・三河湾沿海の下水処理場において栄養塩増加運転を実施することは、漁業生産に必要な栄養塩濃度と漁場における栄養塩濃度との乖離を是正する上で有効な方策の一つであると考えられる。

イ 効果的な栄養塩管理

社会実験の結果における漁業への効果の課題として、更なるアサリ資源の回復には春から夏にかけての肥満度と現存量を両立することが必要であることも示唆された。また、アサリの資源形成成否の指標となる再生産成功率と水温・水質や気象条件等との関連を統計的に検討した結果では、夏期のクロロフィル a 濃度がアサリの資源形成において重要であることが示されている。²⁰⁾ 伊勢湾・三河湾では水産資源に見られる変化と環境要因に関する近年の調査・研究により、ノリやアサリ以外の水産生物についても、これまでに以下のような研究結果が報告されている。イカナゴの資源形成では夏眠前の栄養状態が重要であるが、²¹⁾ この時期の肥満度低下量は2012年以降に特に大きく、餌生物（カイアシ類）の減少による影響が示唆されている。²²⁾ また、肥満度が高ければ夏眠中の高水温に対する死亡率は低いため、^{23, 24)} 春夏季の栄養状態が水温耐性にも影響すると考えられる。生活史において内湾への依存度が高いマアナゴやシャコでも、肥満度の低下や資源減少が栄養塩濃度や基礎生産の低下に伴う餌料生物の減少と関連があるとされ、特に春から夏の基礎生産の重要性が示されている。^{25, 26)} 検討会議での主な検討対象としたノリ・アサリに限らず、水生生物は多様な生活史を持つことから、生物多様性や生物生産性の観点からは、年間を通じた栄養塩管理の取組が重要であると考えられる。また、数値シミュレーションにおいても、周年で栄養塩増加運転を実施することを試行して計算した結果は、季節別（秋冬期）運転に比べ漁業生産に必要な栄養塩濃度との乖離を是正する上でより効果が高くなることも示されている（本稿第4章）。

ウ 安定的かつ効果的な下水処理場における栄養塩増加運転

下水処理場における栄養塩増加運転では、放流濃度の時間変動を伴う中で、窒素・リン以外の水質規制項目の遵守や、現行では総量規制基準が日当たり負荷量で適用されていることから、現場では日平均濃度により運用されている。そのため、社会実験で緩和された基準に対して、継続的に上限濃度に近い濃度で放流することは困難になっている。安定的かつ効果的な栄養塩増加運転を行うためには、増加運転に係る総量規制基準や他の規制項目の運用の見直しが効果的であると考えられ、より実施しやすい制度となるよう国との協議・調整

が必要である。また、下水処理場の設備や構造等において栄養塩増加運転が実施できない施設もあることから、実施においては施設の条件等も勘案する必要がある。

工 栄養塩増加の方向性と順応的視点

以上のとおり、これまでの栄養塩管理の取組実績と経過、及び科学的根拠に基づく必要性から、本県における当面の栄養塩増加措置は公設の下水処理場を対象とした栄養塩増加運転を端緒とし、課題等も踏まえつつ、実施する施設の増大や期間を拡大するとともにこれらの取組が恒常的に実施できる枠組みを構築することが重要であると整理することができる。

栄養塩の増加により、赤潮・貧酸素水塊の拡大の可能性もあるが、それらの変動には、干潟・浅場の減少など負荷量とは別の要因との指摘もある。また、伊勢湾再生海域検討会の解析結果等から生物生産性の拡大と貧酸素水塊の抑制を両立できる可能性が示されている。一方で、今回のシミュレーションでは底層 D0 等への影響を把握できていないため、モニタリングや科学的知見の蓄積を進めながら、慎重かつ順応的に栄養塩管理に取り組んでいく必要がある。

加えて、これらの栄養塩増加措置を実施する中で、今後の人口減少等やその他の不確実性において、公設の下水処理場での栄養塩増加運転のみでは漁業への効果が不十分であり、アサリ等の漁場を含む海域の栄養塩濃度が漁業生産に必要な栄養塩濃度に達しない場合、あるいは更なる知見の集積によりその可能性が大きいと判断された場合には、周辺環境への影響等を考慮し、順応的管理が可能であることを確認した上で、公設下水処理場以外の民間の事業者等の排水処理における増加措置やその他の方策も検討する必要がある。

