

令和３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

令和４年３月

国立研究開発法人水産研究・教育機構
国立大学法人香川大学
国立大学法人愛媛大学
兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター
和歌山県水産試験場
香川県水産試験場
一般社団法人全国水産技術協会

目 次

I. 本事業の目的および実施概要	1
II. 令和3年度成果報告	5
1) 栄養塩等の水質環境が沿岸海域の漁業生産に及ぼす影響の解明	
ア. 栄養塩等の水質環境が二枚貝等の餌となる底生性の微細藻類に及ぼす 影響の解明	7
イ. 栄養塩等の水質環境が二枚貝の生産量に及ぼす影響の解明	
① 播磨灘北西部における陸域からの栄養塩供給が二枚貝養殖漁場の生産力に 及ぼす影響の解明	20
② 紀伊水道の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響解明	28
③ 瀬戸内海の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響の評価	38
ウ. 栄養塩等の水質環境が藻場の生物生産力等に及ぼす影響解明	45
エ. 栄養塩等の水質環境が植物プランクトン等の低次生産に及ぼす影響の解明	56
2) 栄養塩等の水質環境が小型魚類の生産量に及ぼす影響の解明	
ア. 栄養塩等の水質環境が小型魚類の餌料環境に及ぼす影響解明	63
イ. 水質環境及び餌料環境と小型魚類生産量との因果関係の評価	
① 燧灘	72
② 備讃瀬戸	82
3) 栄養塩管理方針の検討	98
III. 令和3年度栄養塩の水産資源に及ぼす影響の調査事業検討会	101

I . 本事業の目的および実施概要

本事業の目的および実施概要

事業の目的

近年、内海を中心としてノリをはじめとする養殖藻類の色落ち、二枚貝や小型魚類等の水産資源の減少など生産力の低下が顕著となっており、栄養塩の減少や偏在による生態系への影響が指摘されている。特に、瀬戸内海では貧栄養化による漁業生産の低迷が懸念されており、栄養塩濃度と漁業生産の因果関係についての科学的な検証が喫緊の課題となっている。また、平成 27 年 10 月に施行された改正瀬戸内海環境保全特別措置法では、瀬戸内海における栄養塩類の減少、偏在等の実態の調査、それが水産資源に与える影響に関する研究に努めることとされており、瀬戸内海における栄養塩類の管理の在り方についての検討が求められている。

そこで、本業務では、国立研究開発法人水産研究・教育機構、国立大学法人、県、一般社団法人から組織される研究機関が、瀬戸内海を主要なフィールドとして調査・研究を実施することにより、栄養塩が一次生産を通じてより高次の水産資源に与える影響を調査し、適切な栄養塩管理に資することを目的とする。

事業の内容

1) 栄養塩等の水質環境が沿岸海域の漁業生産に及ぼす影響の解明

ア. 栄養塩等の水質環境が二枚貝等の餌となる底生性の微細藻類に及ぼす影響の解明

潮間帯および潮下帯において底生性の微細藻類および各種環境要因の現場観測を行い、得られたデータから底生性の微細藻類の動態に影響を与える環境要因を抽出する。また、実環境中および研究室内で培養試験を行うことで栄養塩等が底生性の微細藻類の生産に与える影響を調べる。以上の現場観測および培養試験の結果を総合して水質等の環境要因が底生性の微細藻類の動態に及ぼす影響を明らかにする。

イ. 栄養塩等の水質環境が二枚貝の生産量に及ぼす影響の解明

① 播磨灘北西部における陸域からの栄養塩供給が二枚貝養殖漁場の生産力に及ぼす影響の解明

播磨灘北西部沿岸海域（姫路～赤穂市）では、二枚貝養殖漁業（マガキ、アサリ）が盛んである。本研究では貧栄養化が課題となっている播磨灘で、偏在的に生産性の高い当海域の漁場環境特性（陸域からの栄養塩供給及び餌料環境等）を明らかにすることによって、兵庫県瀬戸内海域における今後の栄養塩管理のあり方を考える材料とする。本研究では、漁場の物質循環のうち陸域から漁場への栄養塩供給及び餌料環境に焦点をあてた調査とする。

