

伊勢湾・三河湾における栄養塩がプランクトン群集に与える影響の検討

高橋 未彩

1. はじめに

伊勢湾・三河湾では、1980年から実施されてきた水質総量規制による栄養塩濃度の低下と、これに伴うクロロフィルaの減少が問題となっている（例えば、蒲原ら, 2018; 青山・蒲原, 2022）。栄養塩濃度の低下は、養殖ノリの品質低下や収穫量減少の原因となるほか、植物プランクトンの不足によるアサリ資源の減少要因になっていると考えられている（国分, 2019; 蒲原ら, 2021）。また、長期的な基礎生産の低下が動物プランクトンやマクロベントスなど餌料生物の減少につながり、索餌回遊期のイカナゴや底曳網対象種であるシャコ・マアナゴなど重要な漁業対象種の漁獲量減少に影響している可能性も指摘されている（曾根ら, 2022a, b; 蒲原, 2023）。これら魚類の減少は、伊勢湾・三河湾の湾口部を冬から春の摂餌海域として利用するスナメリなど大型哺乳類（田口ら, 2007）の分布にも影響を与える恐れがある。

現在、栄養塩増加のための対策として、愛知県2か所と三重県5か所の計7か所の下水処理施設において放流水中の窒素およびリンの濃度を増加させる社会実験が行われている（三重県 2022; 愛知県 2024a）。2022年度より、窒素20 mg/Lおよびリン2 mg/Lに総量規制基準を緩和して冬季を中心に管理運転が行われ、放水口近傍におけるノリの色落ち軽減とアサリの現存量増加に対する効果が報告されている（愛知県 2024a）。将来的に伊勢湾・三河湾の全下水処理施設で栄養塩の管理運転を実施した場合、湾全体の漁業生産に効果的であることが期待されるが（永尾ら, 2019）、伊勢湾と三河湾では、下水処理施設からの放流量に対する湾の規模が異なっている。また、基礎生産を担う微小生物だけでなく、二次生産者となる動物プランクトンやさらに高次の生物群の種組成や現存量も同じではない。添加された栄養塩への応答は基礎生産者の種類やサイズにより多様であるため（古谷, 2015）、貧酸素化などの漁場環境悪化を抑制しつつ、船曳網や底曳網などの漁獲量増加まで繋がる生産力

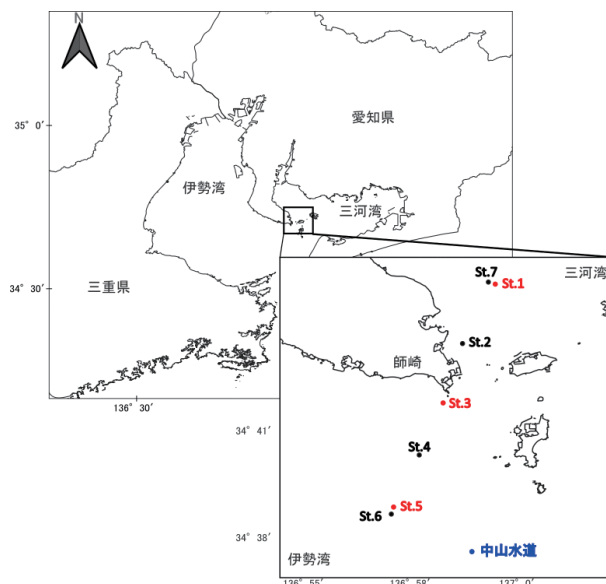


図1 調査地点（愛知県師崎沖）

の回復を実現するためには、水域の物理的特性や基礎生産者とこれを利用する高次捕食者の空間分布に応じて、適切な濃度の栄養塩をいつ・どこに添加するのが効率的か検討することが今後重要になると考える。

当社では2022年以降、4月に行われる新人研修・自社研究において、師崎漁業協同組合のご協力をいただいて伊勢湾・三河湾の環境調査を実施している。4月はアサリの産卵時期であるとともに、夏眠期を前にイカナゴが索餌回遊を終えようとする時期でもあり、いずれも高い肥満度を確保するための餌料量が求められる。また、多くの生物の生理状態に影響する海水温が昇温するほか、上下層の混合が弱まり循環期から成層期に移行するなど、湾内の環境が大きく変化する時期にあたる。そこで筆者は、4月の環境調査において、伊勢湾・三河湾の基礎生産の大部分を担う植物プランクトンが栄養塩添加によりどのように応答するか検討したいと考えた。本稿では、2024年4月に実施した調査結果から、水質とプランクトン群集の出現状況について、水域間の違いに注目して整理した。

2. 調査方法

調査は、2024年4月17日の8:30から11:30にかけて、愛知県知多郡南知多町師崎地先の海域で行った（図1）。水質観測は7地点で行い、多項目水質計（AAQ-RINKO、JFEアドバンテック（株））を用いて、水温、塩分、溶存酸素（DO）、濁度、pH、クロロフィルaおよび光量子について水面から海底まで0.1 m間隔で鉛直観測を行った（表1）。

