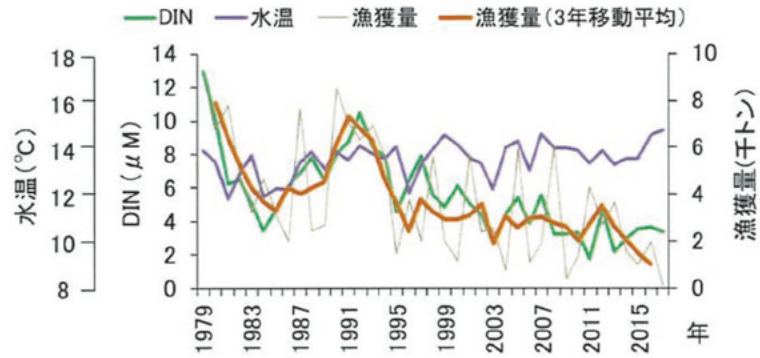
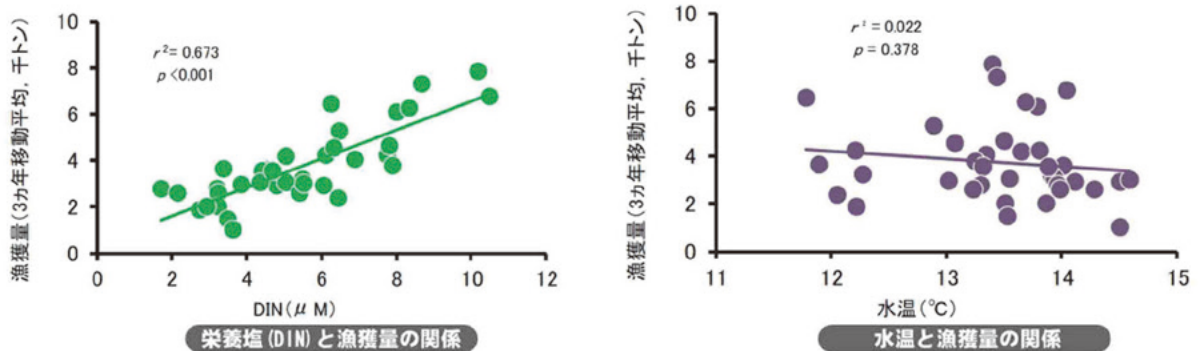




(出典) アクアネット 2020 年 10 月号 p.43-49

図 1 播磨灘の“しんこ”漁獲量（主要漁協）と DIN，水温の推移
(DIN・水温： 播磨灘 15 観測点，11-3 月，表層・10m 層の平均値)



(出典) 豊かな瀬戸内海の再生を目指して（パンフレット）

図 2 播磨灘の“しんこ”漁獲量（主要漁協）と DIN，水温との相関関係

きれいすぎて…海産物の栄養が不足 「海の豊かさ」各地で模索

深瀬り | 鈴木理之 | 社会 | 環境・科学 |暮らし・学び・医療 | 読報 | 環境

毎日新聞 | 2021/6/2 17:27 (最終更新 6/2 21:22) | 有料記事 | English version | 2024文字



水質が改善し、透明度が増した瀬戸内海～広島県呉市で2020年1月5日、賀有典撮影

高度成長期に工場などからの排水が原因で富栄養化が進み、日本各地の海では漁業などに深刻な被害が出た。排水規制などで水質改善が進んだ結果、瀬戸内海をはじめ各地の海で、きれいになり過ぎたことが原因とされる悪影響が深刻化している。日本近海で一体何が起きているのか。【鈴木理之/科学環境部】

アサリの餌が減少「ほとんど死んでしまう」

「どれだけ稚貝を入れてもほとんど死んでしまうこともある」。西三河漁協（愛知県西尾市）の稲垣芳樹組合長はアサリの一大産地・三河湾の現状を嘆く。

三河湾産のアサリはぼつりとした身や強い甘みが特徴で、全国各地に出荷される。愛知県水産課によると、県内の収穫量は2013年には1万6063トンで全国の約7割を占めたが、17年には1635トンと最盛期の1割程度に激減した。

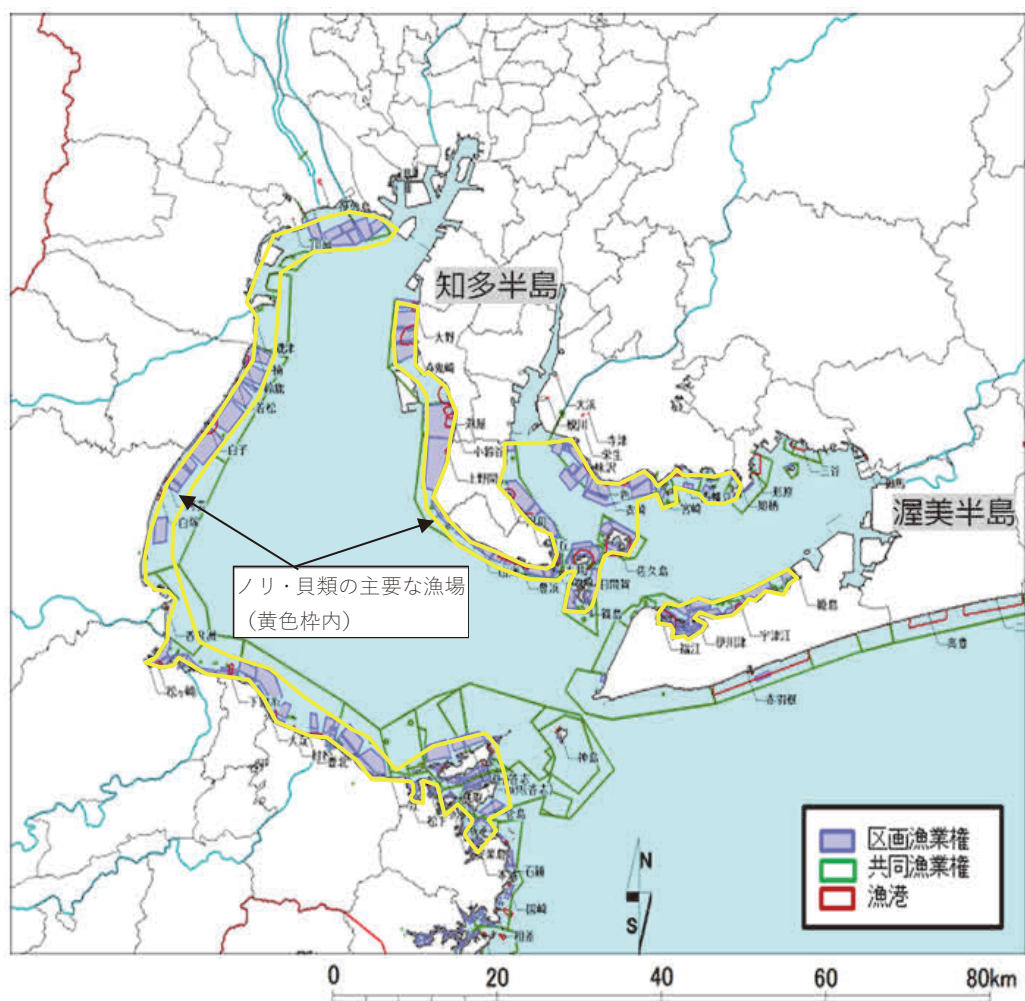
図 3 漁獲量減少と栄養塩類の関係に関する報道の例



図 4 漁獲量減少と栄養塩類の関係に関する報道の例



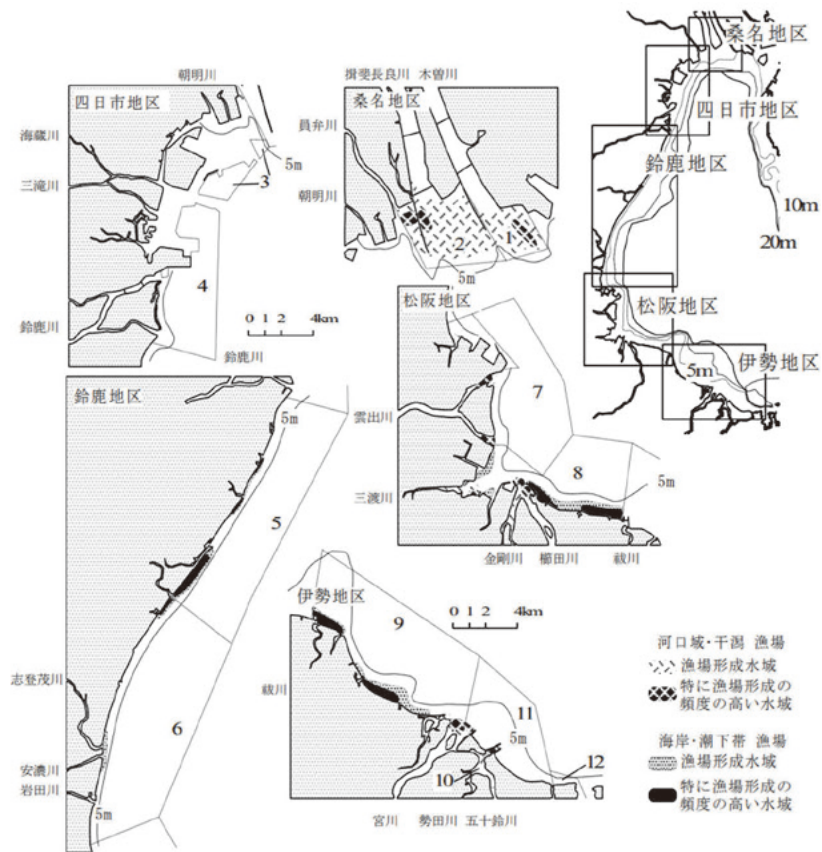
図 5 漁獲量減少と栄養塩類の関係に関する報道の例



- (出典)・伊勢湾環境データベース (<https://www.isewan-db.go.jp/IsewanKankyo/ik04.asp>)
- ・三重県アサリ資源管理マニュアル (2010) 三重県.
 - ・三重県環境審議会第2回水質部会 資料3.
 - ・栄養塩に関する三河湾の現状 (2022) 矢作川流域圏懇談会公開講座資料 より作成

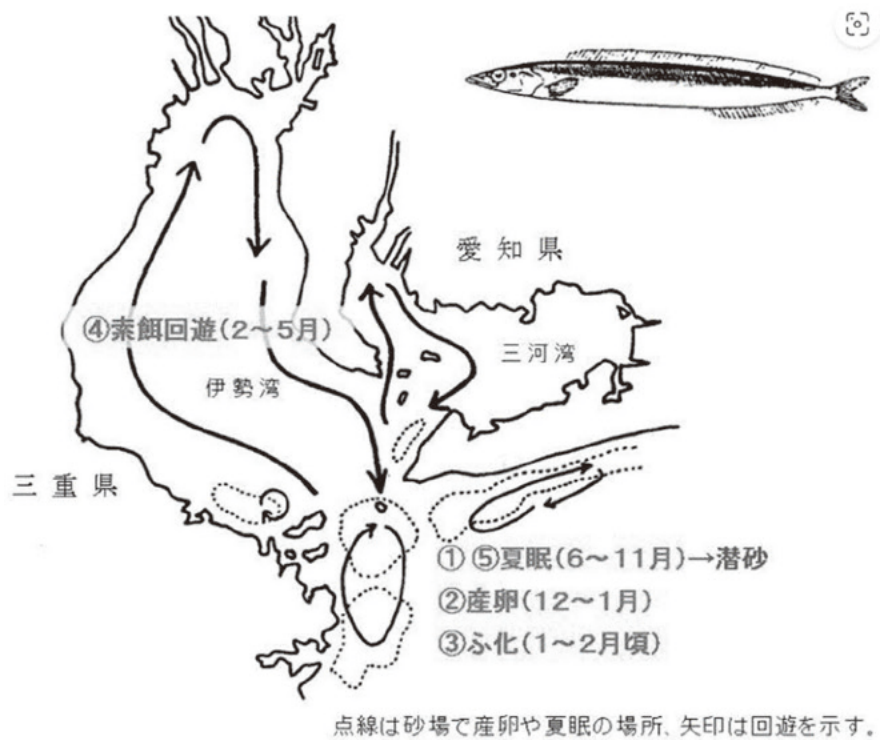
※2023年9月に漁業権区域の見直しが行われたが、図中には見直し前の区域を示した。

図6 伊勢湾・三河湾の漁業権区域とノリ・アサリの主要漁場



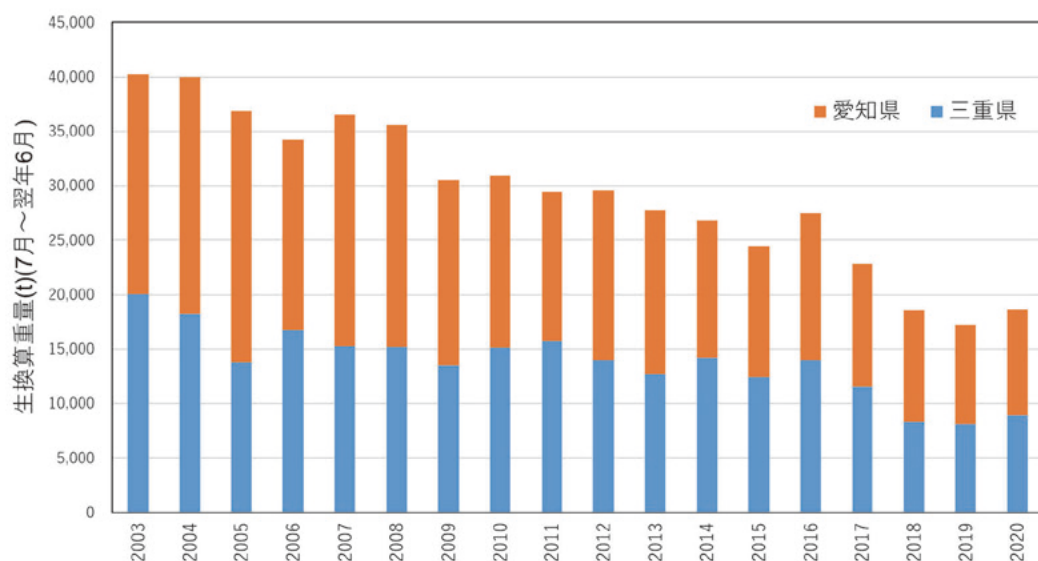
(出典) 三重県アサリ資源管理マニュアル (2010)