② 紀伊水道の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響解明

海域における栄養塩等の水質環境が二枚貝の生産性に及ぼす影響を解明するため、二枚貝漁場周辺海域における栄養塩・餌料等の水質等環境調査を実施するとともに、アサリ等二枚貝を用いた飼育試験を実施する。これらの調査により得られた栄養塩濃度や餌料環境、二枚貝の成長量等のデータを解析し、海域の栄養塩動態と二枚貝の生産性との関係を把握する。

③ 瀬戸内海の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響の評価

これまでの浅海定線調査や環境省のデータなどを活用し、瀬戸内海のアサリ、ハマグリなどの二枚貝漁場をモデル海域として栄養塩類と二枚貝生産量の関係を解析する。これにマガキを加え最新の調査手法を用いた二枚貝類の餌の調査研究を進めて、瀬戸内海の二枚貝の生産に及ぼす栄養塩の影響を評価する。

ウ. 栄養塩等の水質環境が藻場の生物生産力等に及ぼす影響の解明

近年の瀬戸内海の栄養塩環境の変化が藻場（アマモ場・岩礁性藻場）の低次生産、餌料供給機能、有用水産生物の育成機能に及ぼす影響を、既往データの収集と解析、現地調査およ

び操作実験等により明らかにする。低栄養塩化が進む沿岸生態系における藻場の意義を評価するとともに、藻場の生物生産力を適切に維持するために必要な栄養塩環境について提言を行う。

エ．栄養塩等の水質環境が植物プランクトン等の低次生産に及ぼす影響の解明

栄養塩等の水質環境が瀬戸内海における低次生物生産の質および量に及ぼす影響を明らかにするために、環境の異なる複数海域で各種珪藻休眠期細胞密度の分布や植物プランクトン群集のサイズ組成等について調査を行う。また、優占する珪藻類の生理・生態特性等について培養試験で調べる。これらの成果から、水質環境が珪藻類の出現種や発生量および植物プランクトン群集のサイズ組成に与える影響を検討する。

2) 栄養塩等の水質環境が小型魚類の生産量に及ぼす影響の解明

ア．栄養塩等の水質環境が小型魚類の餌料環境に及ぼす影響解明

湾・灘における餌料生物の時空間変動を調べる。そのことによって対象水域の餌料環境の特性を明らかにし、さらに年代間や海域間における変動傾向を明らかにする。また種毎の餌料生物の重要性の差異を明らかにするために、小型浮魚の胃内容物調査を行い、得られたデータを活用することで、数値生態系モデル等によって栄養塩および低次生態系の時空間変動について解析する。

イ．環境及び餌料環境と小型魚類生産量との因果関係の評価

① 燧灘

燧灘の海洋環境調査および小型魚類の卵仔魚、成熟・産卵などの調査を進め、過去の調査結果と比較しながら、海洋環境と加入豊度との関連性を検証する。また、農林水産統計のデータベースや既往知見等を利用し、小型浮魚の漁獲量と海洋環境条件の関係などの経年変異を調べる。さらに、既存の生態モデルに使われている生物特性のパラメータを精査し、必要に応じてその情報を飼育実験等により更新する。最終的に得られた情報を統合し、燧灘カタクチイワシを主体とした魚類生産と貧栄養化の関係について考察を進める。

② 備讃瀬戸

備讃瀬戸およびその周辺海域でのイカナゴを代表種として扱い、農林水産統計のデータベースや既往知見等を利用し、イカナゴの漁獲量と海洋環境条件の関係などの経年変化を調べる。さらに、構築する生態系モデルに適用する生物特性のパラメータを収集、精査し、最終的に得られた情報を統合し、備讃瀬戸のイカナゴをモデルケースとした魚類生産と貧栄養化の関係について考察を進める。

3) 栄養塩管理方針の検討

平成30年度から令和2年度にかけて、博多湾をモデルケースとして、現地調査および既往データを活用して内湾漁業生産管理モデルを構築し、下水処理場からの負荷量を変化させた感度解析を行い、博多湾の栄養塩管理に基づく望ましい漁業、養殖業のあり方を検討した。検討結果については、委員会を年2回開催し、専門家の助言を反映させた。