採水およびプランクトン採集は3地点（St.1、St.3、St.5）で行った。水質分析用の試料はバンドーン採水器を用いて、上層（0.5 m）、中層（5.0 m）、下層（海底上1.0 m）の3層から1地点1層につき1.5 L採水した。分析項目は、サイズ分画クロロフィルa・フェオフィチン、全窒素（TN）、全リン（TP）、三態窒素（NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N）、リン酸態リン（PO₄-P）、ケイ酸態ケイ素（SiO₂-Si）、溶存態有機炭素（DOC）、懸濁態有機炭素（POC）とした。クロロフィルaおよびフェオフィチンは、20 μm、10 μm、2 μm、0.2 μmのフィルターを用いて連続的に濾過を行ってサイズ分画し、分光光度計を用いて海洋観測指針（気象庁、1999）の抽出蛍光法に従い分析した。その他の水質項目については基本的にJIS K 0102工場排水試験方法に従って分析を行い、栄養塩分析にはオートアナライザー（BL-Tec、QuAAtro、流れ分析法）を用いた。POCは沿岸環境調査マニュアルIIのCHN分析計による方法により分析を行った。

植物プランクトン用試料は、バンドーン採水器を用い、水質分析用と同じ3層から1地点1層につき2 L採取し、最終濃度3%となるようにホルマリンを添加した。さらに、バクテリア、ピコプランクトン（シアノバクテリア）、ナノプランクトン（独立栄養性微小鞭毛虫類（ANF）、従属栄養性微小鞭毛虫類（HNF））用試料を50 mL滅菌済容器に採水し、ろ過滅菌したグルタルアルデヒドを最終濃度1%となるように添加した。植物プランクトンは、室内にて光学顕微鏡下で種の同定および計数を行った。また、バクテリアはDAPI（最終濃度1 μg/mL）染色を、ピコプランクトンおよびナノプランクトンは、DAPI（最終濃度1 μg/mL）染色後にProflavin（最終濃度1 μg/mL）染色を行い、ポリカーボネート製フィルター（Whatman ニュークリポアトラックエッチメンブレン・ブラックタイプ、孔径0.2 μm（ナノプランクトンは0.8 μmを使用）、

直径25 mm）上に濾過捕集して、無蛍光イマルジョンオイルで包埋しプレパラートを作成した。落射型蛍光顕微鏡を用いて、バクテリアはU励起を、ピコプランクトンおよびナノプランクトンはU励起、B励起およびG励起光下で細胞数の計数を行った。

動物プランクトンは北原式閉鎖ネットを用い、1地点につき上層（0-3 m）、中層（3-6 m）、下層（6-海底上1 m）の3層で曳網した。容器に収容後、最終濃度5%となるようにホルマリンを添加し、室内にて光学顕微鏡下で種の同定および計数を行った。

また、St.1にて栄養塩添加実験用の海水を、バンドーン採水器を用いて20L採水し、200 μmのプランクトンネットで濾過した。

表1 調査地点と調査項目

調査項目	地点1	地点7	地点2	地点3	地点4	地点5	地点6
緯度	34°44'05.80"	34°38'55.70"	34°42'45.70"	34°41'25.60"	34°40'15.40"	34°39'05.20"	34°44'08.60"
経度	136°59'26.50"	136°57'06.20"	136°58'42.30"	136°58'16.10"	136°57'43.90"	136°57'09.30"	136°59'17.20"
全水深 (m)	11.3	10.6	27.0	21.8	14.0	20.2	20.6
水質 (AAQ)	○	○	○	○	○	○	○
クロロフィルa・フェオフィチン	○			○		○	
栄養塩・有機物	○			○		○	
プランクトン (バクテリア・ナノピコ植物・動物)	○			○		○	

3. 結果

3.1 水質観測

AAQ-RINKOによって取得された、水温、塩分、クロロフィルa、濁度のデータをコンター図に示した（図2）。上層の水温は、三河湾側のSt.1～St.2が伊勢湾側の各地点よりも高かった。一方、水深10 m付近の水温は三河湾側の海底付近が14.6～14.8℃と最も低かった。St.2から伊勢湾側では水深10～15 mに水温の極小域がみられた。塩分は、海面から海底へ深度と共に高くなるが、三河湾側で伊勢湾側に比べて低塩分であった。St.2から伊勢湾側の下層にはやや水温・塩分が高い海水が分布していた（図2a、図2b）。クロロフィルaは、水深4～10 mの値が比較的高く、三河湾側のSt.1では水深5 m付近、St.3から伊勢湾側のSt.5では水深8 m付近で極大値を示した。また、海面から水深5 m

までは三河湾側と伊勢湾側の値に大きな差はないが、クロロフィルa極大層では三河湾側よりも伊勢湾側で高い値を示した(図2c)。濁度は、下層でやや高い値を示す場合があるが、海面から水深10m付近まではクロロフィルa極大層を含め1FTU未満であり、地点間の差はみられなかった(図2d)。

採水で得た試料の栄養塩および有機物の分析結果を図3に示した。TN、TPは、三河湾側(St.1)が伊勢湾側(St.5)に比べてやや高かった(図3a、図3b)。このうちの三態窒素(NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N)は、いずれの地点も下層には存在するものの上層では枯渇しており、中層ではSt.3のみNH₄-Nが存在した(図3a)。PO₄-Pは三河湾側のSt.1では全層で、St.5では上層から中層で枯渇していたが、St.3では中層にも下層と同程度のPO₄-Pが存在した(図3b)。SiO₂-Siは、いずれの地点も中層で少ないが枯渇した状態にはなく、地点間で明確な差はなかった(図3c)。有機物(POC、DOC)は、TN、TPと同様に三河湾側が伊勢湾側に比べてやや高い値を示した。特に、St.1の下層のPOCはその他の地点・層と比べて2倍以上の高い値であった(図3d)。