(3) 栄養塩増加運転の恒常的实施と枠組みづくり

伊勢湾・三河湾の水質の保全に向けては、類型指定された水域ごとの環境基準の達成を目指して総量削減等の取組が進められている。漁業生産に必要な栄養塩濃度（全窒素：0.4 mg/L 以上、全リン：0.04 mg/L 以上）を目指して、増加運転を拡大、恒常的に実施していくためには、類型指定の見直しや次期（第 10 次）総量削減計画への位置付けなどの枠組み作りが必要と考えられる。

このうち、漁場を含む海域の類型指定については、環境省が示した考え方に基づき、利用の態様に合わせて適切に水質を管理するという、漁業生産に必要な栄養塩濃度を許容できる類型への見直しを進める必要があると考えられる。

一方、水質総量削減制度については、環境省において、よりきめ細かな海域の状況に応じた水環境管理の在り方について、制度の見直し等も含め検討が進められることとなっている。このような動向を踏まえて、次期総量削減計画においては、栄養塩類を「削減」ではなく「管理」を図る対象として、栄養塩増加運転の拡大を考慮した削減目標量の設定や総量規制基準（C 値）の緩和について、国と連携し検討を進める必要があると考えられる。

(4) 栄養塩を漁業生産につなげるための取組

栄養塩管理の効果を最大限に漁業生産につなげることが重要であることから、以下のとおり、アサリなどの二枚貝の生産力を高める場の創出を図りながら水質浄化機能を強化するとともに、適正な漁場管理と資源利用等により漁業生産を通じた海域外への窒素やリンの取り上げを進めていくことも必要である。

ア 干潟・浅場等の場の造成

二枚貝の生息場であり、水産生物の産卵・育成の場となる干潟・浅場・藻場を造成するとともに、砕石を利用したアサリ増殖場の造成を推進し、引き続き二枚貝による水質浄化機能の強化を図っていくことが重要である。



イ 資源管理と漁場管理

二枚貝の資源管理や栽培漁業に積極的に取り組むとともに、アサリについては豊川河口から稚貝を漁場に移植放流する取組を引き続き行い、漁獲による取り上げの促進に努めていくことが重要である。



ウ 新たな養殖業と適正な養殖管理

先進技術を取り入れたカキやアサリ等の二枚貝養殖の導入を進める。また、高品質なノリの品種とノリ食害防除技術を開発するとともに、気候や海況に応じた適正な養殖管理を進め、栄養塩を効率良く漁業生産に転換していくことが重要である



(5) その他の栄養塩増加の取組

ア 施肥

愛知県では1950年代ごろから施肥の試験が行われてきたが、海水の流れによる損失が大きく効果は局所的であるという課題がある。漁業者等からの施肥の実施について相談があれば、普及指導員が指導を行うほか、業界団体の支援を受けられる体制を整えている。

イ 耕うん

愛知県では「けた」漁具等を使用する底びき網漁業が盛んに営まれており、すでに操業による耕うんが大規模に実施されている状況である。

(6) モニタリング

海域の栄養塩管理については、環境への影響や漁業の状況をモニタリングしながら進めるといふ、海域の状況の変化に応じた順応的な取組とする必要がある。

三河湾の2か所の浄化センターにおける放流水中の窒素とリンの濃度を国の規制値上限（全窒素：20 mg/L、全リン：2 mg/L）に緩和して放流する2年間の社会実験により、栄養塩やクロロフィルaの漁場への波及を通じて、直接的なノリ・アサリへの効果を把握した。しかし、アサリの現存量の増加に伴い餌の競合による春から夏の肥満度の低下が認められ、資源回復に向けての課題として残された。この栄養塩増加運転の取組は、2024年度以降は2027年度まで県第9次総量削減計画において社会実験と位置づけ継続実施することとしている（便宜上、2024年度以降の社会実験は、「社会実験（継続）」と呼称する。）。このため社会実験（継続）期間においても、負荷量の増大を原因とした水質悪化や赤潮や貧酸素水塊の拡大等を引き起こさないようにするため、環境への影響と漁業の状況に関して以下のモニタリングを実施するとともに、迅速な対応が可能となる連絡調整体制が引き続き必要であると考えられる。