図 7 三重県のアサリ漁場



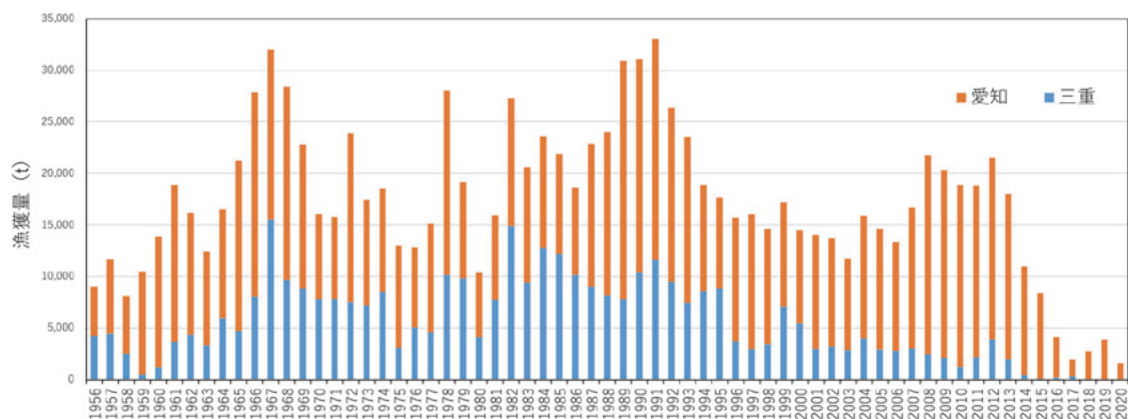
(出典) 伊勢・三河湾におけるイカナゴの資源管理 (2013)

図 8 イカナゴの成長に応じた分布・回遊経路



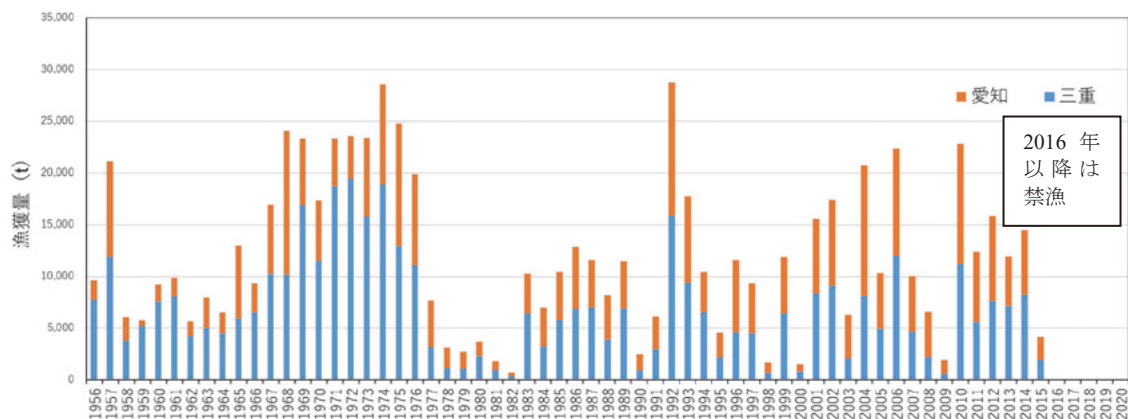
(出典) 海面漁業生産統計より作成

図 9 ノリの生産量の推移 (愛知県・三重県)



(出典) 第 69 次東海農林水産統計年報より作成

図 10 アサリの漁獲量の推移 (愛知県・三重県)



(出典) 第 69 次東海農林水産統計年報より作成

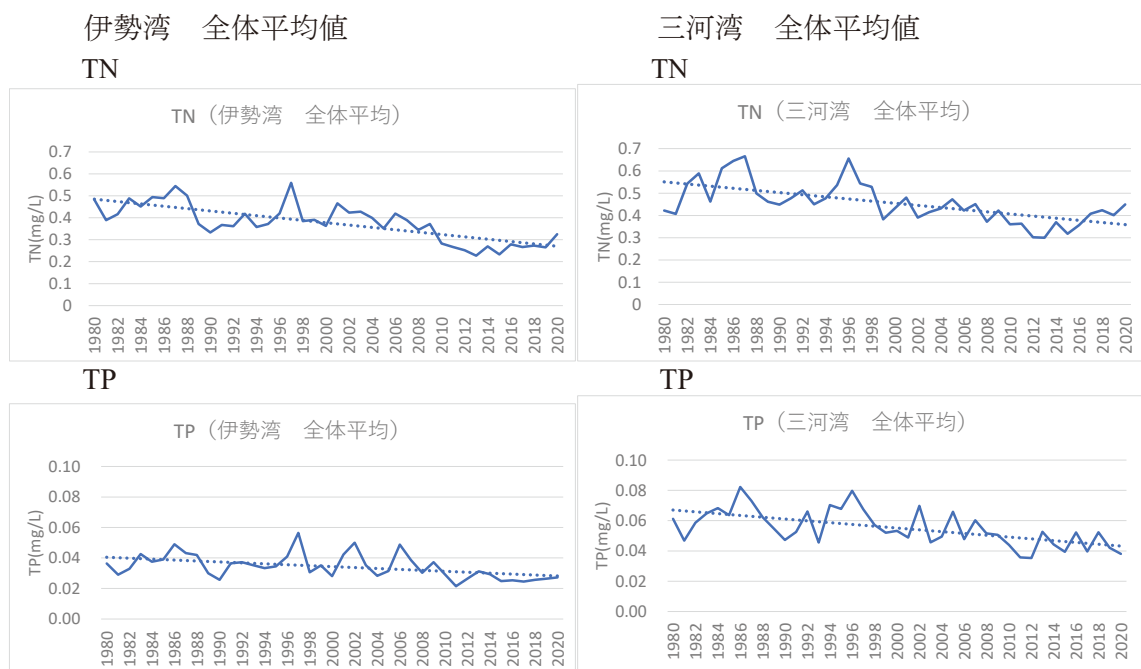
図 11 イカナゴの漁獲量の推移 (愛知県・三重県)

表 1 ノリの生育と栄養塩類濃度の関係

対象種	文献 No	影響内容	DIN	TN	DIP	TP	記載内容（記載箇所を抜粋）
ノリ							品質の良い海苔が生産できる栄養塩の濃度水準（PO4-P：10 μg/L，DIN：100 μg/L）と現地調査結果を比較した。
	18	品質の高いノリが生産できる海域の栄養塩濃度	100 μg/L (0.1mg/L)		10 μg/L (0.01mg/L)		近年では秋季において栄養塩の濃度が低く、漁期中盤の1月早々には品質の高い海苔が生産できる目安の栄養塩レベルを下回るようになっており、色落ちによる品質低下や生産期間の短縮が認められている。
							乾海苔の黒み度は、湾奥から湾口の漁場にかけて低下する傾向がみられ、黒み度と落札単価には正の相関があった。栄養塩類の減少は生産期間や生産者の収入に大きく影響を与えていた。
	26	クロノリの成育に十分なDIN濃度	0.1mg/L				DIN濃度は本曾三川の影響を受ける港北部では1980年代にはクロノリの成育に十分な濃度（0.1mg/L）を維持していた
	10	ノリの色落ちが確認される濃度	~3 μg-at/l (0.04mg/L)				ノリの場合にはDINが3 μg-at/L（3 μM、窒素の原子量14 を乗じて42 ガンマとも言う。）以下、ワカメの場合は2 μg-at/L 以下になって1週間後ぐらいに肉眼で色落ちが確認される
	13	ノリの色落ちが発生した濃度			0.5mM以下 (0.015mg/L)以下		色落ちしたノリは海水中のDIP濃度が0.5mM以下になると増加した
	31	ノリの色落ちが始まる濃度（東播漁場、東播・一の宮漁場）	3.0 μg-at/l（0.04mg/L、東播漁場、北淡・一の宮漁場）		0.20 μg-at/l (0.006mg/L、東播漁場) 0.30 μg-at/l (0.009mg/L、北淡・一の宮漁場)		東播漁場の15年間にわたる年度毎の旬平均水温、DIN、DIPから平均DIN濃度は3.0 μg-at/L以下、平均DIP濃度は0.20 μg-at/L以下の状況になれば、ノリの色落ち被害が広範囲に起こりやすくなる。北淡・一の宮漁場の15年間にわたる年度毎の旬平均水温、DIN、DIPから平均DIN濃度は3.0 μg-at/L以下、平均DIP濃度は0.30 μg-at/L以下の状況になれば、ノリの色落ち被害が広範囲に起こりやすくなる。ことが明らかになった。
	27	ノリの色落ちが発生する濃度	~3 μM（0.04mg/L、瀬戸内海） ~7 μM（0.1mg/L、有明海）				過去の栄養塩調査とノリ共販結果（製品の状況）等から経験的に無機三態窒素（DIN）濃度が、瀬戸内海では3 μM、有明海では7 μM（渡辺ら2004）で色落ちが始まると言われている、
	19	ノリの増殖制限濃度	7.8~26.2 μg-at/L (0.1~0.36mg/L)				これらの全海域で全期間において、ノリの増殖制限濃度（7.8~26.2 μg-at/L）を下回っていた
	11	養殖ノリが色落ちを始める濃度	3 μmol/dm ³ (0.04mg/L)				養殖ノリが色落ちを始めるDIN濃度は3m mol-dm-3（永田ほか、2001）と指摘されている
	28	色落ち被害が始まる濃度	3 μg-at/L（0.04mg/L）				2月における溶存対無機窒素の平均濃度からは、色落ち被害の始まる3 μg-at/Lを全域で下回っており
	6	ノリの限界濃度（DIN）必要な栄養塩下限値（DIP）	7 μmol/l (0.1mg/L)		0.50 μmol/l (0.015mg/L)		福岡県有明海では過去の養殖経過を踏まえノリの限界濃度を7 μmol/l、ノリが必要な栄養塩下限値0.50 μmol/l
	8	色落ちの目安			0.4mM以下 (0.012mg/L)以下		リン濃度0.4 μM以下が色落ちの目安になる
	43	ノリが色落ちしやすいDIN濃度	~7 μM（0.1mg/L）				DINでノリの色落ちの目安となる7 μMの濃度を示す。この線を上回ればノリの生育は順調であるが下回ると色落ちしやすい状態となり
	24	スサビノリの細胞委縮が見られたDIP濃度			0.4 μmol/l (0.012mg/L)		0.4 μmol/L 以下の状態が長く続くことはノリ葉状態にとって、厳しい環境であると考えられた。

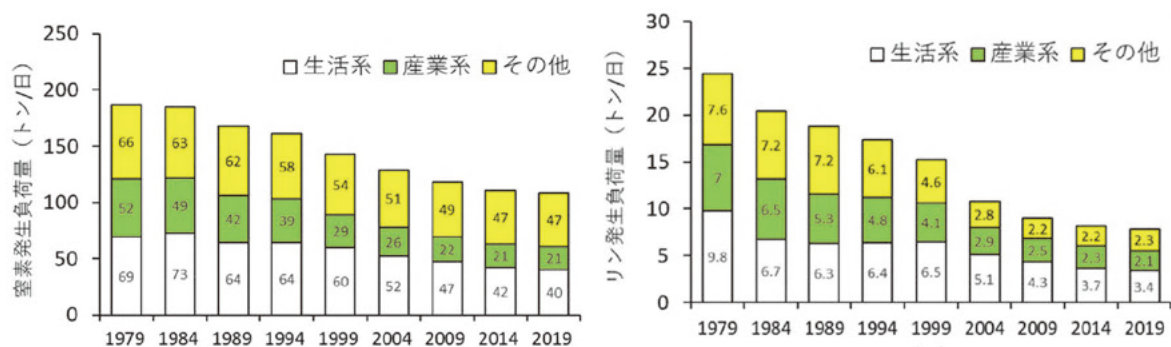
表 2 アサリの成長と栄養塩類濃度の関係

対象種	文献No.	影響内容	DIN	TN	DIP	TP	記載内容 (記載箇所を抜粋)
アサリ	16	アサリの減耗が起きやすい栄養塩濃度		300 µg/L (0.3mg/L)		41 µg/L (0.04mg/L)	下水道管理試験運転を実施した2018年度は、平均TP濃度が48 µg L-1と、アサリの減耗が起きやすいTP濃度の目安である41 µg L-1を上回っていた。秋冬季の河川渾濁時に、浄化センターが放流した栄養塩を元にアサリ稚貝の成長に必要なナノ・ピコプランクトンが発生して、稚貝の生残率が向上した。藤原ら(2020)によると、アサリに必要なTN = 300 µg L-1はTP = 41 µg L-1に相当する。
	17	アサリの成育に必要なTN・TP濃度		年間：391 µg/L (0.39 mg/L) 6～11月：399 µg/L (0.4 mg/L)		年間：46.3 µg/L (0.046mg/L) 6～11月：56.5 µg/L (0.056mg/L)	アサリ成長モデルによる解析から、アサリの成育には1998～2006年の餌料環境を満たす水質が必要とした。TP濃度は年平均で水産2種 (30<TP≤50 µg/L) ,6～11月平均で水産3種 (50<TP≤90 µg/L) ,TN濃度は年間を通して水産2種 (300<TP≤600 µg/L) となった。基準の見直しの検討が必要である。
	7	アサリが減耗するTN濃度		0.3mg/L			アサリの栄養状態を示す肥満度は、TN<0.3 mg L-1の海域では低く、気象擾乱等で減耗が起きやすい状態であった。 ※0.2mg/Lを下回ると一次生産量が大きく低下する。
	9	大分県の漁獲量が10,000トンを超えるための第IV海域の夏季のDIN濃度	3.18 µ mol/l (0.04mg/L)		0.246 µ mol/l (0.0076mg/L)		関係式 (DIN濃度=0.4634Ln (漁獲量) -1.0906) を用いて大分県の漁獲量が10,000トンを超えるための第IV海域の夏季のDIN濃度を求めると3.18 µ M/L以上、関係式 (PO4-P濃度=0.0428Ln (漁獲量) -0.1484) を用いて大分県の漁獲量が10,000トンを超えるための第IV海域の夏季のPO4-P濃度を求めると0.246 µ M/L以上
	40	アサリの漁獲量50-ton/(km^2*year)を達成するためのTN濃度		0.34mg/L			The trophic state indicators at asari production of 50 tons/(km2-year) were estimated to be 0.34 mg/l (T-N), 5.91 µ g/l (Chla), -17.4% (δ 15N) and 10.0% (δ 13C).