サイズ分画クロロフィルaおよびフェオフィチンの分析結果を図4に示した。三河湾側は伊勢湾側に比べて大きい分画のクロロフィルaの割合が高く、特にSt.1下層で20μm以上の割合が高かった。総クロロフィルa濃度は上層では各地点同程度であるが、中層・下層では三河湾側の方が伊勢湾側より高い値を示した(図4a)。フェオフィチンは三河湾側と伊勢湾側でサイズ組成や総濃度に明らかな差はみられず、水深が深いほど高くなった(図4b)。

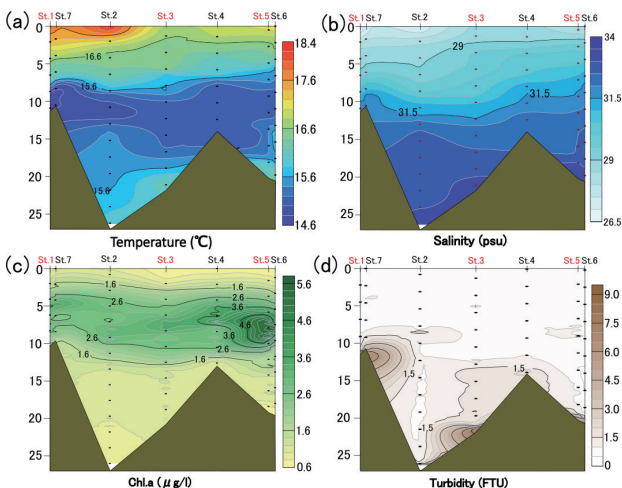


図2 AAQ-RINKO観測データのコンター図
(a)水温、(b)塩分、(c)クロロフィルa、(d)濁度

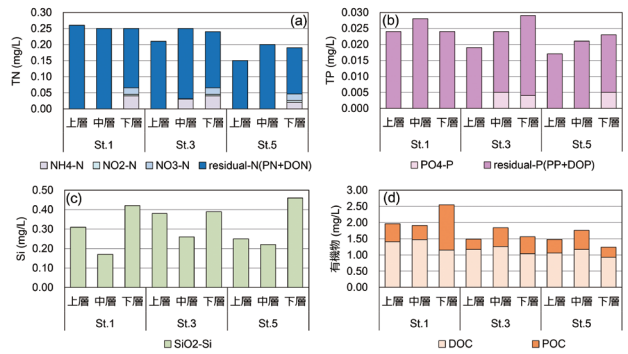


図3 栄養塩および有機物の分析結果
(a)TN、(b)TP、(c)Si、(d)有機物

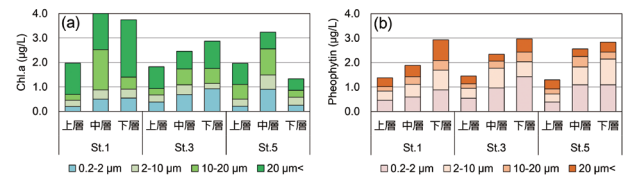


図4 サイズ分画クロロフィルaおよびフェオフィチンの分析結果
(a)クロロフィルa、(b)フェオフィチン

3.2 プランクトン群集

細菌、ピコプランクトンであるシアノバクテリア、ナノプランクトンであるANFおよびHNFの分析結果を図5に示した。細菌、シアノバクテリアは三河湾側で多く出現した(図5a、図5b)。ANFはSt.3下層で特に細胞数が多いが、三河湾側と伊勢湾側は同程度であった(図5c)。HNFもSt.3の値がやや高いが、三河湾側と伊勢湾側の差は明らかではなかった(図5d)。また、St.3下層を除いて、各地点・層ではHNFの細胞数がANFよりも多い結果となった。