令和3年度は、同様の検討として燧灘のカタクチイワシおよび備讃瀬戸のイカナゴを対象として、栄養塩濃度と各魚種の資源量変動の関係性について生態系モデルを用いて検討を行い、資源量が増大する栄養塩管理方策を検討する。専門家で構成される検討委員会は、年2回開催する。

Ⅱ． 令和 3 年度成果報告

課題番号：1)－ア

課題名：栄養塩等の水質環境が二枚貝等の餌となる底生性の微細藻類に及ぼす影響の
解明

水産研究・教育機構 水産技術研究所
松原 賢，岡村知海，鬼塚 剛，阿部和雄
香川大学農学部
一見和彦，山口一岩

【背景・目的】

近年、我が国沿岸域ではアサリを始めとする二枚貝の水産資源が減少しており、その要因の一つとして餌料生物の不足が指摘されている。二枚貝の餌料生物として、水柱に浮遊する植物プランクトンに加え、潮間帯・潮下帯に生息する底生性の微細藻類が重要であると考えられる。これらのうち植物プランクトンについては、瀬戸内海沿岸の各府県等の観測結果から、栄養塩濃度の低下に伴い、とりわけ浅海域において減少している可能性が指摘されている。一方、底生性の微細藻類については、出現種やその現存量に関する基礎的な情報すら不足しており、栄養塩を始めとした環境変化に対する応答は不明である。そこで本課題では、底生性の一次生産者に焦点を当て、既往の観測データを解析すると共に、潮間帯・潮下帯に生息する優占種の増殖特性および底生性微細藻類の付着特性等を把握する。さらにミクロコズム試験等の現場培養試験，定期および短期集中型のフィールド観測を実施することで、栄養塩等の水質環境が底生性の微細藻類の動態に及ぼす影響を解明し、二枚貝等の餌料環境を保つための適正な栄養塩管理モデルの構築に資することを目的とする。

【方法】

(1) 底生性微細藻類の栄養塩応答の解明

ア) 調査干潟の栄養塩濃度（海底直上水）

新川河口干潟の Stn. B（図 1）において毎月 1 回の頻度で干潮時の海水（干潟縁辺部の水深約 20 cm 地点）を採取し、DIN，DIP および DSi 濃度を測定することで平成 30 年度から本年度まで 4 ヶ年分の観測データを得た。

イ) 連続培養試験

新川河口干潟の優占種として単離された底生珪藻 *Nitzschia dublifomis* を用い、以下の連続培養を実施した。NH₄濃度として 0.25 μM，2.5 μM，25 μM の 3 段階に調製した人工海水培地を 50 mL 容試験管に作成し、試験藻を接種後、20℃，150 μmol/m²/s（12:12 LD）で培養を行った。培養開始から各々の試験管に 1 日当たり 500 mL の培地を供給し（海水交換率≒10 回転／日），試験藻を絶えず低濃度から高濃度の DIN 濃度下に置くことで現場を再現し、その増殖を検証した。

(2) 底生性微細藻類の増殖抑制因子の解明

これまでの観測結果から、水産技術研究所廿日市拠点（広島県廿日市市丸石）に近接する干潟（以降、丸石干潟）では、夏季に底生性微細藻類が減少する傾向が確認された。この要因