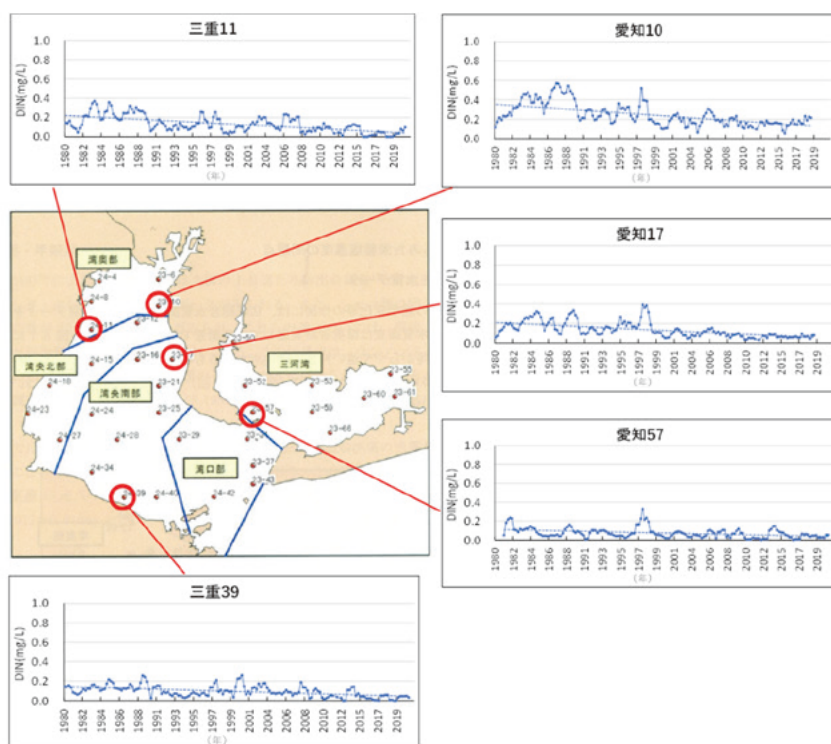
(出典) 広域総合水質調査結果より作成

図 12 伊勢湾・三河湾全体の全窒素，全リンの年間平均値（表層）



(出典) 第9次水質総量削減の在り方について（2019）環境省

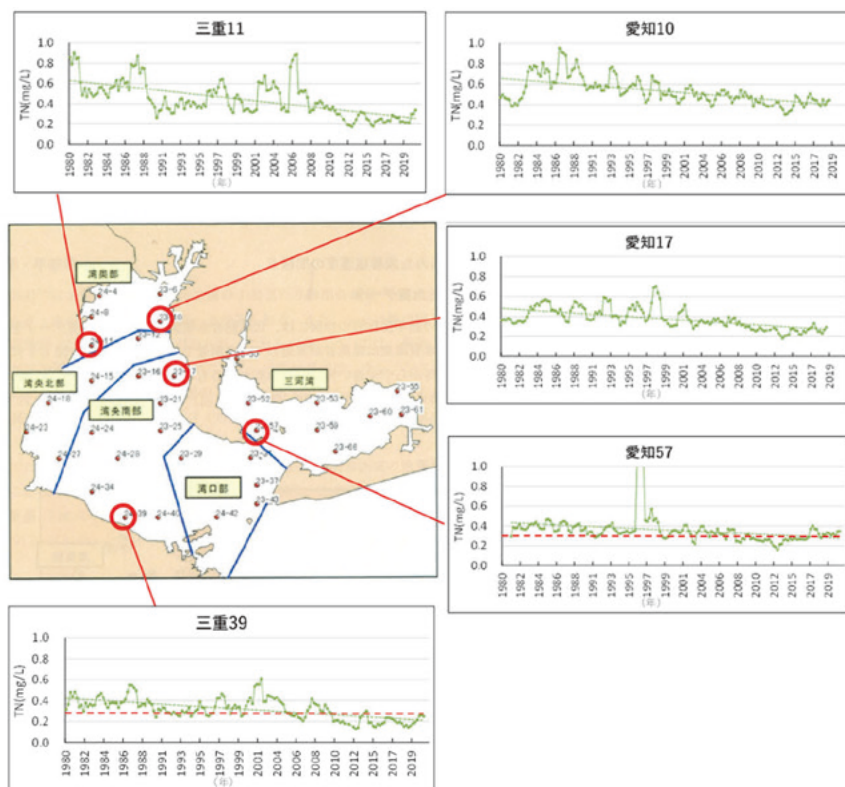
図 13 伊勢湾・三河湾の発生負荷量



(出典) 広域総合水質調査結果より作成

注) 図中の赤点線はノリの良好な生育に必要な濃度 (DIN=0.1mg/L)

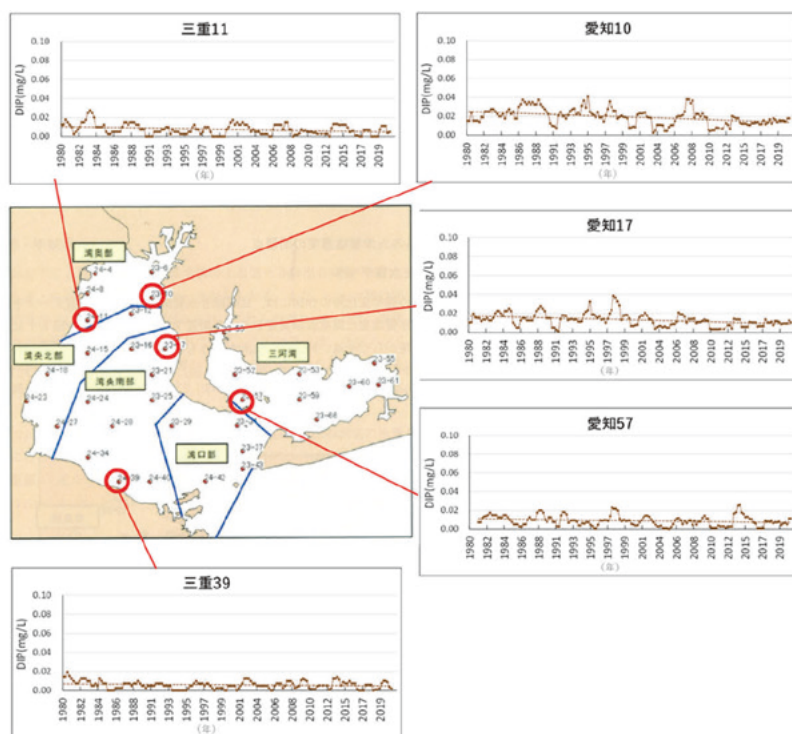
図 14 ノリ養殖, 採貝漁場近傍の DIN の推移



(出典) 広域総合水質調査結果より作成

注) 図中の赤点線はアサリの減耗が生じる濃度 (TN=0.3 mg/L)

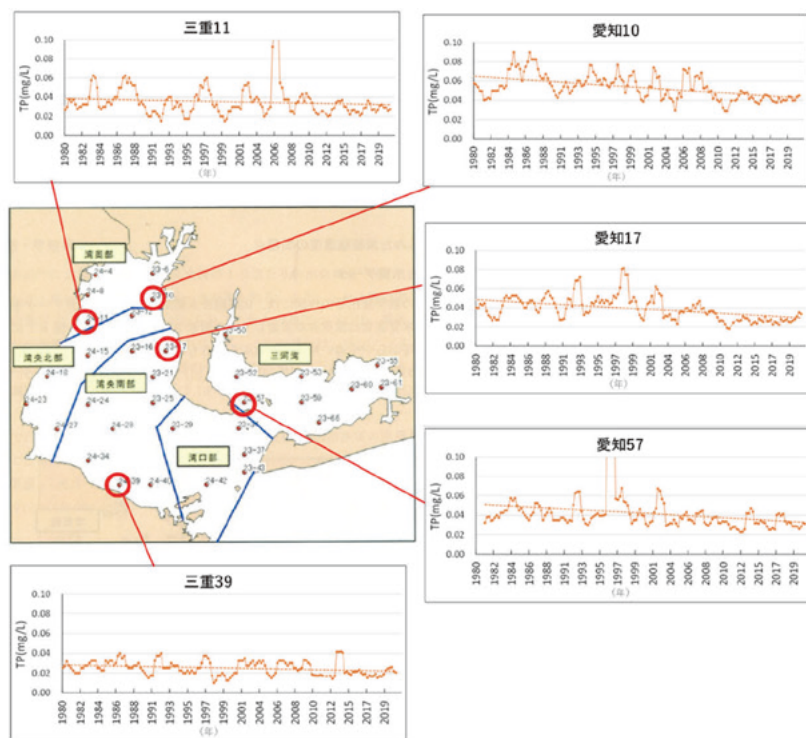
図 15 ノリ養殖, 採貝漁場近傍の TN の推移



(出典) 広域総合水質調査結果より作成

注) 図中の赤点線はアサリの減耗が生じる濃度 (DIP=0.01 mg/L)

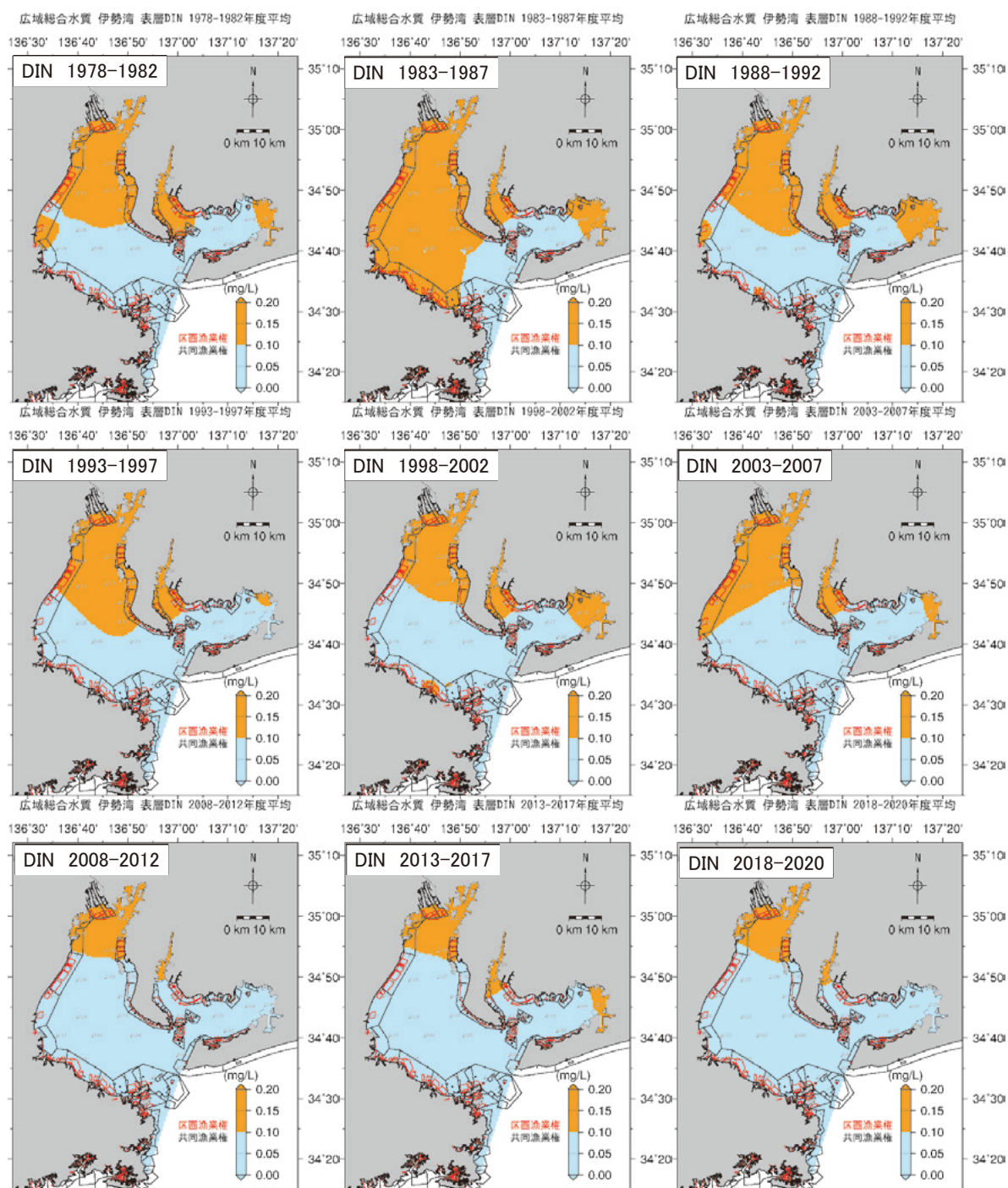
図 16 ノリ養殖，採貝漁場近傍の DIP の推移



(出典) 広域総合水質調査結果より作成

注) 図中の赤点線はアサリの減耗が生じる濃度 (TP=0.04 mg/L)