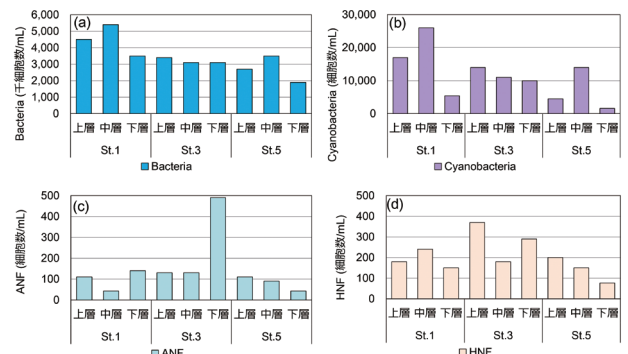


図5 微小プランクトンの分析結果
(a)バクテリア、(b)シアノバクテリア、(c)ANF、(d)HNF

表 2 出現した植物プランクトンの細胞数密度

単位:細胞数/L

番号	門	綱	目	科	種	測点			St.1			St.3			St.5		
						上層	中層	下層	上層	中層	下層	上層	中層	下層			
1	クリプト植物	クリプト藻	-	-	Cryptophyceae	139200	193200	199200	72000	241200	192000	31200	218400	28800			
2	渦鞭毛植物	渦鞭毛藻	プロロケントルム	プロロケントルム	<i>Prorocentrum minimum</i>	3600	68400	12000	8400	27600	20400	34800	74400	3600			
3			ギムノディニウム	-	Gymnodiniales	18000	25200	24000	8400	18000	21600	22800	10800	2400			
4			ピロキステイス	ピロキステイス	<i>Dissodinium</i> sp.	600	1800	3600		600	1800	600	1800	1200			
5			ベリディニウム	ゴニオラックス	<i>Gonyaulax</i> sp.				1200	2400	1200		1200	1200			
6				ベリディニウム	<i>Protoperdinium bipes</i>	1200	1200										
7					<i>Protoperdinium</i> spp.	3000	2400	600		1800	600	600	600	600			
8					カルキオディネラ	<i>Scrippsiella</i> sp.				1200		1200		1200			
9					-	Peridinales	4800	6000	18000	2400	4800	13200	2400	2400			
10			不等毛植物	珪藻	円心	タランオシーラ	<i>Skeletonema costatum</i> complex	7200	13200	4800	26400	9600	3600	106800	33600	4800	
11						<i>Thalassiosira</i> spp.	13200		2400		2400						
12						メロシーラ	<i>Leptocylindrus danicus</i>	3600			4800	2400		14400	7200		
13							<i>Melosira varians</i>	1200									
14						リゾソレニア	<i>Guinardia flaccida</i>	9000	8400	3600	600	1800	1800	300	3600	3300	
15							<i>Rhizosolenia delicatula</i>	10800	43200	8400	4800	1200	7200		36000	15600	
16							<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	56400	61200	7200	45600	8400	1200	133200	40800	2400	
17							<i>Rhizosolenia indica</i>		300								
18							<i>Rhizosolenia setigera</i>	13200	7200	1500	3000	2400	2700	300	1800	900	
19						ビドゥルフィア	<i>Cerataulina pelagica</i>							2400			
20							<i>Eucampia zodiacus</i>		1200		1200		1200				
21						キートケロス	<i>Chaetoceros affine</i>	6000	4200					1800			
22							<i>Chaetoceros constrictum</i>		1800								
23							<i>Chaetoceros costatum</i>	1800									
24							<i>Chaetoceros danicum</i>	15000	3600	4800	7200	2400	3000	3600	600	600	
25							<i>Chaetoceros debile</i>	64800	4200	2400	1200		5400	2400			
26								<i>Chaetoceros debile</i> (resting spore)						1200			
27								<i>Chaetoceros didymum</i> var. <i>anglica</i>	1200						8400		
28							<i>Chaetoceros radicans</i>							2400			
29							<i>Chaetoceros radicans</i> (resting spore)							600			
30							<i>Chaetoceros sociale</i>	2400									
31							<i>Chaetoceros</i> spp.	7200	1200	1200	1200						
32							<i>Chaetoceros</i> spp. (resting spore)				110400	4800	1200	172800	16800		
33					リトデスミウム		<i>Ditylum brightwellii</i>			600							
34		羽状			デアトーマ		<i>Asterionella formosa</i>	2400									
35						<i>Thalassionema nitzschioides</i>	8400	13200	32400	31200	6000	26400	62400	8400	26400		
36						ナビキュラ	<i>Cymbella</i> sp.	1200									
37						ニツチア	<i>Cylindrotheca closterium</i>					1200	2400	1200	7200		
38							<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. (cf. <i>pungens</i>)	33600	2400	2400	3600	2400	2400				
39							<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	51600	26400	6000	48000	7200		102000	12000	2400	
40					黄金色藻	ペディネラ	ペディネラ	<i>Apedinella spinifera</i>	2400								
41					ディクチオカ	エブリア	<i>Ebria tripartita</i>							1200			
42			オクロモナス	ディノブリオン	<i>Dinobryon</i> sp.							1200					
43	ハプト植物	ハプト藻	-	-	Haptophyceae	20400	43200	321600	50400	85200	164400	49200	135600	105600			
44	ユーグレナ植物	ユーグレナ藻	-	-	Euglenophyceae	6000	6000		2400	9600	1200	6000	4800	1200			
45	緑色植物	ブラシノ藻	-	-	Prasinophyceae	21600	16800		4800	12000	8400	7200	9600				
46		緑藻	オオヒゲマワリ	クラミドモナス	Chlamydomonadaceae	12000	6000	2400		1200		1200					
47			クロロコククム	セネデスムス	<i>Scenedesmus</i> sp.	3600											
48	不明鞭毛藻類	-	-	-	unidentified flagellates	40800	57600	13200	14400	25200	2400	25200	36000	2400			
合計						587400	619500	672300	454800	481800	488100	798600	667200	203400			
種類数						34	27	22	24	25	25	28	25	17			
沈殿量 (mL/L)						0.20	0.08	0.04	0.08	0.05	0.08	0.10	0.08	0.03			

植物プランクトンの分析結果を表 2 と図 6 に示した。三河湾側の St.1 では全層で比較的多く出現したクリプト藻が St.3、St.5 の上層では少ないこと、各地点の下層はハプト藻の割合が高く、特に三河湾側の下層でハプト藻の細胞数が多いことが特徴としてみられた (図 6a)。また、各地点とも上層において珪藻綱が多く出現しており、特に伊勢湾側の St.5 の上層における珪藻綱の細胞数が他の地点よりも顕著に多かった。中層では St.3 の珪藻綱が他の地点の中層よりも少なかった。珪藻綱の主要な出現種をみると (図 6b)、珪藻綱が多い上層では、St.3 と St.5 の種構成が類似しており、*Chaetoceros* spp. の休眠孢子 (resting spore) が多く

栄養細胞はほとんど出現していないほか、*Skeletonema costatum* complex、*Thalassionema nitzschioides* の細胞数が St.1 に比べて多かった。これに対し、St.1 では *C. debile* ほか *Chaetoceros* 属の栄養細胞が多いが休眠孢子は全く出現せず、三河湾側と伊勢湾側の出現状況は明瞭に異なった。一方、珪藻綱が少ない下層では、いずれの地点も似た種構成であり、*T. nitzschioides* が優占した。

動物プランクトンの分析結果を表 3 と図 7 に示した。伊勢湾側の St.5 の個体数は他の地点と比較して上層で少なく、下層で顕著に多かった。各地点・層で最も優占したのは節足動物の橈脚亜綱 (カイアシ類) であり、三河湾側の St.1