として、春期～夏季に海域で繁茂するアオサから底生性微細藻類への増殖抑制作用が考えられたので、室内試験で検討した。試験には 2019 年 10 月に丸石干潟（図 2）から単離した *Nitzschia longissima* の培養株と 2021 年 5 月に同干潟から採取したアオサを用いた。試験区は *N. longissima* を培地で培養する対照区、アオサ培養ろ液で培養するろ液区、アオサ破碎液で培養する破碎液区を設けた。まず、湿重量 0.56 g のアオサ葉体を窒素およびリンを強化した塩分 30 のろ過海水 160 mL に入れ、20℃、光量子束密度 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、明暗周期 12 hL : 12 hD の条件下で 7 日間培養した。その後、培養液を孔径 0.22 μm のヌクレポアフィルターでろ過し、得られたろ過液 40 mL (DIN:294 μM , DIP:0.2 μM , DSi:6.3 μM) に塩分 30 の改変 SWM-3 培地を 10 mL 加えたものを供試ろ液とした。次に、培養後のアオサ葉体を乳鉢で磨砕し、200 mL のろ過海水に懸濁した。磨砕された葉体を除去するため、懸濁液を 3000 rpm で 15 分間遠心分離にかけ、上清を回収し、さらに上清を孔径 0.22 μm のヌクレポアフィルターでろ過した。得られたろ過液 40 mL (DIN:54.6 μM , DIP:3.6 μM , DSi:29.0 μM) に改変 SWM-3 培地を 10 mL 加えたものを供試破碎液とした。また、ろ過海水 40 mL に改変 SWM-3 培地を 10 mL を加えたものを対照区で用いる供試培地とした。これら培地、ろ液、破碎液に初期細胞密度が 500 cells/mL となるよう *N. longissima* を接種し、上記の水温、光条件下で培養し、経時的に細胞密度を調べた (n=3)。

(3) 底生性微細藻類の付着力に影響を与える環境因子の解明

懸濁物食者である二枚貝にとって、底生性微細藻類が基質から剥がれ、再懸濁されやすい環境が好適な餌料環境であると考えられる。これまでの観測結果から、底生性微細藻類の付着力は海域の水温や DIN 濃度に影響を受ける可能性が示されたので、室内試験で検討した。試験には 2020 年 10 月に丸石干潟から単離した *Navicula* sp.を用いた。水温 15, 20, 25, 30℃、光量子束密度 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、明暗周期 12 hL : 12 hD の条件下で *Navicula* sp.の馴致培養を塩分 30 の改変 SWM-3 培地（完全培地）にて行った。各温度条件下において対数増殖期にある培養株を、1 mL ずつ 48 ウェルプレート（6 ウェル）に分注し、1.5 時間上記条件で静置培養した。そして、3 ウェルについては 10 回のピペッティングによる攪拌後に培養液を全量回収し、残り 3 ウェルについては未攪拌で静かに培養液を全量回収した。その後、各ウェルの底面に付着した細胞密度を計数し、次式により付着率 (A, %) を算出した。

$$A = D_m/D_n \times 100$$

ここで、 D_m は攪拌したウェルにおける細胞密度 (cells/well)、 D_n は未攪拌のウェルにおける細胞密度 (cells/well) である。細胞密度の計数は、オールインワン蛍光顕微鏡 (BZ-X800, Keyence, 大阪, 日本) で各ウェルの写真を撮影し、画像データを画像解析ソフト Fiji (<http://fiji.sc/>) に取り込み、cell count 機能により行った。また窒素欠乏が底生性微細藻類の付着力に与える影響を調べるために、各温度条件下で馴致培養された細胞を、窒素源を未添加とした改変 SWM-3 培地 (N 欠培地) に接種し、7 日間培養後に同様の方法で付着力を調べた。

(4) 潮間帯～潮下帯における微細藻類群集の現場動態

ア) 広島県廿日市市の干潟域における観測

2021 年 4 月から 12 月にかけて月に一度、丸石干潟における干潟観測と、ポンツーン（図 2）における表層水の観測を行った。干潟における観測項目は、泥温、水位 5 cm および 50 cm

時の干潟直上水の水温、塩分、栄養塩濃度、表層 0～5 mm の干潟堆積物および各干潟直上水における微細藻類の現存量（Chl *a* 濃度）、サイズ組成および生物組成とした。ポンツーンの表層水における観測項目は水温、塩分、栄養塩濃度とした。干潟堆積物は 10 mL シリンジをカットして作成した小型コアで採取した。水位 5 cm 時の干潟直上水およびポンツーン表層水はバケツで、水位 50 cm 時の干潟直上水は干潟上にシリコンチューブを設置してハンドポンプで吸引することで採取した。干潟の泥温は棒状温度計で測定し、干潟直上水およびポンツーンの表層水の水温、塩分はポータブル水質計（YSI, Pro30）で、栄養塩濃度はオートアナライザー（BL TEC, QuAAtro 39）で測定した。干潟堆積物は分析に先立ち、ろ過海水に懸濁後に静置して上清と沈殿物に分けた。そして上清についてサイズ分画（0.2～2, 2～10, 10～20, >20 μm ）後に Chl *a* 濃度の測定に供し、微細藻類の種組成を光学顕微鏡観察により調べた。干潟直上水における微細藻類の現存量、サイズ組成および生物組成は上清と同様の方法で調べた。