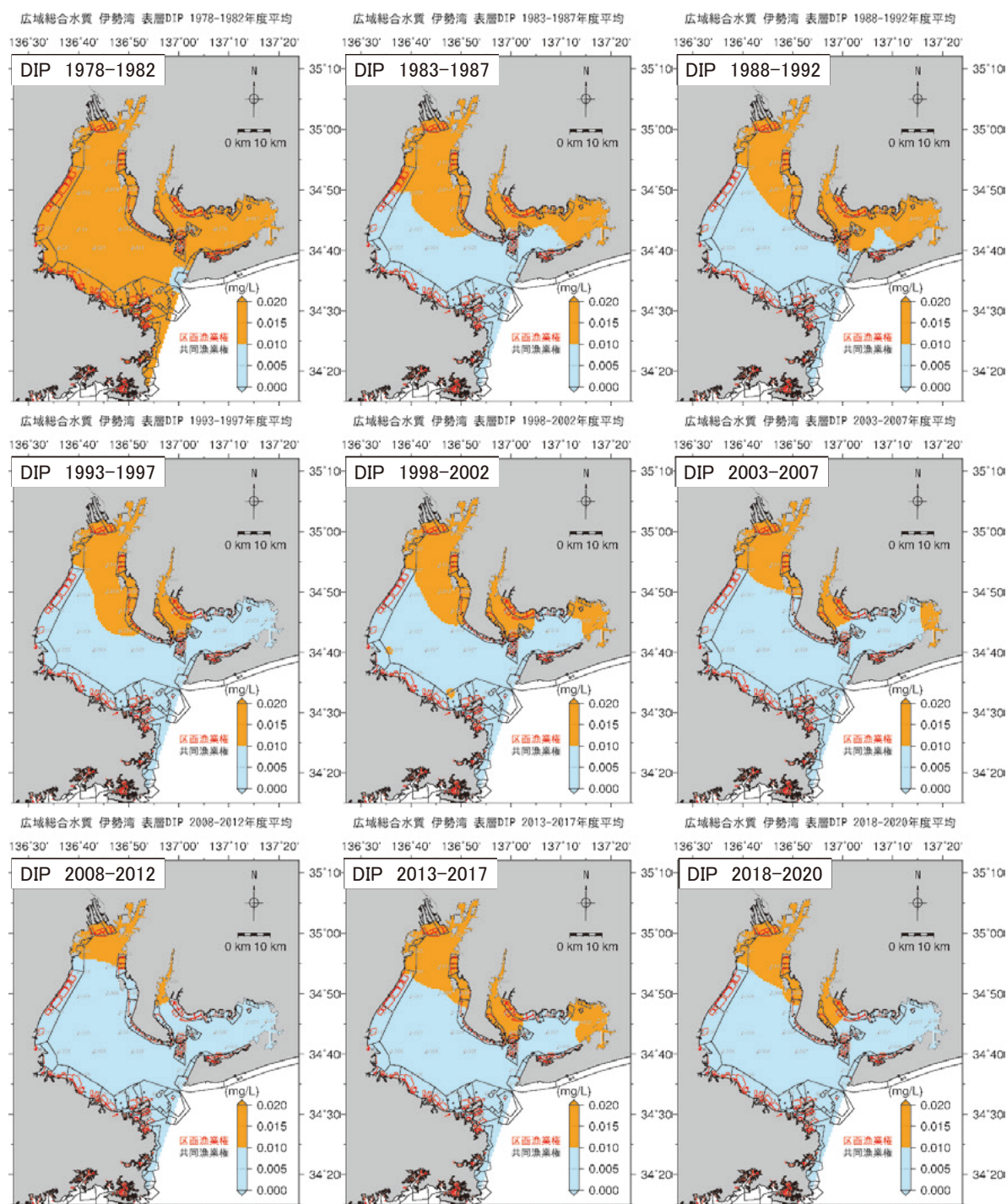
図 17 ノリ養殖，採貝漁場近傍の TP の推移



(出典) 広域総合水質調査結果より作成

※ノリの良い生育に必要な DIN 濃度=0.1mg/L で色分け。■ : 0.1mg/L 以上, ■ : 0.1mg/L 未満

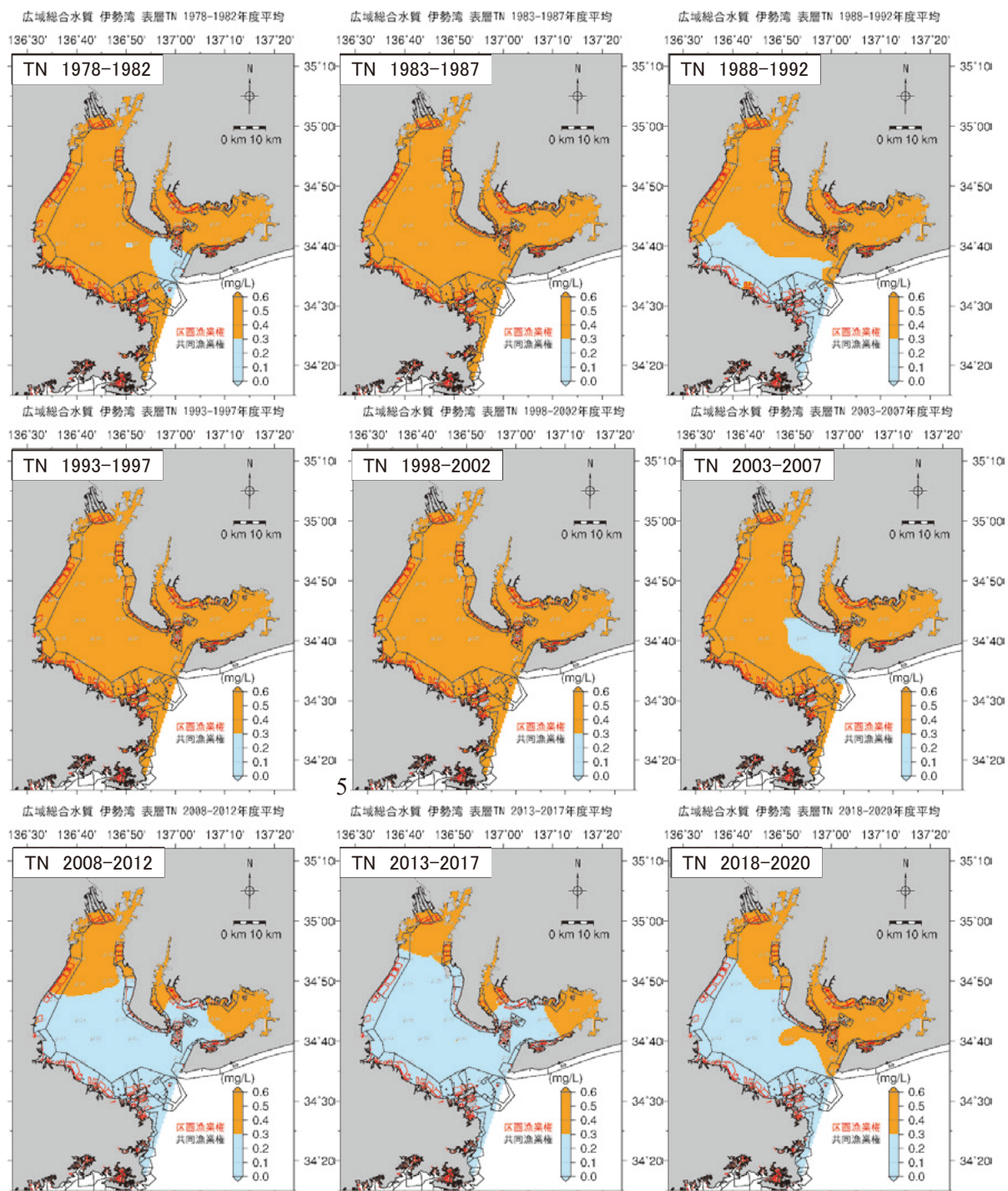
図 18 伊勢湾・三河湾の栄養塩類濃度の水平分布 (表層・DIN)



(出典) 広域総合水質調査結果より作成

※ノリ の良好な生育に必要な DIP 濃度=0.1mg/L で色分け。 ■ : 0.01mg/L 以上, ■ : 0.01mg/L 未満

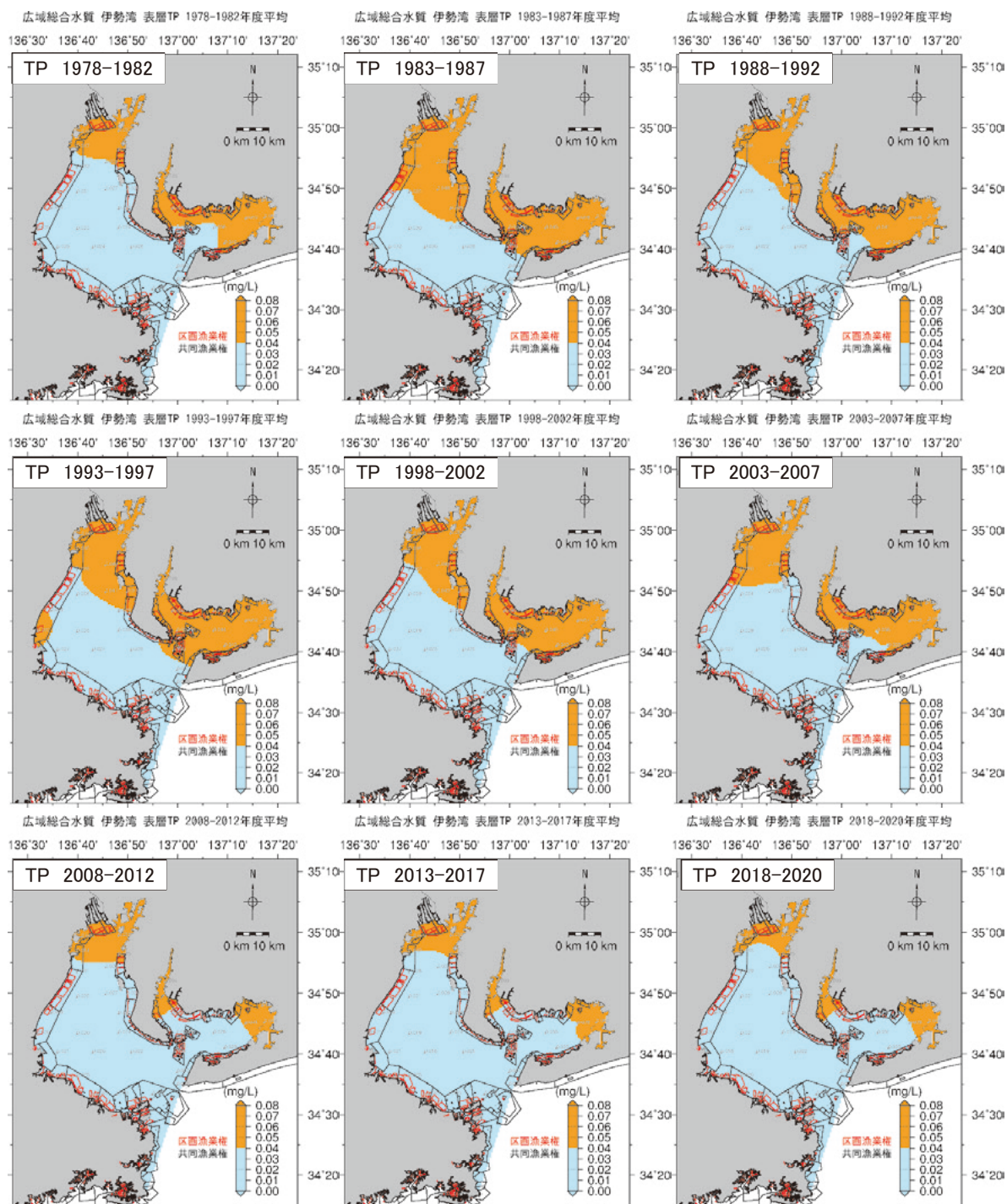
図 19 伊勢湾・三河湾の栄養塩類濃度の水平分布 (表層・DIP)