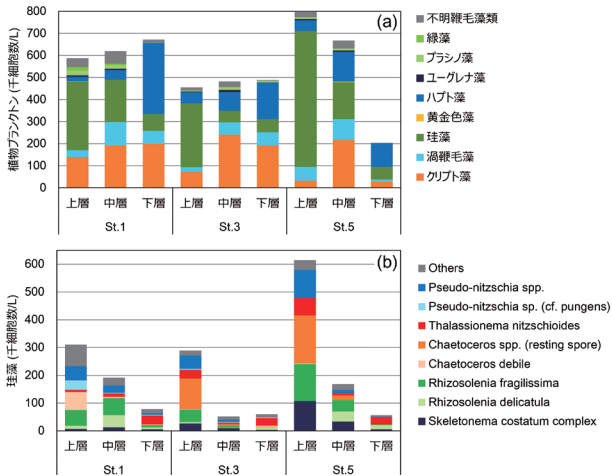


図6 植物プランクトンの分析結果
(a)植物プランクトン(網別), (b)珪藻網主要種

ではその大部分がCopepoda (nauplius) (ノープリウス幼生) であるのに対し、St.3とSt.5では*Acartia*属が多く出現した。また、繊毛虫は三河湾側で個体数が多く、伊勢湾側ではほとんど出現しなかった。

今回、St.1の上層で採取した海水を実験室に輸送して行った栄養塩添加実験では、植物プランクトンが増殖せず、栄養塩と植物プランクトンとの関係を示すデータは得られなかった。原因として、現地水温より低温で冷蔵輸送したことで細胞の活性が衰退したことが考えられた。

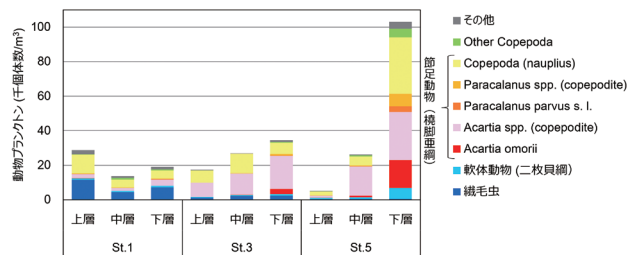


図7 動物プランクトンの分析結果

表3 出現した動物プランクトンの個体数密度

番号	門	綱	目	科	種	測点									
						St.1			St.3			St.5			
						上層	中層	下層	上層	中層	下層	上層	中層	下層	
1	肉質鞭毛虫	顆粒根足虫	タマウキガイ	タマウキガイ	Globigerinidae										100
2	繊毛虫	旋毛(コレオトリカ)	カラムシ	カザリツボカラムシ	<i>Poroecus apiculatus</i>			100	90					20	
3					<i>Favella taraikaensis</i>	11600	4400	7200	1160	2200	2400	280	500	400	
4	刺胞動物	ヒドロ虫	管クラゲ	-	Siphonophora										200
5	軟体動物	腹足	-	-	Gastropoda (larva)	300	300	900	60		500			100	1700
6		二枚貝	-	-	Bivalvia (umbo larva)	800	700	800	250	500	800	780	900	6400	
7	環形動物	多毛	-	-	Polychaeta (larva)	500	100	100	190				140	100	600
8	節足動物	鰓脚	枝角	ウミオオメジンコ	<i>Evadne nordmanni</i>		100								
9					<i>Podon polyphemoides</i>						100				
10		鰓脚(橋脚)	カラヌス	アカルチア	<i>Acartia omorii</i>	100			130	200	3100	180	1000	16100	
11					<i>Acartia</i> spp. (copepodite)	2400	1800	3600	8260	12200	19100	1130	16900	27900	
12				パラカラヌス	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	100		200		100	100	20	200	3300	
13					<i>Paracalanus</i> spp. (copepodite)	200	200	400	60	300	1000	140	300	7200	
14		キクロプス	オイトナ		<i>Oithona davisae</i>									200	
15					<i>Oithona similis</i>				30		100			200	400
16					<i>Oithona</i> spp. (copepodite)	100	200	200	90	100	200	120	300	2900	
17		ハルバクテクス	フネガタソコミジンコ		<i>Microsetella norvegica</i>	100	400	200						100	600
18					<i>Microsetella norvegica</i> (copepodite)		100	200							
19					<i>Euterpina acutifrons</i> (copepodite)			100							200
20		ボエキロストム	コリケウス		<i>Corycaeus affinis</i>						100				200
21					<i>Corycaeus</i> spp. (copepodite)	100	200	100	60						100
22				オンケア	<i>Oncaea scottodicarloi</i>						100				
23					<i>Oncaea</i> sp. (copepodite)										400
24			クラウシジウム		<i>Hemicyclops</i> spp. (copepodite)									100	
25			-	-	Copepoda (nauplius)	10900	4600	4600	6940	11100	6500	2190	5200	32800	
26		鰓脚(鞘甲)	蔓脚	-	Balanomorpha (nauplius)		100	100	30		100				
27	毛顎動物	ヤムシ	ヤムシ	ヤムシ	<i>Sagitta</i> spp. (juvenile)					100	100				200
28	棘皮動物	クモヒトデ	-	-	Ophiuroidea (ophiopluteus)	300	300	100	90	100		20		200	
29	脊索動物	尾虫	尾虫	オタマボヤ	<i>Oikopleura dioica</i>	900	100	100			100	50	100	400	
30					<i>Oikopleura longicauda</i>										800
31					<i>Oikopleura</i> spp.	300		100			100	50			
合計						28700	13600	19100	17440	26900	34500	5120	26200	103100	
種類数						15	15	18	14	10	17	13	16	21	
沈殿量 (mL/L)						5.2	3.8	4.6	2.3	2.4	3.6	1.6	2.2	11.4	