ア 社会実験（継続）中のモニタリング

(ア) 環境への影響把握

公共用水域水質調査、赤潮調査を活用し、全窒素・全リン濃度や赤潮の発生状況を観測する。なお、社会実験（継続）期間中において環境への悪影響が認められた場合として、2022年度及び2023年度の社会実験で採用した下記の中断条件を引き続き設定する。

社会実験（継続）の中断条件

- ・公共用水域水質調査において全窒素・全リン濃度が2か月連続して各月の社会実験前の10年間（2012～2021年度）における最大値を超過し、原因が栄養塩管理運転による場合や他に原因がない場合。
- ・極度の赤潮が発生し、2か月以上継続することが予測され、原因が栄養塩管理運転による場合や他に原因がない場合。

(イ) 漁業の状況の把握

a ノリ

乾ノリ製品の色調を色彩色差計で測定する。

調査項目	調査期間（調査回数）
乾ノリ製品の黒み度	12月から3月まで（月1～2回）

b アサリ

アサリの現存量、個体密度、肥満度等を調査する。

調査項目	調査期間（調査回数）
現存量	4月から3月まで （矢作川地区：2月に1回程度。豊川地区：月1回）
個体密度	
肥満度	

(ウ) 結果の分析・検討

社会実験（継続）期間におけるモニタリング結果は、年1回とりまとめ、その内容について県関係部局による連絡調整会議等において分析・評価し、必要に応じて公共用水域水質調査におけるその他の項目（底層溶存酸素量等）の調査結果等も参考とする。ただし、状況の変化や必要に応じて、モニタリングの内容は見直すこととする。また、漁業者や管理運転の実施者等の関係者とこれらの結果について情報共有を適宜行う。

イ 社会実験（継続）後のモニタリング

社会実験（継続）後における栄養塩増加運転の恒常的な実施にあつては、栄養塩管理を水質の保全と「豊かな海」の両立のための順応的な管理とするため、引き続き公共用水域水質調査による観測結果や漁業関連情報等の利活用を図ることで水質環境や漁業生産に関するモニタリングを実施し、環境に影響があった場合や漁業への効果が不十分であった場合等に応じて、栄養塩増加運転の運用やその他の増加措置等を検討する必要がある。

- ① 社会実験等の継続
- ② 栄養塩増加運転の恒常的实施と枠組みづくり
 - 漁業生産に必要な栄養塩濃度（全窒素：0.4mg/L以上、全リン：0.04mg/L以上）を許容する類型への見直し
 - 当面は下水処理場を対象に栄養塩増加運転を実施
 - 管理における課題を踏まえつつ、実施箇所の増大と周年運転の検討
 - 総量規制基準（C値）の緩和と増加運転等を考慮した削減目標量の設定
- ③ 栄養塩を漁業生産につなげるための取組
 - 水産生物の産卵・育成の場となる干潟・浅場・藻場、碎石を利用したアサリ増殖場の造成を推進
 - 二枚貝類の資源管理や栽培漁業への積極的な取組
 - 二枚貝養殖の導入と気候や海況に応じた適正なノリ養殖管理を推進