イ) 潮下帯に生息する底生性微細藻類の現場動態

H30 年度から志度湾の Stn. S（図 1：水深約 6 m）において底生性微細藻類の現場動態を調査してきたが、今年度は採泥器を表層泥の攪乱が小さいマルチプルコアラーに変更し、原則毎月 2 回の頻度で水柱光量子量の測定と表層海底泥（0-0.5 ないし 1 cm）の採取を行った。採取した表泥試料から、蛍光顕微鏡を用いて底生珪藻の生息密度を測定すると共に、走光性を用いて微細藻類を捕集し、底生珪藻を中心とする出現微細藻の同定を主に属レベルで行い、その季節変動を検証した。また間隙水中の栄養塩濃度（DIN, DIP および DSi）を測定し、海底到達光量と共に、底生珪藻の動態との相関性を検証した。

(5) 底生性微細藻類の餌料としての重要性検証

ア) 潮間帯に生息する生物群の安定同位体比からの検証

新川河口干潟の Stn. B（図 1）において毎月 1 回の頻度で干潮時に表層堆積物を採取し、250 μm 目合いの篩を通過した堆積物粒子に分画した。これらをプラスチック容器に分注した後、底生微細藻の走光性を利用して捕集し安定同位体分析（ $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ ）に供した。得られた底生珪藻を主体とする底生微細藻の安定同位体比と、調査干潟域でこれまでに得られているその他の一次生産者（植物プランクトン、海藻・藻など）および底生生物の安定同位体比を比較することで餌料源としての底生微細藻を検証した。

イ) 潮下帯に生息する生物群の安定同位体比からの検証

志度湾の Stn. S（図 1）において表層水中の懸濁粒子と植物プランクトンネット試料を、また志度湾の潮下帯石積み岸壁で石面付着有機物（底生微細藻パッチ）を夏季（7 月～9 月）に採取し、それぞれを浮遊系および底生系の一次生産者試料として安定同位体分析（ $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ ）に供した。また同定点における優占出現底生動物についても 8 月、9 月に採取して安定同位体分析を行い、優占底生動物に対する餌料源としての底生微細藻の寄与について調べた。

【結果】

(1) 底生性微細藻類の栄養塩応答の解明

ア) 調査干潟の栄養塩濃度（海底直上水）

令和 3 年における調査干潟の栄養塩濃度（干潮時）は、DIN 濃度として 1.3～77.6 μM （平均値：34.6 μM ）、DIP 濃度は 0.7～11.0 μM （3.6 μM ）、DSi は 12.0～186.3 μM （54.8 μM ）で

推移した。4ヶ年における栄養塩濃度の変動を図3に示す。観測期間を通して、DIN濃度は低水温期に高く、高水温期に低い傾向が見られ、DIP濃度およびDSi濃度は高水温期に最高値を記録する明瞭な季節変動が認められた。底生微細藻類の増殖が最も活発であると考えられる高水温期にDIN濃度が低くなる傾向が見られたものの、その濃度は昨年度の研究成果として報告した半飽和定数(0.86 μM)を常時上回っており、本調査干潟に生息する底生珪藻は周年を通して栄養塩不足による増殖律速を受けていないことが改めて示された。