4. 考察

漁業生産に必要な栄養塩濃度として、ノリでは三態窒素 (DIN) で 0.1 mg/L 以上、 $\text{PO}_4\text{-P}$ (DIP) で 0.01 mg/L 以上、アサリでは TN で 0.4 mg/L 以上、TP で 0.04 mg/L 以上が報告されているが (愛知県 2024b)、本調査ではいずれの地点・層もこれら必要濃度を下回り、栄養塩が欠乏していた。また、クロロフィル a について、極大層となる水深帯 (図 2c 参照) ではアサリ漁場で望ましい濃度とされる $3 \mu\text{g/L}$ (三重県水産研究所 2011) を超えるが、アサリが多く分布する水深 5 m 以浅では $2 \mu\text{g/L}$ に満たない。芝ら (2020) がアサリの成長に必要と報告した $6.3 \mu\text{g/L}$ 、青山・蒲原 (2022) がアサリ漁業を好転させると推測した $10 \mu\text{g/L}$ と比べると、極大層のクロロフィル a でも不足している。調査地点近傍に位置する中山水道の航路ブイ (図 1) で連続観測された 2024 年 3 月 18 日から 1 ヶ月間の水温・塩分情報を伊勢湾環境データベース (国土交通省中部地方整備局「伊勢湾環境データベース水質定点観測リアルタイム情報」https://www.isewan-db.go.jp/real_web/REAL_WEB_buoy/PointSelect/Index 最終確認日 2024 年 12 月 10 日) から取得した (図 8)。3 月 30 日頃から調査実施日までの間に水温が $3 \sim 4^\circ\text{C}$ 上昇するとともに、上層の塩分低下により下層との塩分差が大きくなっており、調査地点周辺では鉛直的な混合が抑制される成層化が進行していたと予想される。下層に存在する無機態の栄養塩も十分ではないうえ、鉛直混合による下層から上・中層への供給が抑えられた状況で、河川や下水処理施設など陸域からの供給源から比較的離れている湾口部では、調査時までには栄養塩が欠乏し、漁業生産に十分なクロロフィル a 量が維持されていなかったと考えられる。

光合成を行う植物プランクトン現存量の指標となるクロロフィル a は、AAQ-RINKO による観測では水深 4 ~ 10 m に比較的高濃度で分布し、その最大値は三河湾側より伊勢湾側で高かった。サイズ分画クロロフィル a の中・下層は三河湾側でやや高い値を示したが、本調査の採水層は中層を水深 5 m、下層を海底上 1 m としたため、三河湾側の St.1 ではクロロフィル a 極大層 (水深 5 m 付近) で、他の 2 地点では極大層 (水深 8 m 付近) を外れた水深での採水であっ

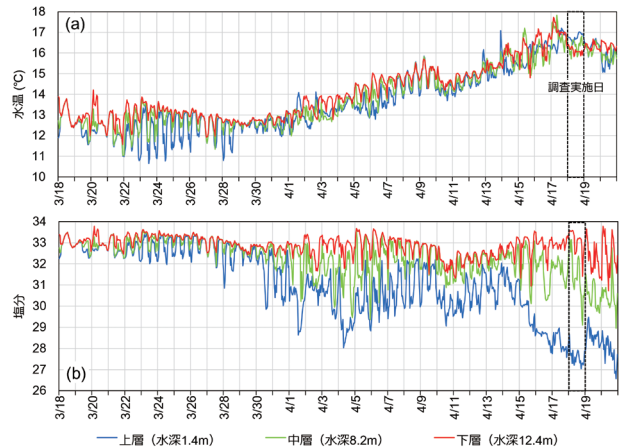


図8 中山水道の定点観測結果
(a)水温、(b)塩分

た。このため、伊勢湾側では最も植物プランクトンの現存量が多い水深帯について、そのサイズ、種類などの特徴を確認できていない。

顕微鏡観察の結果から、細胞数の多い植物プランクトンでは、クリプト藻綱、ハプト藻綱は $10 \mu\text{m}$ 以下、渦鞭毛藻綱は $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 、小型だが群体を形成する種と 1 細胞が大型の種が出現した珪藻綱は $20 \mu\text{m}$ 以上のサイズに主に分画される細胞サイズであった。上・中層のクリプト藻綱の細胞数は、廣田 (2023) の調査時 ($7,200 \sim 28,800$ 細胞数/L) に比べて数倍多かった。三河湾奥部では降雨後の河川流量増加により小型のクリプト藻綱の出現割合が高くなることが報告されている (森ら, 2020)。調査時における上下層の塩分差は 3 月下旬から 4 月上旬の降雨に伴う河川流量増加によるものであり、湾口部のクリプト藻綱の細胞数に影響した可能性がある。珪藻綱の細胞数は各地点とも上層で多く、伊勢湾側の St.5 で特に多かったが、 $20 \mu\text{m}$ 以上のクロロフィル a とは分布傾向が一致しなかった。内湾では栄養塩の枯渇とともに大型珪藻が減少し小型の植物プランクトンの割合が高まることが報告されている (Nakane *et al.*, 2008; 橋本・橋本, 2019)。また、*Chaetoceros* 属の *C. pseudocurvisetus* は窒素欠乏により色素退色やクロロフィル a 含有量の低下を伴う休眠細胞・胞子を形成することが観察されている (Kuwata *et al.*, 1993)。本調査で珪藻綱の細胞数とサイズ分画クロロフィル a の結果が一致しなかった要因として、各地点の上層で