モニタリング

環境への影響・漁業の状況
実施者等への情報共有



二枚貝による水質浄化機能の強化
漁獲による取り上げ促進
栄養塩を効率良く漁業生産に転換

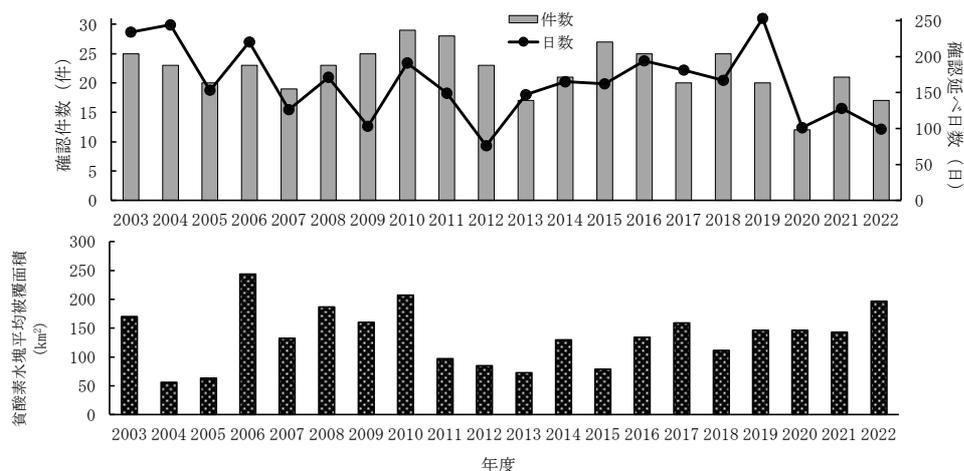
水質の保全と「豊かな海」の両立のための順応的な管理

図4-3 漁業生産に必要な栄養塩管理方策の方向性

<参考>

○赤潮と貧酸素水塊について

底層溶存酸素量 (D0) が新たな環境基準として設定され、今後はその達成も求められる。一方で、これまでの水質総量削減により窒素・リンの負荷量は削減されてきたが、2003 年度以降の赤潮や貧酸素水塊平均被覆面積には一定の減少傾向はみられていない (参考図)。すなわち、赤潮や貧酸素水塊平均被覆面積の変動には、湾内の干潟・浅場の減少など負荷量とは別の要因が介在することが指摘されている。²⁷⁾



参考図 三河湾における赤潮確認件数と貧酸素水塊平均被覆面積(7-9月)

※赤潮:海中で微小な生物(おもに植物プランクトン)が異常に増殖することによって、海の色が変わる現象
※貧酸素水塊:溶存酸素飽和度が30%以下の水塊

今回の検討会議で提示された数値シミュレーションは、栄養塩増加運転の波及効果と有効性の検証を目的としており、底泥中の酸素消費過程や湾全域のマクロベントス等の現存量を加味した海底付近の底層溶存酸素動態の再現には課題が残されており、その変動については十分な検証には至らなかった。今後は、底層 D0 等への影響についても把握していく必要がある。一方で、伊勢湾再生海域検討会で実施された伊勢湾シミュレーターによる解析によると、陸域負荷量の削減はかえって貧酸素水塊を増大させ、その理由として水質浄化機能を持つ二枚貝類の減少に起因する結果を示している。加えて、海域の窒素・リン濃度を適切に保ちつつ生息基盤を保全・再生・創出することで、生物生産性の拡大と貧酸素水塊の抑制を両立できることを示している (<https://www.pa.cbr.mlit.go.jp/isewan/file/reports/a63fddb1.pdf>)。また、アサリの資源量の増大が貧酸素水塊の総面積の規模を抑制することは、数値モデル^{28, 29)}や観測データの統計的解析³⁰⁾でも明らかになっている。これらの科学的知見は、アサリ等二枚貝類の増大は、摂餌による過剰な懸濁態有機物(赤潮等の植物プランクトン)の除去を促進し、それにより有機沈降物量が減少することで貧酸素水塊は抑制されるといった、内湾域の水質環境に及ぼすトップダウン効果の重要性を示している。^{31, 32)}したがって、アサリの資源回復は、漁業の側面だけでなく内湾の水質保全を図る上でも喫緊の課題と言える。

温暖化等の気候変動等の不確実性を加味した将来的な内湾環境の予測は困難である一方で、不測の環境悪化を回避するためには、干潟・浅場の造成や藻場の回復を進め、二枚貝類や海藻・海草類を増加させることにより、健全な物質循環を整えつつ、併せて環境への影響や漁業の状況をモニタリングするとともに更なる科学的知見の蓄積を進めながら、慎重かつ順応的に栄養塩管理に取り組んでいく必要がある。