イ) 連続培養試験

各 NH_4 濃度の培地における連続培養の結果を図4に示す。25 μM の試験区では試験終了時まで蛍光値の増加が認められた。一方、0.25 μM の試験区では培養を開始してから蛍光値が減少し続け、試験藻の増殖は全く認められなかった。また2.5 μM の試験区では、培養の開始後に蛍光値の減少が認められたものの、その後はほぼ一定の蛍光値を維持する状況にあった。昨年度までの研究成果として、底生微細藻増殖の第一制限要因になり易いDIN濃度の半飽和定数は植物プランクトンのそれに類似する1 μM 以下と見積もられたが、現場干潟ではそれよりも明らかに高いDIN濃度で底生微細藻の生物量が制限されている可能性が示唆された。本培養試験の結果は、半飽和定数として得られたDIN濃度よりも高い濃度で底生微細藻の生物量が制限される現場観測の結果を支持するものである。一方で、通常であれば増殖速度が飽和するDIN濃度が与えられている25 μM の試験区においても、その増殖速度は明らかに低かった。試験を実施できた底生微細藻が1種のみであることも含め、本培養試験の結果を更に検証する必要がある。

(2) 底生性微細藻類の増殖抑制因子の解明

図5に対照区、ろ液区、破碎液区における*Nitzschia longissima*の細胞密度の経時変化を示す。対照区では培養9日目まで一貫して細胞密度が増加したが、ろ液区では培養6日目まで、破碎液区では培養5日目までほとんど増加しなかった。その後、ろ液区では培養7日目以降に増加が確認されたが、破碎液区では培養6日目以降減少の一途をたどった。以上のことから、アオサから*N. longissima*への増殖抑制作用は破碎液、培養ろ液の順で高いことが確認され、現場海域においてもアオサの細胞外代謝物や枯死等により排出される細胞内容物により、底生性微細藻類の増殖が抑制されている可能性が考えられた。

(3) 底生性微細藻類の付着力に影響を与える環境因子の解明

図6に完全培地およびN欠培地で培養した*Navicula* sp.の各水温における付着率を示す。本試験の結果、使用した培地にかかわらず、20~30℃においては水温が低くなるほど付着率が高くなるが、15℃では20℃よりも付着率が低くなることが確認された。水温の低下に伴い微細藻の運動性が低下するため、付着力が高くなることが考えられたが、15℃で20℃よりも付着力が低くなる原因は現段階で不明である。また、完全培地における結果とN欠培地における結果を比較すると、特に15~20℃においてN欠培地で付着率が上昇することが確認された。このことから、海域のDIN濃度が低下すると底生性微細藻類が再懸濁されにくくなり、二枚貝の餌料環境としては不都合になる可能性が考えられた。

(4) 潮間帯一潮下帯における微細藻類群集の現場動態

ア) 広島県廿日市市の干潟域における観測

図7に2020年6月から2021年12月における丸石干潟の泥温、各干潟直上水およびポンツーンの上層水における水温およびDINの変動を示す(塩分およびDIPはここでは割愛する)。

泥温および各水温は季節的な変動を示し、8月に年間最高値、1月に年間最低値を示した。DINについては、水位 50 cm 時の干潟直上水とポンツーンの値は類似していたが、水位 5 cm 時の干潟直上水における DIN は概ね高い値を示した。2 ヶ年共通して、10 月から 12 月にかけて水位 50 cm 時の干潟直上水とポンツーンの DIN が上昇する傾向が確認された。

図 8 に 2020 年 6 月から 2021 年 12 月における上清および水位 50 cm 時の干潟直上水における微細藻類群集のサイズ組成と Chl *a* 濃度の変動を示す（水位 5 cm 時の干潟直上水についてはここでは割愛する）。上清よりも直上水で >20 μm サイズおよび 0.2~2 μm サイズの割合が高い傾向が確認された。