は栄養塩の枯渇により珪藻綱から小型植物プランクトンに移行する過程で珪藻綱の細胞内のクロロフィルa含有量が減少していたことが考えられる。三河湾側と伊勢湾側で *Chaetoceros* 属の栄養細胞と休眠胞子の出現状況が大きく異なったことは、両海域で栄養塩の枯渇時期に時間差があったことを示しているのかもしれない。このような栄養塩量の変化が植物プランクトンの種組成とサイズ分画クロロフィルaの変化に与えた影響を明らかにするためには、連続した複数回の調査が必要である。St.1下層では20 µm以上のクロロフィルaが最も多かったが、珪藻綱の細胞数は少なく、優占種は細胞サイズの小さいハプト藻綱であった。ハプト藻綱が凝集や基質固着により大きなサイズに分画されたことも考えられるが、St.1下層はPOCが他の地点に比べて多いことから、植物プランクトン以外の海藻草類由来のクロロフィルaを補足した可能性がある。

バクテリアの細胞数はDOCと高い相関関係が認められた(図9a)。伊勢湾において、高い栄養塩濃度下で珪藻類を中心とする植物プランクトンによる基礎生産量に対し、溶存態有機物を利用するバクテリアによる生産量の割合を、福留ら(2000)は10%、田中ら(2011)は18.2%と見積もっている。栄養塩が枯渇しクロロフィルa量が十分ではなかった調査時の湾口部において、バクテリアによる生産は相対的に重要性が高まったことが推察される。また、永尾・中村(2018)は、TNが0.3 mg/L、TPが0.03 mg/L以下の低濃度の栄養塩条件下で光合成が可能なシアノバクテリアの *Synechococcus* 属が現存量を増加させる傾向があると報告しており、本調査時の栄養塩濃度はこの条件に合致することから、シアノバクテリアの役割も重要であったと考えられる。これら微小なプランクトンによる基礎生産を大型動物プランクトンや魚類の生産に繋げるにはHNFや繊毛虫による捕食が必要になる。本調査におけるバクテリアとHNFの細胞数には相関関係は認められず(図9b)、バクテリア/HNF細胞数比は9,189~25,000と、福留ら(2000)に比べ明らかに高くなっており、HNFの細胞数が少ない結果であった。シアノバクテリアとHNFの間にも一定の関係性はみられなかった。ホルマリン固定した動物プランクトン分析における繊毛虫の細胞数は無殻繊毛虫が壊れるため過少と考えられるものの、バクテリア、シアノバクテリアが比較的多い三河

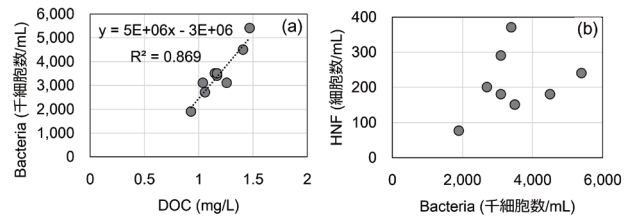


図9 DOCとバクテリアおよびHNFとの関係
(a)DOCとバクテリア、(b)バクテリアとHNF

湾側のSt.1で繊毛虫の細胞数も多かったことから、ANF、HNFが速やかに繊毛虫などに捕食されていた可能性がある。

出現した動物プランクトンは、St.1では繊毛虫とカイアシ類のノープリウス幼生、他の2地点では成体の大きさが1 mm前後の *Acartia* 属およびカイアシ類のノープリウス幼生であり、いずれも小型種であった。 *Acartia* 属、 *Paracalanus* 属は索餌回遊をするイカナゴの主餌料となるが、橋口ら(2022)が夏眠前のイカナゴが肥満度を高めるうえで重要と指摘した *Calanus sinicus* をはじめとする大型の動物プランクトンはほとんど出現しなかった。この結果は、栄養塩不足により大型の植物プランクトンの増殖が不十分なために、大型の動物プランクトンも増殖できず、イカナゴの漁業生産にとって望ましい餌料環境が形成されていなかったことを示唆する。なお、St.5の下層でクロロフィルaや植物プランクトン細胞数が少ないにも関わらず動物プランクトンの個体数が最も多くなっている。これは、下層の動物プランクトンが水深6mから海底上1mまでの鉛直曳網で採取されているためであり、採水層と水深帯が一致しないことが原因と考えられる。前述のとおり、St.5では水深8m付近に三河湾側より多くのクロロフィルaが分布しており、この水深帯に動物プランクトンも多く分布していたと推察される。今後の調査では、採水層と動物プランクトン採取層の設定に工夫が必要である。

以上、栄養塩とプランクトン群集の出現状況との関係について考察したが、1回の調査で得られたプランクトンの細胞数・個体数から検討したものである。今後、栄養塩の変化が食物連鎖に及ぼす影響を考えるうえでは、各生物群のサイズと炭素現存量および生産速度を求めて解析するとともに、時系列変化を追跡する必要がある。自社研究では限界があるが機会があれば挑戦したい。また、当初は植物プラン