第5 おわりに

海域の栄養塩類不足によるノリの色落ちやアサリ不漁を端緒として、漁業者から栄養塩管理の必要性が提起され、検討会議では、漁業者、水産・環境のそれぞれの専門家、行政関係者が、漁業生産の回復のための栄養塩管理のあり方について一堂に集まって協議した。検討会議では、2年間の社会実験の結果を検証し、その結果を踏まえた今後の方向性の検討により、海域ごとの漁業生産に必要な栄養塩濃度の提案や管理方策など、漁業生産に必要な望ましい栄養塩管理のあり方について整理され、一定の役割を達成したものと考える。

検討会議の設置経緯や成果を踏まえ、今後も漁業関係者を始めとする関係者が相互に意見交換をしながら、漁業生産に必要な望ましい栄養塩管理に取り組んでいくとともに、並行して栄養塩を漁業生産につなげるための取組を推進し、水質の保全と「豊かな海」の両立した伊勢・三河湾を実現していくことが重要である（図5-1）。

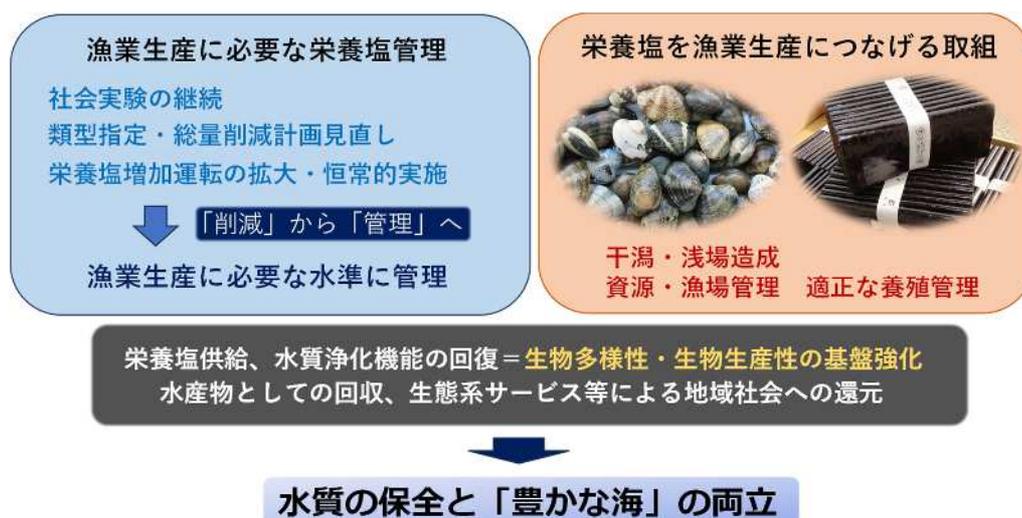


図5-1 水質の保全と「豊かな海」の実現に向けたインプットとアウトカム

検討会議の結果と既存の計画等による方針等との整合を以下に整理した（表5-1）。

- ① 環境省が2013年3月にとりまとめた海域の「物質循環健全化計画検討：三河湾ヘルシープラン」においても、今後必要性を含めて検討すべき新たな対策として、“活発な食物連鎖を起こすための基盤強化のための対策として適切な栄養の保持”が示されている。
- ② 学識経験者、NPO、漁業・流通・観光・レジャー関係者で構成する「三河湾環境再生プロジェクト推進委員会」が、2014年3月に策定した「三河湾環境再生プロジェクト行動計画」では、取組の方向を「生きものが豊かで、多くの人々が訪れる、きれいな海を再生し、将来においても産業と環境が両立する『“サスティナ・ベイ”三河湾』を創出