(出典) 広域総合水質調査結果より作成

※ノリの良好な生育に必要な TN 濃度=0.3mg/L で色分け。■ : 0.3mg/L 以上, ■ : 0.3mg/L 未満

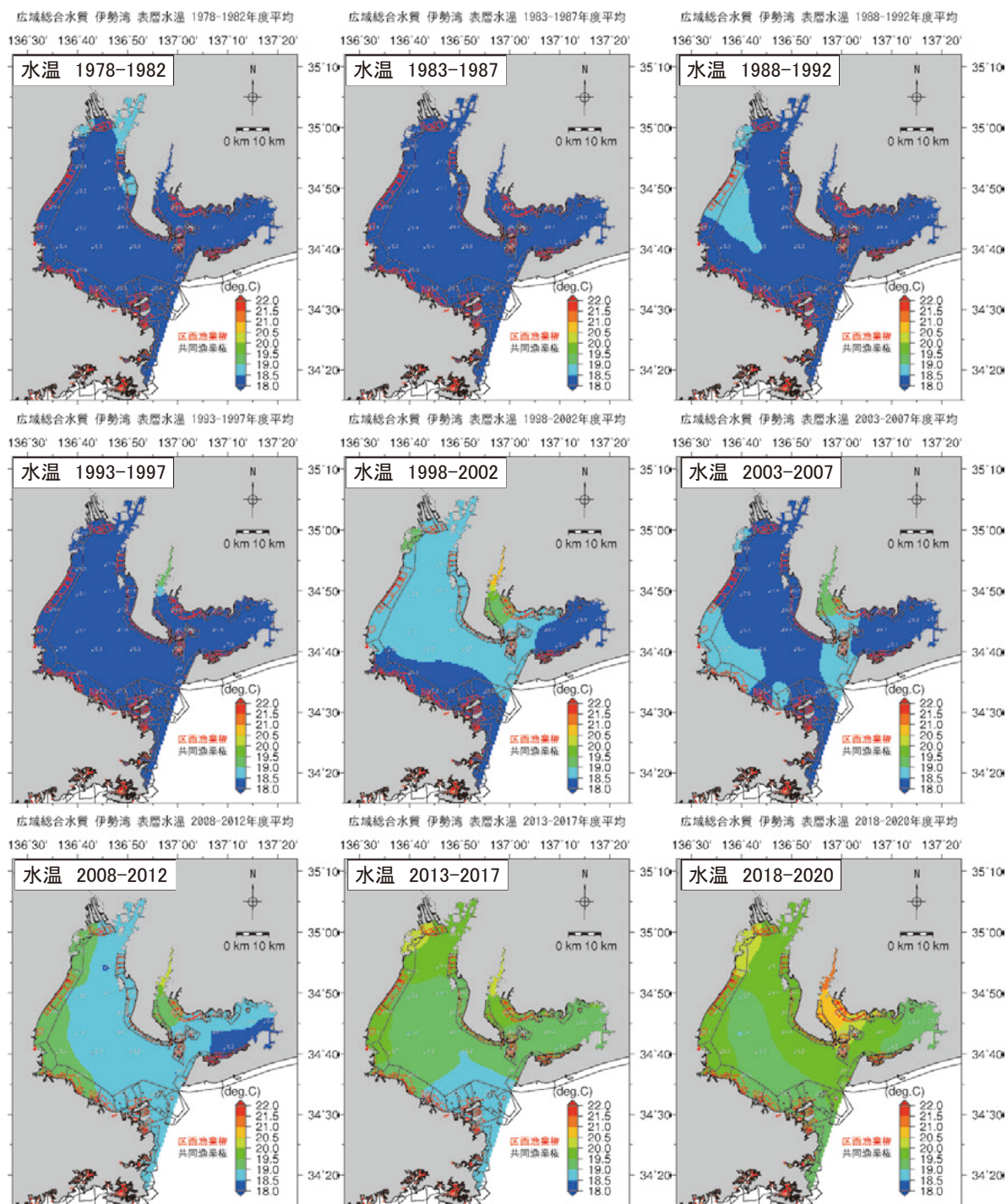
図 20 伊勢湾・三河湾の栄養塩類濃度の水平分布 (表層・TN)



(出典) 広域総合水質調査結果より作成

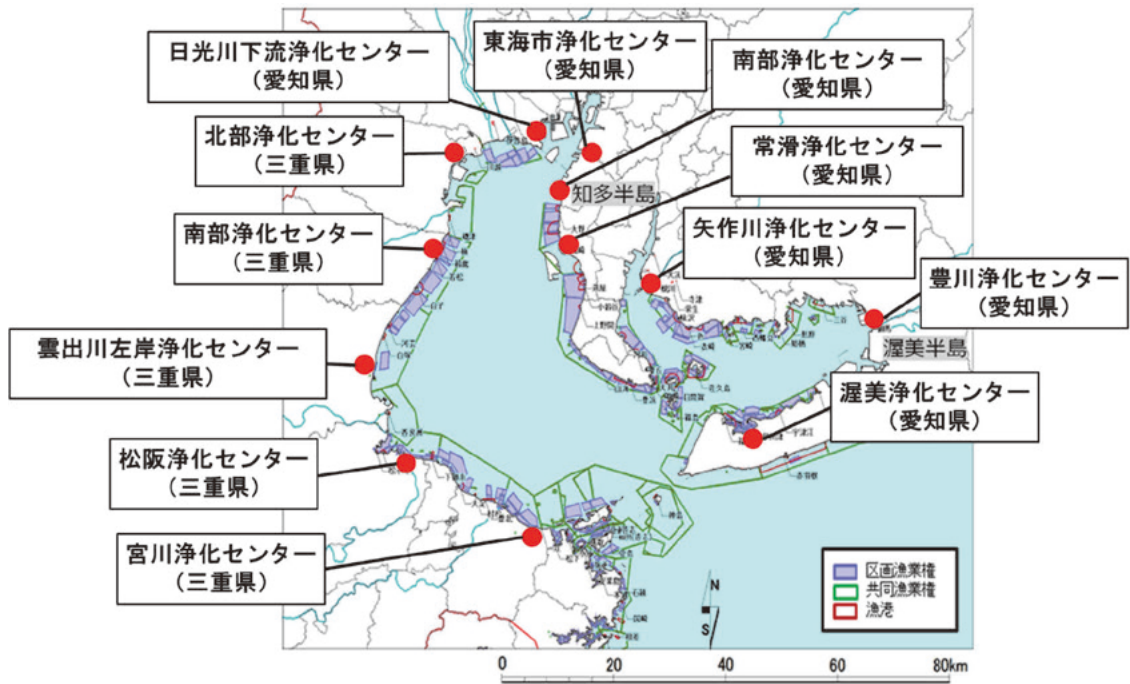
※ノリの良好な生育に必要な TP 濃度=0.04mg/L で色分け。■ : 0.04mg/L 以上, ■ : 0.04mg/L 未満

図 21 伊勢湾・三河湾の栄養塩類濃度の水平分布 (表層・TP)



(出典) 広域総合水質調査結果より作成

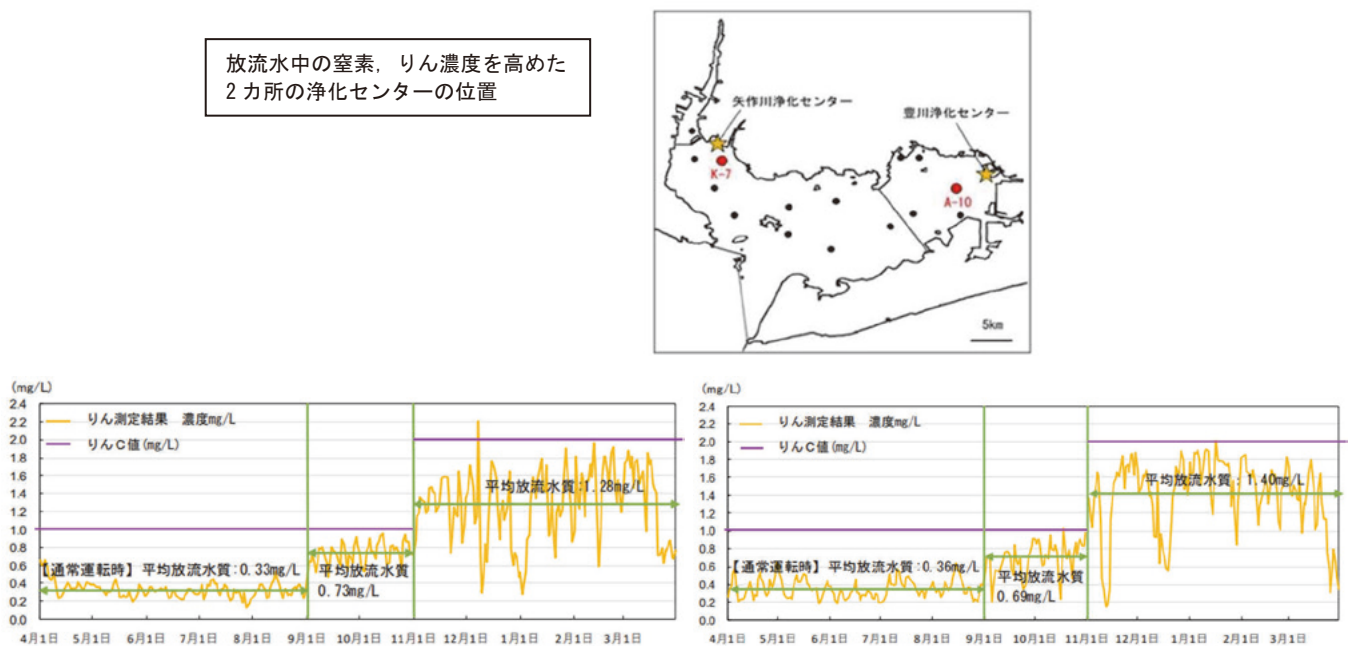
図 22 伊勢湾・三河湾の水温の水平分布（表層）



(出典) 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) (令和5年3月)

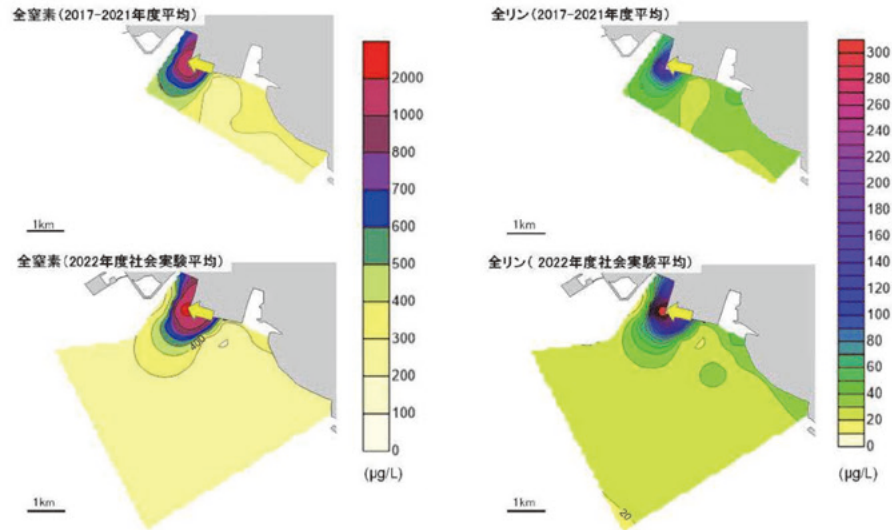
および愛知県水産試験場への聞き取りにより作成

図 23 能動的管理を導入している下水処理場 (令和6年1月時点)



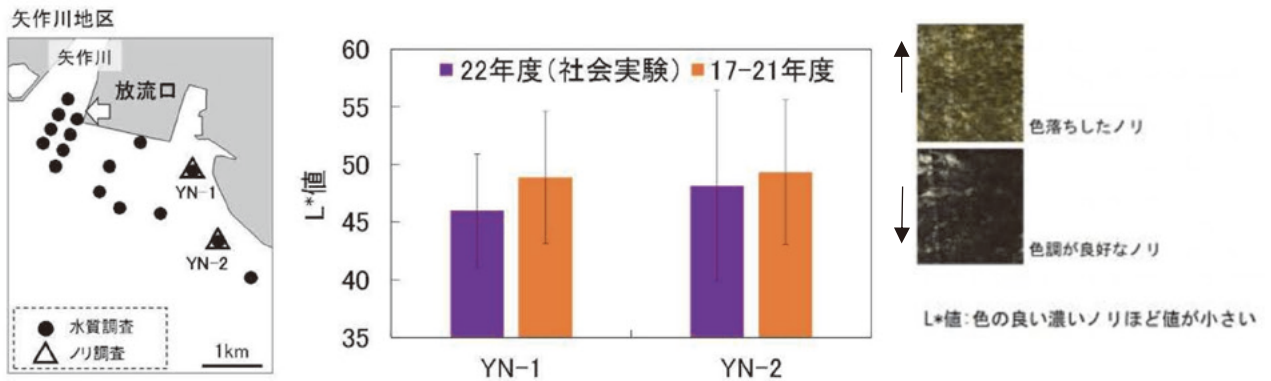
(出典) 第2回愛知県栄養塩管理検討会議 資料2

図 24 矢作川浄化センターおよび豊川浄化センターにおける放流水中のりん濃度
(2022年度の社会実験期間)



