

平成31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2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者協会

目 次

I. 本事業の目的および実施概要	1
II. 平成 31 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生産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	19
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	26
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	35
ウ. 栄養塩等の水質環境が藻場生産に及ぼす影響解明	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	54
2) 栄養塩等の水質環境が小型浮魚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浮魚の餌料環境に及ぼす影響解明	62
イ. 水質環境や餌料環境と小型浮魚生産量との因果関係の評価	69
3) 栄養塩管理方針の検討	75
III. 平成 31 年度栄養塩の水産資源に及ぼす影響の調査事業検討会	97

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) 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に及ぼす影響を明らかにする。

1) イ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、兵庫県の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。

1) イ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。

1) イ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。既往知見に最新データを用いた解析を行うとともに、本事業で得られた成果を加え、最終的には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。

1) ウ．栄養塩等の水質環境が藻場生産に及ぼす影響解明

近年の瀬戸内海の水質環境の変化が藻場（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。

1) 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。また、既往データの収集および解析を行い、瀬戸内海における栄養塩等の水質環境の変動要因を明らかにする。

2) ア．栄養塩等の水質環境が小型浮魚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。

2) イ．水質環境や餌料環境と小型浮魚生産量との因果関係の評価

燧灘およびその周辺海域での海洋環境調査およびカタクチイワシの卵仔魚、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、湾・灘の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ーを精査し、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 29 年度には全国の 14 の内湾において、栄養塩と漁業との関連および栄養塩の偏在等による漁業上の問題点等を把握するための実態調査が行われている。これは、将来的に内湾漁業生産管理モデルを構築し、適切な栄養塩管理方策を策定することを目的としている。平成 30 年度は、平成 29 年度に実態調査が行われた中から博多湾をモデル海域に選定し、現地調査を実施してモデル構築に必要なデータ等を取得した。平成 31 年度は、取得した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、再現計算を行い精度の検証を行う。

Ⅱ．平成 3 1 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 瀬戸内海区水産研究所

松原 賢，阿保勝之，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沈降速度を把握し、さらにマイクロゾ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) 既往データの解析

H30 年度には 25 ヶ年に亘って観測を継続してきた香川県高松市の新川河口干潟（図 1）の調査データ（図 2）を用い、底生性微細藻類の生物量変動（Chl *a* 含量として）と環境因子との関連について解析した結果、Chl *a* 含量の年間変動は光量子量に制御されていることが明らかになった。今年度は 1990 年代、2000 年代、さらに 2011 年～2014 年と明らかな Chl *a* 含量の減少が確認されている 2015 年以降に分割し、その経年変動を解析した。

(2) 底生性微細藻類の増殖特性の解明

新川河口干潟（図 1）で周年を通して観察される底生珪藻 *Nitzschia* sp. を単離し、培養株を得た。本株について、NH₄ を窒素源に 0～25 μM の 5 段階で室内培養を行い（20℃、200 μmol/m²/s）、培養開始から毎日一定量の培養液を採取、各試験区の NH₄ 濃度と細胞密度を測定することで、日平均の NH₄ 濃度に対する本種の増殖速度（μ/d）を算出した。得られた結果から、本種の最大増殖速度に対する半飽和定数（K_μ）を算出した。PO₄ に対する増殖応答も、0～2.5 μM の試験区にて培養試験を行い、同様に増殖速度と半飽和定数を求めた。また現場干潟の栄養塩濃度を測定する目的で、同調査干潟において毎月 1 回の頻度で干潮時と満潮時（海底直上海水）に海水を採取した。また現場干潟における検証として、2019 年 6 月および 9 月

に香川県沿岸の栄養度が異なる 5 箇所の潮間帯（図 1）において、表層堆積物中の Chl *a* 含量を測定すると共に、海水中の栄養塩濃度を測定した。得られた結果より、現場の栄養塩濃度に対する底生性微細藻の現存量（Chl *a* 含量として）を評価した。