し、次の世代に贈る。」としている。

- ③ さらに、国土交通省中部地方整備局を事務局とした伊勢湾再生推進会議は、2022年4月に見直した「伊勢湾再生行動計画（第二期）」の中間報告において“伊勢湾シミュレーターを用いた伊勢湾内の栄養塩等のケース別検討においても生物の応答性の確認、栄養塩管理の有効性が確認できた”としている。
- ④ 愛知県が策定している計画でも、2021年2月に策定された「第5次愛知県環境基本計画」において、安全・安心の確保に係る重点施策として“海域の生物多様性や水産資源の生産性を考慮した水質改善”を位置付けている。
- ⑤ また、2020年12月に策定された「食と緑の基本計画 2025～食と緑が支える豊かな「あいち」をめざして～」において、豊かな海の再生に向けた漁業生産力強化プロジェクトとして“栄養塩量の確保”を位置付けている。
- ⑥ 2024年5月に閣議決定された「第六次環境基本計画」においては、“東京湾・伊勢湾・瀬戸内海に適用されている水質総量削減制度については、よりきめ細かな海域の状況に応じた水環境管理の在り方について、制度の見直し等も含め検討を進めていく”、また“省エネ効果もある下水処理場の能動的運転管理等により、「きれいで豊かな海」に向けた適切な栄養塩管理などを進める”としている。

表5—1 内湾環境改善に係る各計画等における方針等(本とりまとめ関係部分)

計画等名称	年	策定者	方針又は内容
①物質循環健全化計画検討(三河湾ヘルシープラン)	2013	環境省	活発な食物連鎖のための適切な栄養の保持
②三河湾環境再生プロジェクト行動計画	2014	三河湾環境再生プロジェクト推進委員会	生きものが豊かで、多くの人々が訪れる、きれいな海を再生し、将来においても産業と環境が両立する『“サステナ・ベイ”三河湾』を創出し、次の世代に贈る。
③伊勢湾再生行動計画(第二期)中間報告	2022	伊勢湾再生推進会議	伊勢湾再生における栄養塩管理の有効性を確認
④第5次愛知県環境基本計画	2021	愛知県環境局	海域の生物多様性や水産資源の生産性を考慮した水質改善
⑤食と緑の基本計画 2025	2020	愛知県農業水産局	豊かな海の再生に向けた漁業生産力強化プロジェクトとして“ <u>栄養塩量の確保</u> ”
⑥第六次環境基本計画	2024	環境省	水質総量削減制度については、よりきめ細かな海域の状況に応じた水環境管理の在り方について、制度の見直し等も含め検討を進めていく。

これらの計画等は、検討会議で議論された結果と合致しており、本とりまとめに基づき、これまでの社会実験から社会実装として取り組まれることが重要である。

一方で、漁業生産に必要な栄養塩濃度は整理できたが、引き続き水産資源や内湾環境について調査研究を継続し、更なる知見の蓄積を図るとともに、今後の栄養塩増加運転を進める中で海域の栄養塩濃度の変化をモニタリングしながら、順応的に海域の栄養塩を管理していく必要がある。

検討会議では主に漁業生産という観点から議論がなされたが、表5-1に示した計画の多くは「漁業生産」のみが目的ではなく、「生物多様性」や「生物生産性」などの観点において栄養塩管理の重要性を示している。栄養塩管理は内湾の持つ本来の生態系や物質循環を備えた豊かな海の実現には不可欠であり、利害関係者は漁業者だけでなく、地元の海産物を扱う流通や小売事業者、旬の味覚や釣り・潮干狩りなどを楽しむ一般県民である。関係者の合意と連携を図りながら、水質の保全と「豊かな海」に向けた栄養塩管理を着実に進めていく必要がある。