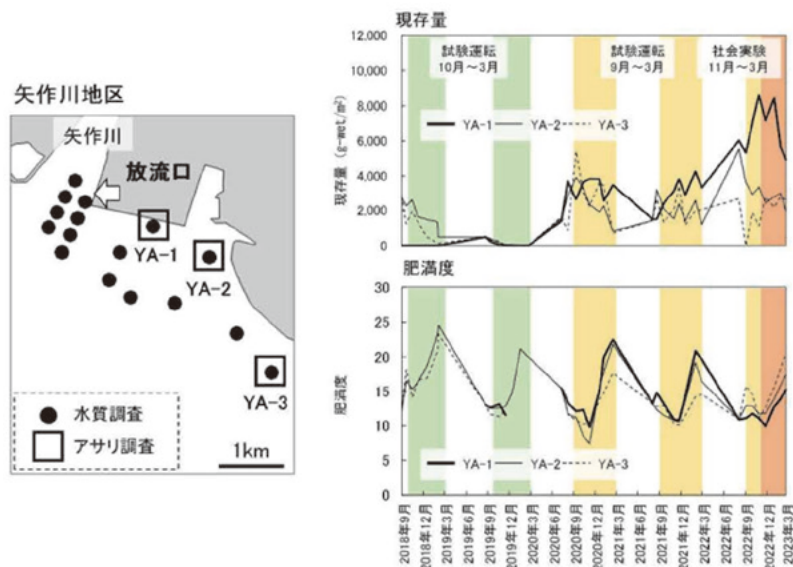
(出典) 第2回愛知県栄養塩管理検討会議 資料2より作成

図 25 矢作川の全窒素，全りん濃度分布（11～3月平均）



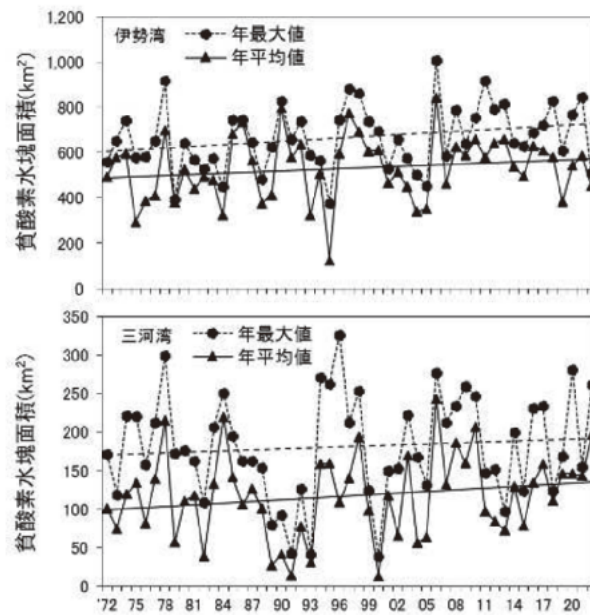
(出典) 第2回愛知県栄養塩管理検討会議 資料2より作成（エラーバーは標準偏差を示す）

図 26 矢作川におけるノリ葉体の平均 L* 値



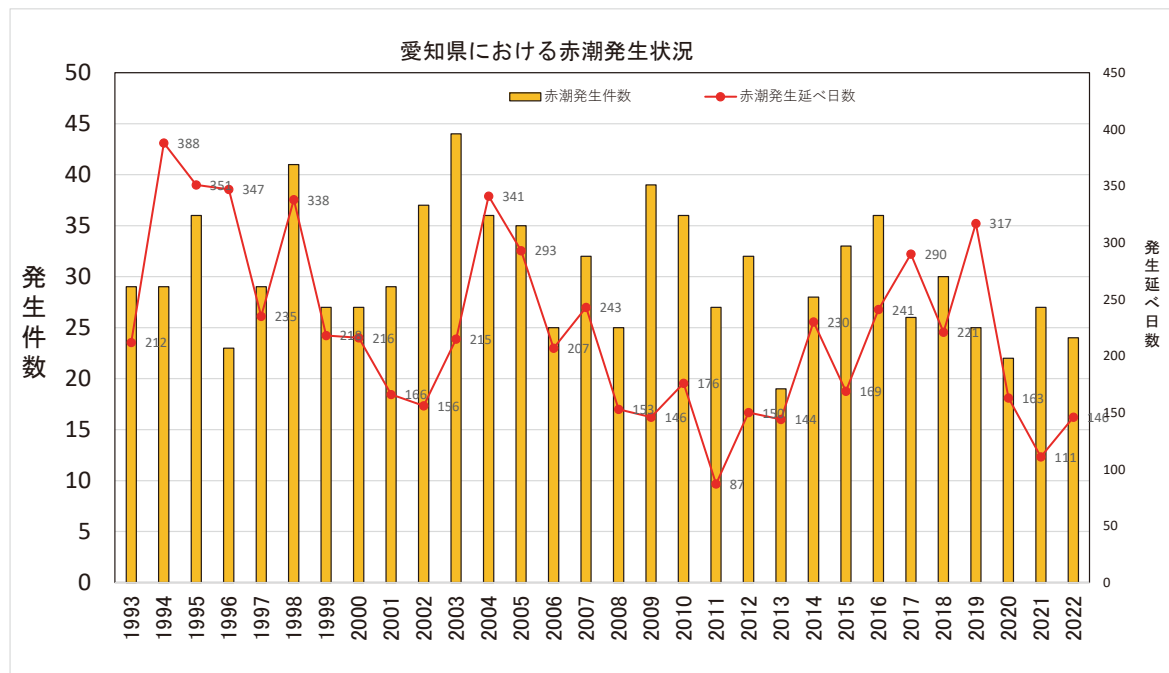
(出典) 第2回愛知県栄養塩管理検討会議 資料2

図 27 矢作川におけるアサリの現存量と肥満度の推移



(出典) 愛知県水産試験場研究報告 (2023) 28, 47-60

図 28 伊勢湾・三河湾の貧酸素水塊面積の推移



(出典) 令和4年および令和3年 伊勢湾・三河湾の赤潮・苦潮発生状況 (愛知水試研究実績) より作成

図 29 愛知県における赤潮発生状況の推移

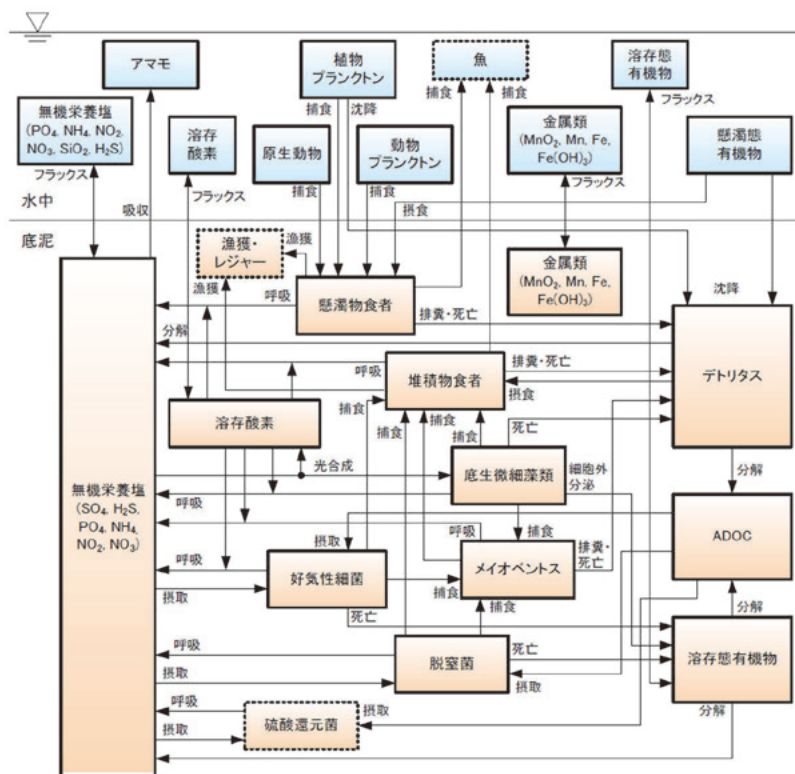
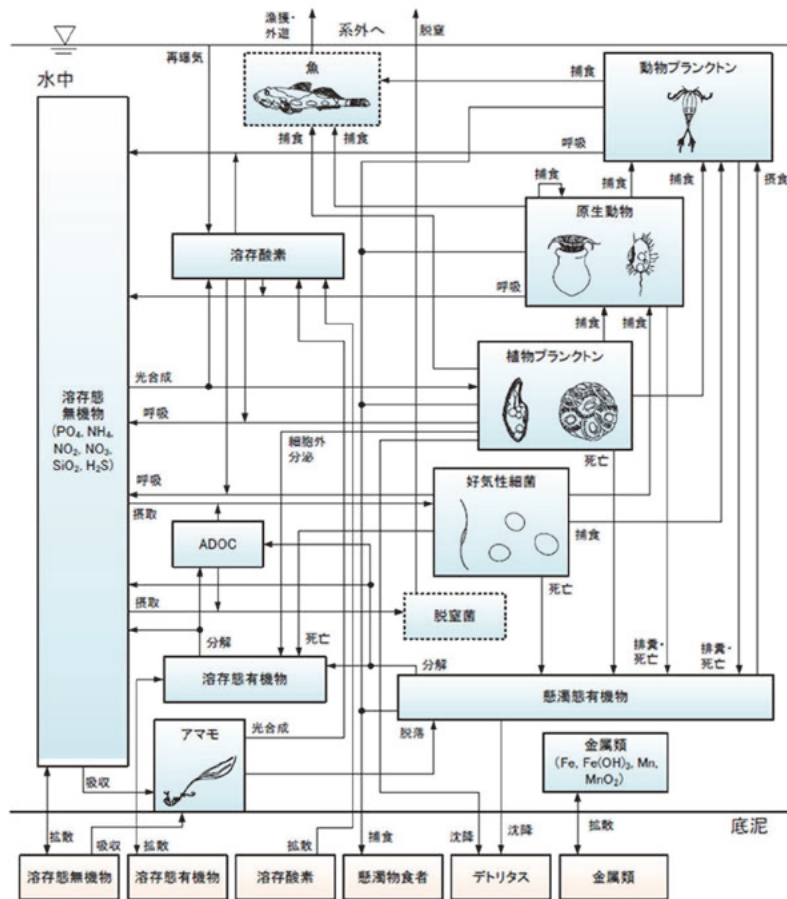


図 30 使用モデル (EcoPARI (旧伊勢湾シミュレーター))

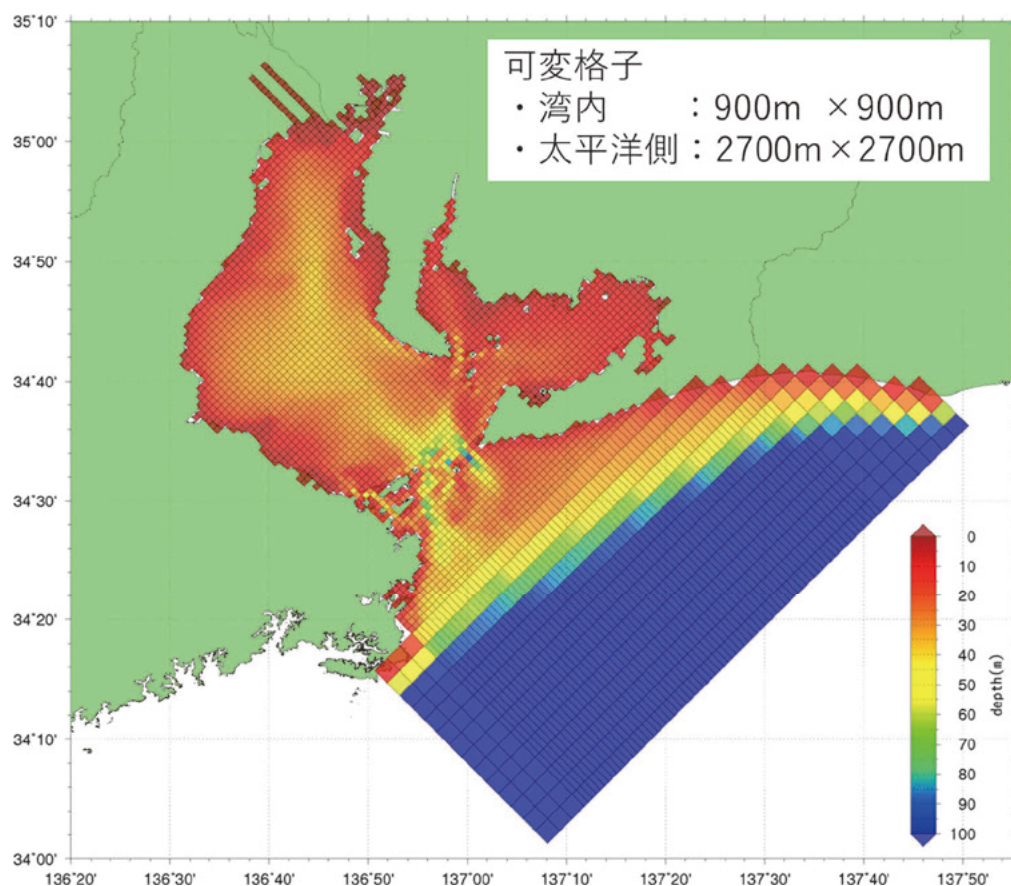


図 31 計算領域

表 3 モデルの入力条件

項目		内容
計算期間		2012年4月1日～2015年3月31日まで計算。
一級河川	流量	水文水質データベースの時間流量を使用。
	水温	水文水質データベースの河川水温データ（1か月毎）と最寄りの気温観測所との単回帰式を推定。 得られた回帰式から気温（1時間毎）を使って推定。
	負荷量	水文水質データベースの採水結果からLQ式を推定。
その他河川	流量	一級河川流量から流域面積比をかけて推定。
	水温	最寄りの一級河川と同様の水温を使用。
	負荷量	汚濁負荷量調査結果
開境界	潮位	鳥羽の予測潮位＋潮位偏差
	水温、塩分	渥美外海定点調査結果
	水質濃度	渥美外海定点調査結果
気象	風向、風速	MSM-GPV（10m高）
	気温	名古屋、蒲郡、南知多、大府、セントレア、豊橋、津、四日市、鳥羽、伊良湖、亀山、桑名、小俣
	その他	名古屋
湾内底質		海洋環境整備船：白龍での調査結果を加味した分布