クトンの増殖に窒素とリンのどちらが重要となるのか検討したいと考えたが、培養実験はうまくいかなかった。下水処理施設からの高栄養塩濃度の放流水で珪藻の *Skeletonema* 属が増殖することを確認した実験結果はあるが（蒲原ら、2020）、伊勢湾・三河湾の現地海水への栄養塩添加により複数の植物プランクトンが各々どのように応答するか調べた実験結果は多くない。本調査時に実験用として採水した三河湾側 St.1 の上層は栄養塩が枯渇した状態で複数種の珪藻が存在しており、栄養塩添加により異なる応答を確認できた可能性があった。また、出現種が異なる伊勢湾側 St.5 との比較が行えれば、さらに興味深い結果が得られたと思われる。現地海水を用いた実験は条件など難しい面があるが、再度、培養実験を試みたい。

引用文献

- 愛知県（2024a）「第4回愛知県栄養塩管理検討会議 資料3 水質の保全と「豊かな海」の両立に向けた社会実験の結果について」
<https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/523054.pdf> ,
 2024年12月10日確認
- 愛知県（2024b）「第4回愛知県栄養塩管理検討会議 資料5 漁業生産に必要な栄養塩濃度の検討」
<https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/523058.pdf> , 2024年12月10日確認
- 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. 愛知県水産試験場研究報告, 27: 37-40.
- 福留真樹・畑 恭子・中田喜三郎. 2000. 1995年5月～1996年3月の伊勢湾における細菌, *Synechococcus*, ANF, HNF, 植物プランクトン, ネット動物プランクトンの変動と相互の関係. 海洋理工学会誌, 6(1+2): 59-72.
- 古谷 研. 2015. 海洋における植物プランクトンの生理生態と物質循環における役割に関する研究. 海の研究, 24(2): 63-76.
- 廣田佑介. 2023. 三河湾および伊勢湾における物理環境と植物プランクトン群集の比較. 株式会社日本海洋生物研究所 2023年年报, 66-70.
- 橋本慎治・橋本千尋. 2019. 東京湾湾奥部と湾口部の表層におけるサイズ分画クロロフィルa濃度と植物プランクトン群集の季節変動. 水産海洋研究, 83(3): 164-170.
- 橋口晴穂・西川哲也・魚住香織・古澤一思・森 敦史・今尾和正・反田 實. 2022. 播磨灘におけるイカナゴ当歳魚の胃内容物重量指数の経年的低下とその要因. 水産海洋研究, 85(1): 24-32.
- 蒲原 聡. 2023. アサリ湧く豊かな伊勢湾・三河湾に. 愛知県水産試験場研究報告, 28: 47-60.
- 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(2): 69-78.
- 蒲原 聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也. 2018. 三河湾における栄養塩の低下. 愛知県水産試験場研究報告, 23: 30-32.
- 蒲原 聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也・矢澤 孝・宮脇 大・鈴木智博. 2020. 三河湾東部に位置する豊川浄化センター放流口直近の海水を用いた *Skeletonema* spp. の培養. 愛知県水産試験場研究報告, 25: 19-21.

- 気象庁. 1999. 海洋観測指針 (第6章 6.3.3), 118-121.
- 国分秀樹. 2019. 伊勢湾における栄養塩類と水産資源の長期変動. 土木学会論文集B2 (海岸工学), 75(2): I_1123-I_1128.
- 国土交通省中部地方整備局 (2008) 「伊勢湾環境データベース 水質定点観測リアルタイム情報」 https://www.isewan-db.go.jp/real_web/REAL_WEB_buoy/PointSelect/Index, 2024年12月10日確認
- Kuwata, A., Hama, T. and Takahashi, M. 1993. Ecophysiological characterization of two life-forms, resting spores and resting cells of a marine planktonic diatom, *Chaetoceros pseudocurvisetus* formed under nutrient depletion. Marine Ecology Progress Series, 102(3): 245-255.
- 三重県 (2022) 「きれいで豊かな海の実現に向けて」 https://www.pref.mie.lg.jp/MKANKYO/HP/m0057100127_00001.htm, 2024年12月10日確認
- 三重県水産研究所 (2011) 「三重県アサリ資源管理マニュアル」 <https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000394430.pdf>, 2024年12月10日確認
- 森 将人・今尾和正・古賀あかね・橋口晴穂・中田喜三郎. 2020. 三河湾六条渦周辺海域におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* 稚貝の餌料環境. 海洋理工学会誌, 26(1): 11-23.
- 永尾謙太郎・中村由行. 2018. 伊勢湾における窒素・リン濃度に対する微生物ループの応答. 土木学会論文集B2 (海岸工学), 74(2): I_1243-I_1248.
- 永尾謙太郎・中村由行・鶴島大樹・小山悠人. 2019. 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. 土木学会論文集B2 (海岸工学), 75(2): I_1021-I_1026.
- Nakane, T., Nakata, K., Boumoan, H. and Platt, T. 2008. Environmental control of short-term variation in the plankton community of inner Tokyo Bay, Japan. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 78(4): 796-810.
- 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(1): 11-26.
- 曾根亮太・日比野 学・下村友季・鶴崎直文・澤山周平. 2022a. 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. 愛知県水産試験場研究報告, 27: 22-30.
- 曾根亮太・日比野 学・下村友季・鶴崎直文・横内一樹. 2022b. 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. 愛知県水産試験場研究報告, 27: 10-21.
- 田口美緒子・吉岡 基・柏木正章. 2007. 三河湾湾口部におけるスナメリの分布密度の季節変化. 哺乳類科学, 47(1): 11-17.
- 田中陽二・中村由行・鈴木高二郎・井上徹教・西村洋子・内田吉文・白崎正浩. 2011. 微生物ループを考慮した浮遊生態系モデルの構築と伊勢湾への適用. 土木学会論文集B2 (海岸工学), 67(2): I_1041-I_1045.