図 9 に 2020 年 6 月から 2021 年 12 月における上清および水位 50 cm 時の干潟直上水における、鞭毛藻類、浮遊性の微細藻類、浮遊性と底生性の両方の性質をもつ微細藻類（ここでは中間と標記する）、底生性の微細藻類の割合と、全微細藻類の細胞密度の変動を示す（水位 5 cm 時の干潟直上水についてはここでは割愛する）。また、底生性の微細藻類については、科レベルで分類した細胞密度の変動も図 10 に示す。上清においては、2020 年の 8 月を除き底生性の微細藻類が優占していた。一方、直上水においては、2020 年の 11、12 月、2021 年の 6、7 月を除き浮遊性の微細藻類が優占する傾向であった。このことから、丸石干潟では底生性の微細藻類はあまり再懸濁されず、二枚貝の餌としては浮遊性の微細藻類が重要である可能性が考えられた。科レベルで分類した底生性の微細藻類に着目すると、上清においては *Navicula* 科が優占することがほとんどであったが、直上水においては *Bacillaria* 科 (*Nitzschia* 科) が優占することがほとんどであった。これは *Bacillaria* 科よりも *Navicula* 科の方が付着力が強く、再懸濁されにくいためと考えられた。観測データから、*Navicula* 科の付着力に影響を与える環境因子を抽出するために、まず次式により再懸濁指数 (*I*) を算出した。

$$I = D_w/D_t$$

ここで、 D_w は直上水における *Navicula* 科の細胞密度 (cells/mL)、 D_t は上清における *Navicula* 科の細胞密度 (cells/cm²) である。そして、算出された再懸濁指数と各種環境因子との相関を調べたところ、直上水の DIN 濃度との間に正の相関が確認され (図 11)、DIN が高いほど *Navicula* 科は再懸濁されやすいことが示された。本結果は、室内試験の結果とも一致するものであり、栄養塩環境は底生性微細藻類の付着力に作用し、再懸濁量に影響を与えている可能性が考えられた。

イ) 潮下帯に生息する底生性微細藻類の現場動態

令和 3 年における底生珪藻の生息密度の周年変動を図 12 に示す。過年度と同様、冬季から春季にかけて底生珪藻の生息密度が高くなる傾向や、海底到達光量の増加に応じて生息密度が増す傾向が認められたが、採泥器を表泥の攪乱が少ないマルチプルコアラーに変更した今年度は、生息密度と海底到達光量により高い正の相関関係が認められた (図 13)。また昨年度までの観測では間隙水中の栄養塩濃度と底生珪藻の生息密度に関係性は認められなかったが、今年度の観測では両者に有意な負の相関性が初めて認められ (図 14)、レッドフィールド比に類する減少比 (N/P : 12-13, Si/N : 3-4) から底生微細藻による栄養塩取り込みの影響が示唆された。

調査定点で出現した微細藻類として、底生珪藻の *Navicula* 属と *Nitzschia* 属が優占しており、

この 2 属で周年を通して 40%~80%程度を占めていた。また 春から夏にかけては大型種の *Pleurosigma* 属、冬から早春には *Cylindrotheca* 属の相対出現頻度も高かった (図 15)。

(5) 底生性微細藻類の餌料としての重要性検証

ア) 潮間帯に生息する生物群の安定同位体比からの検証

Stn. B (図 1) で得られた底生微細藻の $\delta^{13}\text{C}$ 値および $\delta^{15}\text{N}$ 値を (図 16) に示す。 $\delta^{15}\text{N}$ 値は 11 月を除き大きな変動は見られなかった一方で、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は 2 月 (-22.9) から 10 月 (-17.1 $\pm$ 0.2) にかけて明瞭な増加傾向が認められ、調査干潟域に生息する底生微細藻の $\delta^{13}\text{C}$ 値は大きく季節変動することが明らかとなった。調査干潟において香川大学がこれまでに測定した一次生産者に関する $\delta^{13}\text{C}$ 値として、アマモ、アオサ、付着有機物でそれぞれ-8.8‰, -9.2‰, -11.2‰と高く、沖合および干潟直上の水柱懸濁物 (≒植物プランクトン) でそれぞれ-21.6‰および-23.4‰の値が得られている。すなわち底生微細藻の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、低水温期には植物プランクトンが有する $\delta^{13}\text{C}$ 値に類似しているが、水温の上昇と共に付着系の一次生産者に近づくと考えられる。今後、底生微細藻の $\delta^{13}\text{C}$ 値が大きく変動する要因を検証する予定である。

また、本研究で得られた底生微細藻の $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値と、調査干潟域でこれまでに得られている一次生産者および底生生物のそれを加えて図 16 に示した。図 16 を概観すると、濾過食者の二枚貝や多毛類は底生微細藻を含めた微細藻類を主な餌料源とし、腹足類やカニ類についてはこれに加え付着系の一次生産者も主な餌料源になっていると推察された。