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，朝田健斗，岡本裕太，棚田教生

【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試みた。

【方法】

（1）藻類養殖場における生産力低下の原因解明

ノリ・ワカメ養殖漁場周辺に設定した調査地点（計 32 地点）を図 1 に示した。調査は、2023 年 10 月から 2024 年 3 月までの原則火曜日に実施し、調査地点にて採水した表層水について、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、気象データとして気象庁気象統計情報(<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>)から、徳島市における降水量を解析に用いた。

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、藻体の最大裂葉の欠刻部から裂葉先端に向かって 10cm の間で 3 カ所測定した平均の値を用いた。

（2）栄養塩供給手法の開発

容器に硝酸アンモニウム溶液を充填し、半透膜を挟んで穴の開いたフタで閉じることで、肥料成分である $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{NH}_4\text{-N}$ 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。供試したのは、容積 2.5L のプラスチックバッグタイプ（以下，“プラバッグタイプ”という。）と容積 0.5L のドリンクボトル（株式会社ダイソー製，以下，“ボトルタイプ”という。）の 2 タイプ（図 3）で、中に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。液肥が溶出する半透膜部分（以下，溶出口という）はプラバッグタイプが直径 30mm，ボトルタイプは，15～40mm まで何種類か用意した。ボトルタイプの溶出口は，穴の空いたパッキンで塞ぐか，穴の空いた耐水紙を瞬間接着剤で半透膜に貼り付けることで大きさを調整した。

作製した各施肥具の溶出特性を調べるため，溶出試験を 4 回実施した。各溶出試験で供試

した施肥具の構造等を表 1 に示した。なお、溶出試験 3 で供試した“強化型”施肥具とは、ボトルにまず硝酸アンモニウム（和光新薬製試薬第 1 級）300 g を入れてそこに原液を充填したものである。溶出試験では供試する施肥具を収穫カゴ（信和社製：手提 6k）に入れ徳島県鳴門市の水産研究課鳴門庁舎の棧橋から地先水面（水深 0.5m 以浅）に吊るした。そして、2～4 日毎に施肥具を取り上げ、中の液肥の比重と水温を計測するとともに約 3ml を液肥サンプルとして冷凍保存した。液肥の比重は 200 ml のメスフラスコを用いて、電子天秤（株式会社エー・アンド・デイ製：EK-2000i）で溶液の重量を計測して求めた。なお、比重を計測した液肥は施肥具に戻して（ボトルタイプの場合は溶出口に半透膜をセットしなおして蓋を締めた後）再び棧橋の地先水面に吊るした。

採取した液肥サンプルの一部は 100 万倍に希釈して連続流れ分析装置（ビーエルテック社製：QuAAtro）で分析することにより含有する DIN 濃度を調べた。

試験開始後、施肥具からは DIN が溶出することにより施肥具内の液肥の濃度は次第に減少する。そこで、施肥具内に原液の何%の DIN が残ったかを示す成分残存率 RR を次式で計算した。

$$\text{RR (\%)} = \text{サンプル中の DIN 濃度} / \text{原液中の DIN 濃度} \times 100$$

まず、連続流れ分析装置で含有する DIN 濃度を分析したサンプルについて RR を求め、比重と RR の関係を調べた。そして、この両者の関係式を用いて流れ分析装置による分析を行っていないサンプルについて RR を推定した。また、RR が 1 日で何%減少したかを求め、各施肥具の一日あたりの DIN 溶出量を算出した。

【結果】

（1）藻類養殖場における生産力低下の原因解明

2023 年 10 月中旬から 2024 年 1 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 4）。また、図 5 に海域別の *C. wailesii* 及び *E. zodiacus* の出現状況を、図 6 に徳島市のアメダス観測点における日間降雨量を示した。

DIN 濃度は、播磨灘では調査期間中目立った低下は見られなかったが、紀伊水道では、11 月下旬から 12 月上旬と 1 月上旬に DIN が低下した（図 4）。塩分は、調査の後半にやや高くなる傾向が見られた。また、色落ち原因プランクトンである *C. wailesii* は 11 月中旬から 12 月上旬に急増し、*E. zodiacus* は 1 月下旬にやや個体数が増えた（図 5）。徳島市の降水量をみると、12 月以降まとまった降雨は見られなかった（図 6）。

色落ち原因プランクトンの動態や徳島市の降水量から、紀伊水道における DIN 濃度の低下原因は、11 月下旬～12 月上旬は *C. wailesii* の大量発生、1 月上旬は少雨による陸水からの供給不足が原因である可能性が考えられた。

養殖ワカメの SPAD 値は、1 月下旬の時点では平均で 10 以上あり、色落ちは発生していなかった（図 7）。

(2) 栄養塩供給手法の開発

溶出試験で得られた施肥具内の液肥サンプルのうち流れ分析装置で DIN 濃度を分析したものについて、比重と RR の関係を図 8 に示した。水の比重は温度により変化するので、夏季の試験と冬季の試験を分けてそれぞれの関係式を求めた。一次回帰分析により、両者には強い正の相関関係が見られ、次式を得た。

$$\text{夏季 (水温 } 25 \sim 28^{\circ}\text{C)} : y = 432x - 434 ; r^2 = 0.987$$

$$\text{冬季 (水温 } 11 \sim 16^{\circ}\text{C)} : y = 454x - 464 ; r^2 = 0.998$$

この相関関係式を用いて流れ分析装置による DIN 濃度の分析を行っていないサンプルの RR を推定した。なお、サンプルの水温が 20°C 以上の時は夏季の相関関係式を、 20°C 未満の時は冬季の相関関係式を用いた。

施肥具からの溶出量が水温によってどのように変化するかについては、プラバッグタイプの施肥具を用いて試験を行った (表 1 の水温影響試験)。その結果、これまでの半透膜を用いた施肥具の試験結果からその可能性が示唆されていた、水温が低いほど溶出量が少なくなるという傾向が確認された (図 9)。また、養殖藻類の色落ちが発生する冬季の水温 (10°C 前後) ではプラバッグタイプの施肥具からは設置後 2 週間経過しても半分以上の無機態窒素が施肥具内に残ることが明らかとなり、施肥具の実用化に向けては構造等の改良が必要と考えられた。

計 3 回行った溶出口径試験では、ボトルタイプの施肥具を用いて、溶出口径と溶出量との関係を調べた。

溶出口径試験 1 ではパッキンにより溶出口径を $25 \sim 35 \text{ mm}$ の 5 段階で調整したボトルタイプ施肥具を供試したが、試験開始後 1 週間は溶出口径が大きいほど RR の低下が顕著 (すなわち、溶出量が多い) 傾向が見られたが、その後溶出口径の違いによる差は次第に見られなくなった (図 10)。それぞれの施肥具の 1 日あたりの溶出量を、溶出口径 25 mm の溶出口の面積を 1 とした場合の溶出口の面積比 (表 2) で除算した“溶出量・溶出口比”を計算し比較したところ、試験開始後 3 日目までは、溶出口径が大きいほど溶出量が多い (溶出量・溶出口比 > 1) 傾向がみられたが、試験開始後 5 日目以降は逆に溶出口径が大きいほど溶出量が抑えられる (溶出量・溶出口比 < 1) 傾向が見られた (図 10)。

溶出口径試験 2 では耐水紙を半透膜に接着することなどにより口径を $5 \sim 40 \text{ mm}$ の 4 段階で調整したボトルタイプ施肥具を供試したが、試験開始後 1 週間で溶出口径 40 mm のボトルの RR の推定値がほぼゼロになるなど溶出口径が大きいほど液肥濃度の低下が顕著になる (すなわち、溶出量が多い) 傾向が見られた (図 11)。その後は、溶出口径 15 mm のボトルで RR の推定値が急減するなどボトルによって RR の推定値の変化に傾向の違いがみられた。溶出口径試験 2 では、溶出口径試験 1 と同様に溶出口の面積比 (表 3) で溶出量を除算した結果、試験開催後数日間は、溶出量・溶出口比が溶出口径の大きい施肥具ほど高い傾向が見られたが、その後各施肥具で異なった変化を示した (図 11)。このような試験の後半に見られた一貫性のない結果は、液肥の比重を測る毎にボトルの蓋を開け締めしたことで、半透膜の接着部分の端で半透膜が破れた影響と推察された。

そこで、溶出口径試験 3 では、施肥具の蓋を開けずにボトル全体の重さの変化で RR を推

定することを試みた。表 1 に示したように溶出口径 15, 20, 25 および 30 mm の通常型ボトルタイプ施肥具 3 セットと溶出口径 20 および 25 mm の強化型ボトルタイプ施肥具 2 セットを供試した。供試した施肥具は、液肥等を充填する前の空の施肥具の重量を予め計測し、次式で施肥具内の液肥の比重を推定し、図 8 に示した関係式により RR を推定した。

$$\text{施肥具内の液肥の比重} = (\text{ボトル全体の重量(g)} - \text{空の施肥具の重量(g)}) / \text{液肥容積 (ml)}$$

強化型施肥具の原液に溶けきらなかった固体状の硝酸アンモニウムは、試験開始後 5 日目には全て溶けたが、その間のボトル全体の重量の減少は通常型よりも急激で、溶出口径 25 mm の強化型施肥具の場合、同じ溶出口径の通常型施肥具との RR 推定値の差が試験開始後 5 日目で 10 %程度まで縮まった (図 12)。

RR 推定値の減少量から各タイプの施肥具の 1 日あたりの硝酸アンモニウム溶出量 (mMol / 日) を計算したところ、通常型施肥具の場合、試験開始後 1 日目で溶出口径が最も大きい通常型 40 φ で約 470 mMol / 日であったのに対して、溶出口径が最も小さい通常型 15 φ で約 130 mMol / 日と溶出口径が大きいほど溶出量が多い傾向が見られた (図 13)。しかしながら、溶出口径の大きさによる溶出量の差は次第に小さくなり、試験開始後 7 日目にはすべての通常型施肥具の硝酸アンモニウム溶出量は 100~170 mMol / 日の範囲内に収まり、試験開始後 2 週間には 100 mMol / 日とほぼ差が見られなくなった。

一方、強化型施肥具の場合、試験開始後 1 日目の硝酸アンモニウム溶出量は、強化型 20 φ で約 500 mMol / 日、強化型 25 φ で約 700 mMol / 日と高かったが、試験開始後 7 日目には両者とも約 200 mMol / 日となり、試験開始後 2 週間経過すると、100 mMol / 日と通常型との差も見られなくなった (図 13)。

以上の結果から、半透膜を用いた施肥具は、溶出口径を大きくし、また、固体の硝酸アンモニウムを添加して強化することで供試開始直後の硝酸アンモニウムの溶出量が多くなるが、日数の経過とともに溶出口径が小さいものや強化していないものとの差は小さくなる性質をもつと推察された。

今後、適切な液肥容積と溶出口径をもつ施肥具を実際の藻類養殖漁場に設置し、色落ち回復効果を調べる予定である。

【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.

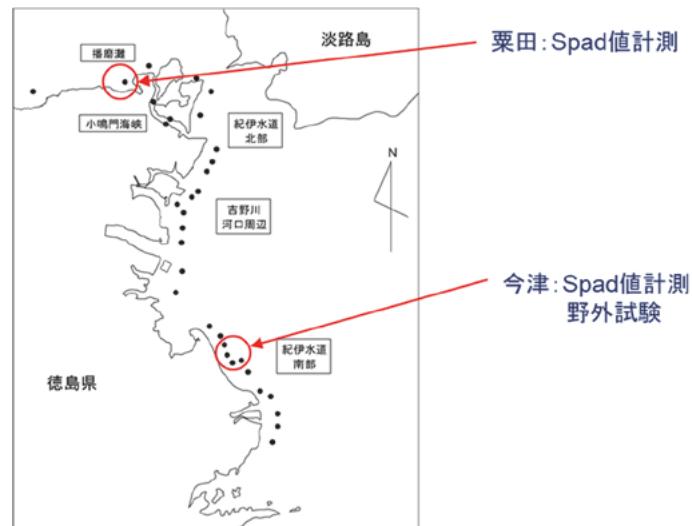


図 1 調査地点

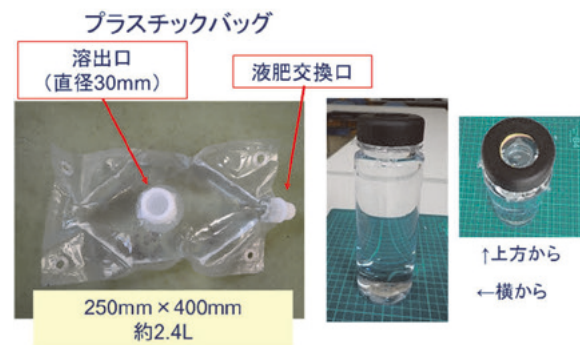
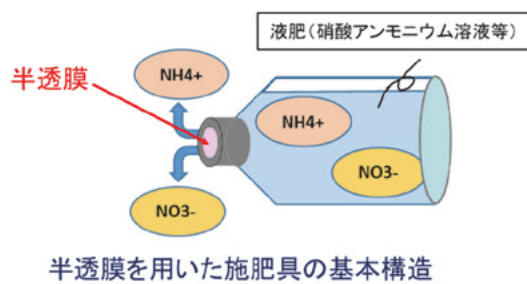