第6 参考文献

- 1) 青山裕晃・蒲原 聡 (2022) 伊勢・三河湾の年代別栄養物質濃度の水平分布について. 愛知水試研報, 27, 37-40.
- 2) 愛知県水産試験場 (2004) ノリ養殖テキスト (第3改訂版). 82pp.
- 3) 蒲原 聡 (2023) アサリ湧く豊かな伊勢湾・三河湾に. 愛知水試研報, 28, 47-60.
- 4) 松川康夫・張成年・片山知史・神尾光一郎 (2008) 我が国のアサリ漁獲量激減の要因について. 日本水産学会誌, 74, 37-143.
- 5) 鳥羽光晴 (2017) アサリ資源の減少に関する議論への再訪. 日本水産学会誌, 83, 914-941.
- 6) 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 (2021) 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. 愛知水試研報, 26, 1-16.
- 7) 曾根亮太・和久光靖・石田俊朗・宮脇大・山田智 (2019) 六条潟におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* の秋季減耗要因について. 水産海洋研究, 83, 252-259.
- 8) 日比野学・松村貴晴・服部宏勇・長谷川拓也・阿知波英明・石樋由香・三輪正毅 (2021) 三河湾におけるアサリの漁場造成手段としての砕石覆砂の効果と環境要因との関連. 愛知水試研報, 26, 17-30.
- 9) 蒲原 聡・芝 修一・鶴島大樹・鈴木輝明 (2021) 三河湾のアサリ *Ruditapes philippinarum* の成育と全窒素・全リン濃度の経年変化との関連. 水産海洋研究, 85, 69-78.
- 10) 芝 修一・姫野天領・吉田 司・蒲原 聡・田中義人・鈴木輝明 (2020) 個体成長モデルを用いた伊勢湾東部沿岸域におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* 資源の減耗要因の検討. 水産海洋研究, 84, 11-26.
- 11) 慶野英生・杉山清泉・西沢 正・鈴木輝明 (2006) 重回帰モデルによるアサリ活力に与える冬季の高水温化の影響解析. 日本水産工学会誌, 12, 23-29.
- 12) 水産用水基準第8版 (2018) 公益社団法人日本水産資源保護協会発行, 東京, 119pp.
- 13) 柘植朝太郎・二ノ方圭介・河住大雅・大澤 博・石田俊朗 (2024) 三河湾における窒素・リン濃度および相互比の長期的変化とアサリ, ノリ漁業との関係. 愛知水試研報, 29, 30-46.
- 14) Uchida M, Ishihi Y, Watanabe S, Tsujino M, Tezuka N, Takada Y, Niwa K (2023) Trophic state-dependent distribution of asari clam *Ruditapes philippinarum* in Japanese coastal waters: possible utilization of asari stable isotope ratios as a production indicator. *Fisheries Science*, 89, 203-214.
- 15) 日比野学・進藤 蒼・曾根亮太・柘植朝太郎・平井 玲 (2025) 三河湾におけるアサリ漁業が成り立つために必要な栄養塩類と餌料の濃度水準の検討. 水産海洋研究, 89, 1-13.
- 16) 日比野学・進藤 蒼・村田将之・平井 玲・鈴木勝海・濱崎真美・市川哲也 (2024) 三