イ) 潮下帯に生息する生物群の安定同位体比からの検証

Stn. S で得られた表層水中の懸濁粒子、付着有機物および底生動物の $\delta^{13}\text{C}$ 値および $\delta^{15}\text{N}$ 値を図 17 に示す。なお、表層水中の懸濁粒子の中には一部植物プランクトンネット試料の値が含まれているが、両者の $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ 値には大差が無かったため、ここでは便宜上、一括して懸濁粒子と称する。懸濁粒子の $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ 値はそれぞれ-21.3 $\pm$ 1.2 および 10.7 $\pm$ 0.6‰, 付着有機物のそれは-14.7 $\pm$ 2.3‰および 11.6 $\pm$ 0.8‰であった。底生動物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は-18.1‰~-15.2‰, $\delta^{15}\text{N}$ 値は 11.2‰~17.3‰の範囲にあった。図 17 の結果より、調査海域で優占する底生動物は浮遊系と底生系の一次生産者をどちらも餌料として利用していると考えられたが、概して浮遊系よりも底生系の一次生産者への依存度がやや高いと考えられた。



図1 観測を実施した潮間帯および潮下帯の定点

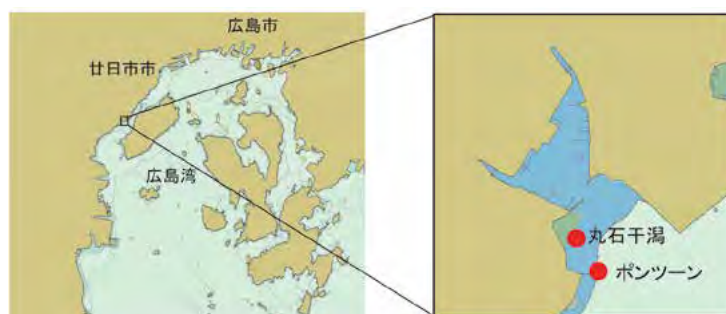


図2 広島県廿日市市の観測定点

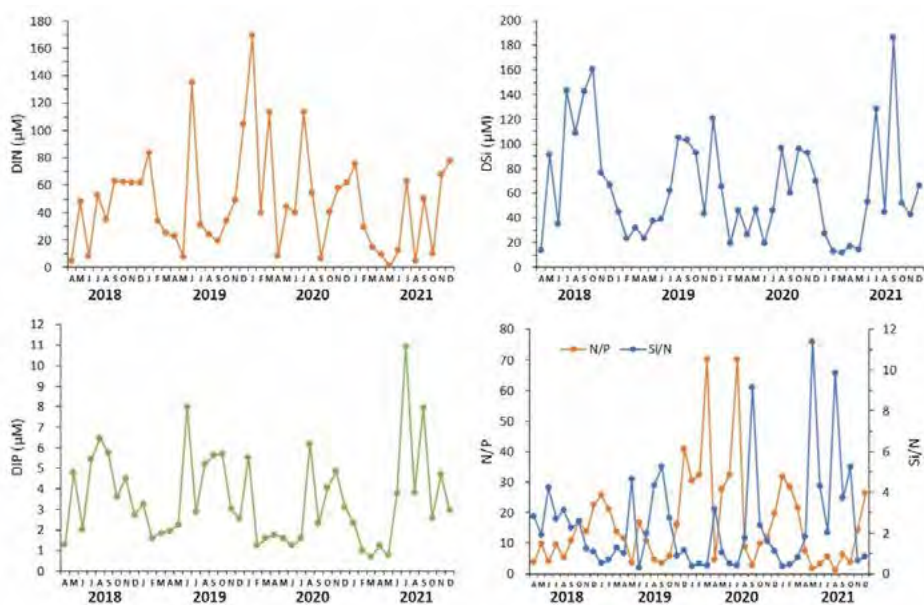


図3 新川河口干潟 (Stn. B) における干潮時の海水中の DIN 濃度, DIP 濃度, DSi 濃度およびその組成比 (モル濃度)