図 2 半透膜を用いた施肥具の構造

図 3 供試した施肥具

左図: プラスチックバッグ, 右図: ドリンクボトル

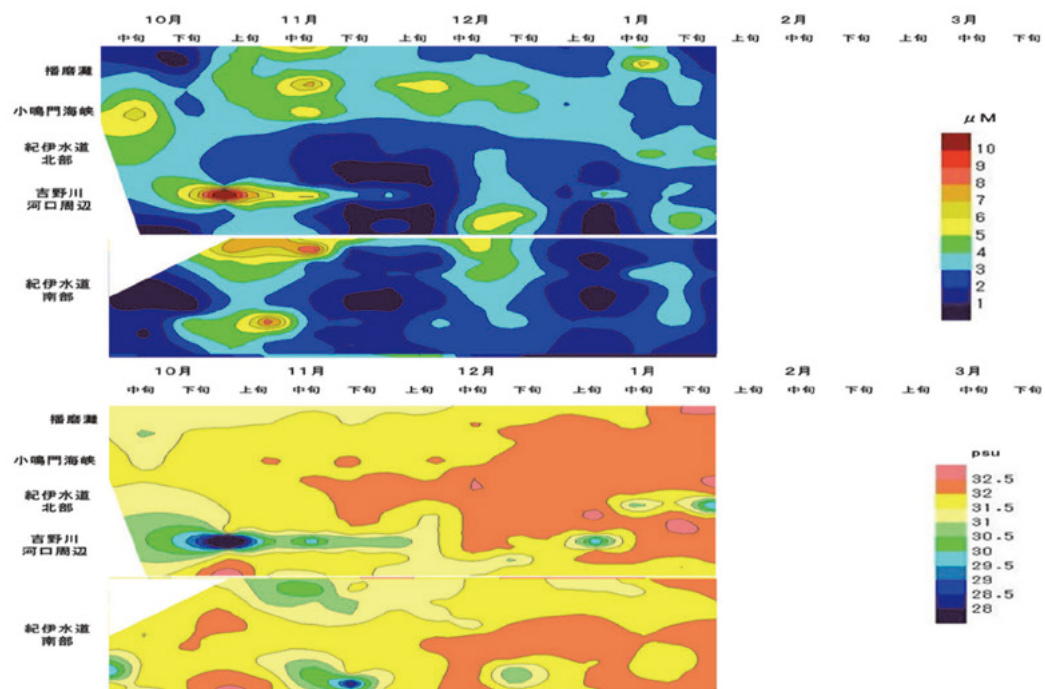


図 4 藻類養殖漁場栄養塩調査における DIN 濃度と塩分のコンタ図
上図: DIN 濃度, 下図: 塩分

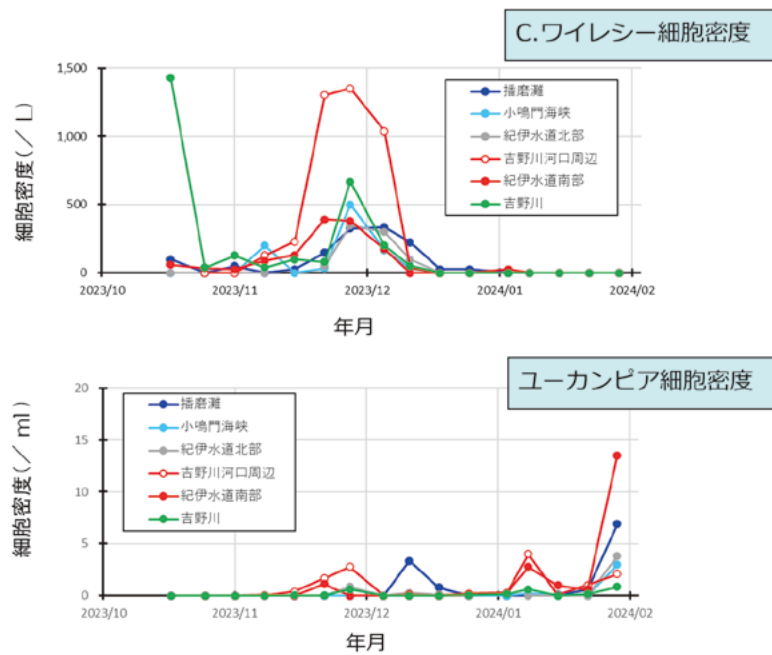


図 5 *Coscinodiscus wailesii* および *Eucampia zodiacus* の細胞密度の変化



図 6 徳島市のアメダス観測地点における日降水量(2023 年 10 月～2024 年 1 月)

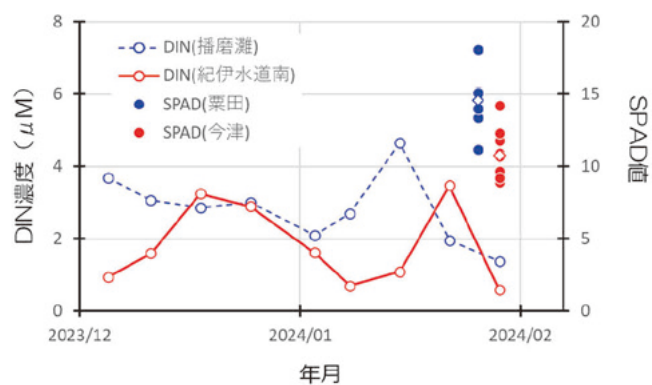


図 7 播磨灘および紀伊水道南部における DIN 濃度の変化と
養殖ワカメの SPAD 値(鳴門市栗田地区および阿南市今津地区)

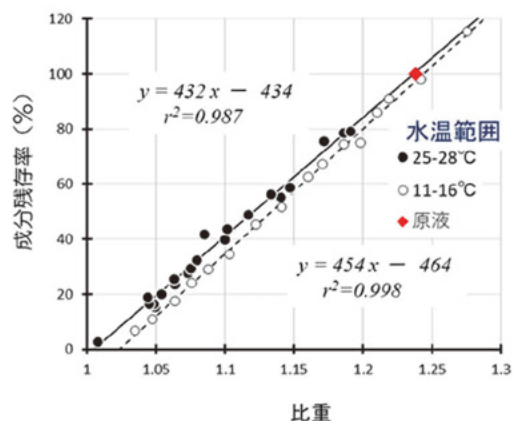


図 8 溶出試験で供試した施肥具内の液肥の比重と成分残存率との関係。●:高水温期, ○:低水温期

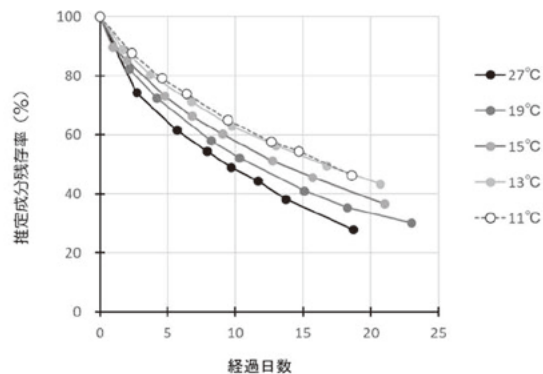


図 9 プラバッグ施肥具を用いた溶出試験における水温と推定成分残存率との関係

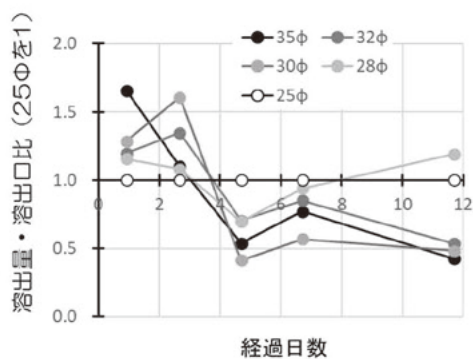
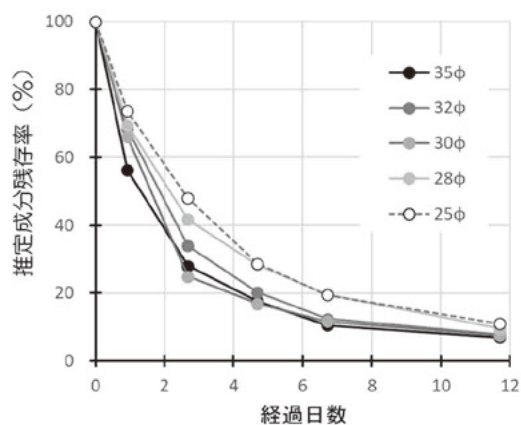


図 10 口径試験 1 の結果. 左図:各施肥具の推定成分残存率の経時変化, 右図:溶出量・溶出口比の経時変化

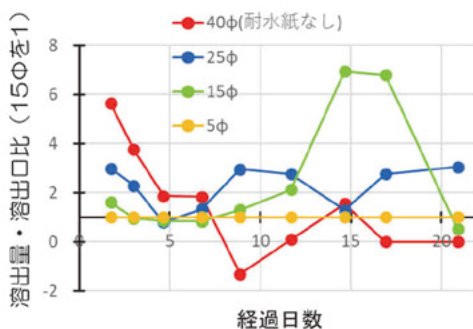
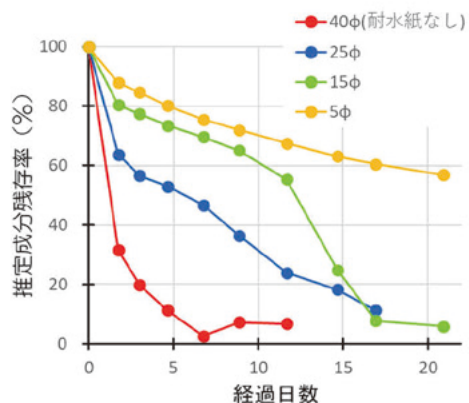


図 11 口径試験 2 の結果. 左図:各施肥具の推定成分残存率の経時変化, 右図:溶出量・溶出口比の経時変化

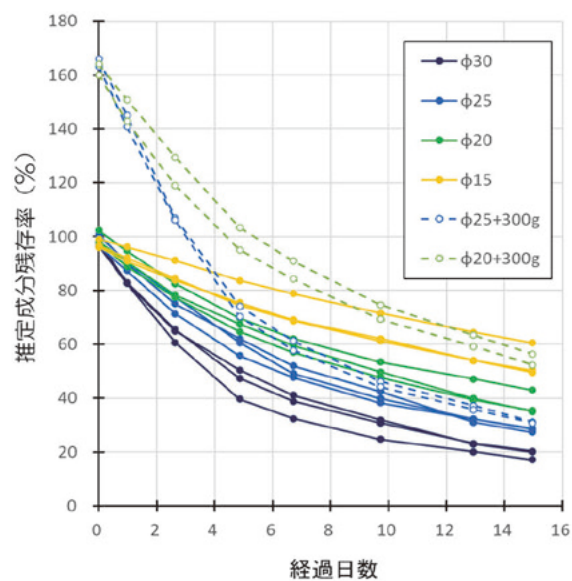


図 12 口径試験 3 における各施肥具の推定成分残存率の経時変化

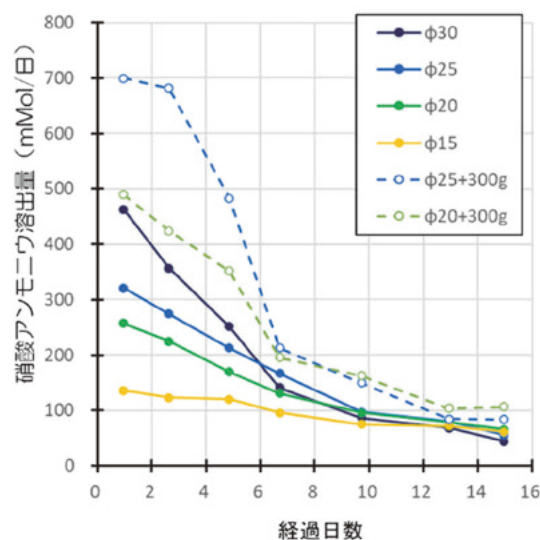


図 13 口径試験 3 における各施肥具の硝酸アンモニウム日溶出量 (mMol/日) の経時変化

表 1 各溶出試験で供試した施肥具

溶出試験名	施肥具名	施肥具筐体	容積 (ml)	溶出口の直径 (mm)	NH ₄ NO ₃ 含有量 (g)	溶出口径の調整方法	備考
水温影響試験	ブラバグ	プラスチックバグ	2,500	30	1,250	—	
口径試験 1	パッキン 25φ	ドリンクボトル	500	25	250	ポリスチレン製パッキン	
口径試験 1	パッキン 28φ	〃	〃	28	250	〃	
口径試験 1	パッキン 30φ	〃	〃	30	250	〃	
口径試験 1	パッキン 32φ	〃	〃	32	250	〃	
口径試験 1	パッキン 35φ	〃	〃	35	250	〃	
口径試験 1	パッキン 25-15φ	〃	〃	25	250	〃	ボトルの蓋の穴の直径は 15mm
口径試験 2	耐水紙 5φ	〃	〃	5	250	耐水紙	
口径試験 2	耐水紙 15φ	〃	〃	15	250	〃	
口径試験 2	耐水紙 25φ	〃	〃	25	250	〃	
口径試験 2	ボトル 40φ	〃	〃	40	250	なし	
口径試験 3	通常型 15φ	〃	〃	15	250	耐水紙+パッキン	
口径試験 3	通常型 20φ	〃	〃	20	250	〃	
口径試験 3	通常型 25φ	〃	〃	25	250	〃	
口径試験 3	通常型 30φ	〃	〃	30	250	〃	
口径試験 3	強化型 20φ	〃	〃	20	480	〃	硝酸アンモニウム 300 g 追加
口径試験 3	強化型 25φ	〃	〃	25	480	〃	〃

表 2 口径試験 1 で供試した施肥具の溶出口径 25mm を 1 とした時の各溶出口径の面積比

溶出口径 (mm)	25	28	30	32	35
面積比率	1	1.25	1.44	1.64	1.96

表 3 口径試験 2 で供試した施肥具の溶出口径 5mm を 1 とした時の各溶出口径の面積比

穴径	5	15	25	40
面積比率	1	9	25	64

令和5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6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