- 河湾一色干潟におけるアサリ資源状況と資源管理. 黒潮の資源海洋研究, 25, 147-158.
- 17) 進藤 蒼・村田将之・服部宏勇・日比野学 (2024) 三河湾一色干潟におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* の成長や肥満度に及ぼす密度依存的な影響. 愛知水試研報, 29, 1-14.
 - 18) 村田将之・日比野学・長谷川拓也・宮川泰輝・松村貴晴・岡本俊治・黒田伸郎 (2023) 三河湾におけるアサリ資源の減少に伴う浮遊幼生の出現状況の変化. 愛知水試研報, 28, 20-31.
 - 19) 山本民次 (2014) 瀬戸内海西部海域における貧栄養化. 沿岸海洋研究, 52, 49-58.
 - 20) 日比野学 (2023) 三河湾一色干潟におけるアサリの資源変動要因. 黒潮の資源海洋研究, 24, 115-120.
 - 21) 山田浩且 (2011) 伊勢湾におけるイカナゴの新規加入量決定機構に関する研究. 三重水研報, 19, 1-77.
 - 22) 橋口晴穂 (2024) 伊勢湾・三河湾の漁業と貧栄養化問題の総括—いかなご船びき網漁業—. 名城大学・中部電力産学連携活動資料, p. 11-17.
 - 23) 山田浩且・久野正博 (1999) 夏眠期における伊勢湾産イカナゴのへい死条件. 三重水研報, 8, 1-5.
 - 24) 赤井紀子・内海範子 (2012) 瀬戸内海産イカナゴの死亡と再生産における高水温飼育の影響. 日本水産学会誌, 78, 399-404.
 - 25) 曾根亮太・日比野学・下村友季・鶴寄直文・横内一樹 (2022a) 伊勢・三河湾におけるマアナゴの資源動態と肥満度, 胃内容物組成及び餌料環境の変化. 愛知水試研報, 27, 10-21.
 - 26) 曾根亮太・日比野学・下村友季・鶴寄直文・横内一樹 (2022b) 伊勢・三河湾におけるシャコの資源動態と肥満度の変化及び加入・生残過程. 愛知水試研報, 27, 22-30.
 - 27) 鈴木輝明・武田和也・本田是人・石田基雄 (2003) 三河湾における環境修復事業の現状と課題. 海洋と生物, 146, 187-199.
 - 28) 伊勢湾における下水処理場での栄養塩の管理運転の有効性に関する試算 (2019) 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 75, I_1021-I_1026.
 - 29) 山本祐也・中田喜三郎・鈴木輝明 (2008) 三河湾における貧酸素水塊形成過程に関する研究. 海洋理工学会誌, 14, 1-14.
 - 30) 本田是人・戸田有泉・二ノ方圭介・中嶋康生・鈴木輝明 (2015) 三河湾における水質環境と貧酸素水塊の変動. 水産海洋研究, 79, 19-30.
 - 31) Suzuki T, Ishii K, Imao K, Matsukawa Y (1987) Box model analysis on phytoplankton production and grazing pressure in a eutrophic estuary. J. Oceanogr. Soc. Japan, 43, 261-275.
 - 32) 中嶋康生・山田 智・戸田有泉・二ノ方圭介 (2014) 2006 年以降の三河湾における赤潮発生状況の急激な変化. 愛知水試研報, 19, 10-15.

〈卷末資料〉 愛知県栄養塩管理検討会議構成員名簿

区分	氏名	職名	備考	委嘱回
委員 (座長)	中田 喜三郎	名城大学大学院総合研究科 特任教授	学識経験者	第1回～第5回
委員	鈴木 輝明	名城大学大学院総合研究科 特任教授	学識経験者	第1回～第5回
委員	井上 隆信	豊橋技術科学大学大学院工学研究科 教授	学識経験者	第1回～第5回
委員	岡辺 拓巳	三重大学大学院生物資源学研究所 准教授	学識経験者	第1回～第5回
委員	黒田 勝春	愛知県漁業協同組合連合会 副会長理事	関係団体	第1回～第5回
委員	大橋 博信	愛知県環境局環境政策部 水大気環境課長	県	第1回～第3回
	横井 歩			第4回、第5回
委員	岡本 俊治	愛知県農業水産局 水産課長	県	第1回
	柴田 晋作			第2回～第5回
委員	蒲原 聡	愛知県水産試験場長	県	第1回
	岡田 元			第2回～第5回
委員	榎本 訓康	愛知県建設局下水道課長 (期中改組により上下水道課長)	県	第1回
	藤村 尚治			第2回～第5回
委員	名倉 健一	愛知県豊橋市環境部 環境保全課長	市町	第1回
	村田 理行			第2回～第5回
委員	杉山 直樹	愛知県西尾市産業部 農水振興課長	市町	第1回～第3回
	小笠原 敬			第4回、第5回
委員	山田 正勝	愛知県田原市産業振興部農政課長 (期中改組により農林水産部農政課長)	市町	第1回～第5回
委員	奥川 広康	愛知県南知多町建設経済部 産業振興課長	市町	第1回～第5回
特別委員	速水 香奈	環境省水・大気環境局水環境課 閉鎖性海域対策室室長補佐	国	第1回、第2回
	森川 政人			第3回～第5回
特別委員	亀井 雄	環境省水・大気環境局環境管理課 課長補佐	国	第2回～第5回
特別委員	鈴木 兵衛	水産庁増殖推進部漁場資源課 課長補佐	国	第1回、第2回
	贅田 翔			第3回～第5回
特別委員	大原 和明	国土交通省中部地方整備局建政部 都市整備課課長補佐	国	第1回～第3回
	高橋 由典			第4回、第5回