（3）現場底生性微細藻類群集を用いた増殖特性の解明

昨年度実施した培養試験（希釈法）の結果、干潮時に採取した干潟堆積物中には微細藻類の増殖に影響するほどの捕食者は存在しないことが確認された。そこで本年度は希釈法ではなく、干潟堆積物を再懸濁することで得られる底生性微細藻類群集を栄養塩条件の異なる培地にてそのまま培養し、窒素およびリンが現場底生性微細藻類群集の増殖制限因子となっているか検討した。試験には 2019 年 6 月 4 日および 9 月 30 日に瀬戸内海区水産研究所（広島県廿日市市丸石）に近接する干潟（以降、丸石干潟）で干潮時に採取した表層 0-5 mm の干潟堆積物を用いた。採取した堆積物は速やかに研究室に持ち帰り、よく混合して 15 mL 容の遠沈管 20 本に 1 g ずつ入れた。20 本の中から無作為に選択した 5 本について、現場ろ過海水を 10 mL 添加し、懸濁後に静置して底生性微細藻類を含む上清を回収した。この上清は培養前の Chl *a* 濃度分析用として、直ちに GFF フィルターでトラップして DMF に浸漬し、分析まで -20℃ で保存した。残り 15 本のうち、5 本は窒素・リン無添加の対照区用、5 本は窒素添加区用、5 本はリン添加区用とした。対照区についてはろ過海水を、窒素添加区については DIN で 20 μM 上昇するよう NaNO₃ をろ過海水に添加したものを、リン添加区については DIP で 2 μM 上昇するよう NaH₂PO₄ をろ過海水に添加したものを堆積物の入った遠沈管に 10 mL 添加して同様に上清を回収した。回収した各上清は別の 15 mL 容の遠沈管にそれぞれ移し、人工気象器で 24 時間後述の条件で培養後、Chl *a* 濃度分析用にサンプル処理（GFF フィルターにてトラップ、DMF 抽出）を行った。培養条件は、温度は試料採取時の干潟縁辺部の海水の温度（6 月は 23℃、9 月は 26.5℃）、光量子束密度は 600 μmol/m²/s、明暗周期 12 hL : 12 hD とした。培養後の Chl *a* 濃度を培養前の Chl *a* 濃度で除した値を、各試験条件下における底生性微細藻類群集の増加率とした。

（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

2019 年 5 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、瀬戸内海区水産研究所のポンツーン（図 3）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、干潟縁辺部海水の水温、塩分、栄養塩濃度、表層 0-5 mm の干潟堆積物および干潟縁辺部海水における微細藻類の現存量（Chl *a* 濃度・含量）、サイズ組成および種組成とした。また、ポンツーンの上層水における観測項目は水温、塩分、栄養塩濃度、微細藻類の現存量（Chl *a* 濃度）およびサイズ組成とした。干潟の泥温は棒状温度計で測定し、干潟縁辺部海水およびポンツーンの上層水の水温、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。そして上清はサイズ分画（0.2~2, 2~10, 10~20, >20 μm）後に、沈殿物はそのまま Chl *a* 濃度および含量の測定に供した。また、上清に含まれる微細藻類の種組成を光学顕微鏡観察により調べた。干潟縁辺部海水およびポンツーンの上層水における微細藻類の現存量およびサイズ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 年度に引き続き、志度湾の Stn. S（図 1：水深約 6 m）において毎月 1 回の頻度で水柱

光量子量の測定と海底泥の採取を行った。海底泥については表層から 5 mm 深までを分取し、間隙水中の栄養塩濃度および Chl *a* 含量を測定すると共に、蛍光顕微鏡を用いて底生珪藻の計数を行った。得られた底生珪藻の細胞密度と栄養塩濃度および Chl *a* 含量の相関性を評価すると共に、海底に到達する光量子量を試算し、底生珪藻の存在密度との関係性について解析した。

(5) 底生性微細藻類の餌料生物としての重要性に関する検証

Stn. S において毎月 1 回の頻度でスミスマッキンタイヤ採泥器により海底堆積物を採取し、1 mm 目合いの篩上に残るマクロベントスを採集した。得られたベントスサンプルは可能な限り種分けし、その出現状況をモニターした。また、得られた生物試料の安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$) を測定すると共に、同海域で採取した一次生産者(底生性微細藻類、懸濁粒子、アマモ等)についても同様に安定同位体比の測定を行った。

【結果】

(1) 既往データの解析

1990 年代および 2000 年代共に春季(3 月～4 月)および夏季(7 月～8 月)に明瞭に Chl *a* 含量が高くなる二山型の季節変動が認められた(図 4)。H30 年度成果に示した通り、Chl *a* 現存量は原則的に温度と光量子量に制御され、5 月～6 月の梅雨期には日射量の減少によって Chl *a* 含量が低下していると考えられた。2011 年～2014 年も年間の変動傾向は同様であったが、夏季の Chl *a* 含量が明らかに低下した。さらに 2015 年以降は夏季の含量増加が観察されなくなると共に、年間を通して Chl *a* 含量の低下が認められた。Chl *a* 含量の経時変化について、散発的に測定されている栄養塩濃度や底質の粒度組成のほか、光量子量、河川流量等の影響について解析を試みたが、明確な関係性は見出されなかった。とりわけ高水温期における餌料生物の減耗は底生生物の生残および再生産に大きな影響を及ぼすと考えられることから、今後も継続して解析を実施する。

(2) 底生性微細藻類の増殖特性の解明

Nitzschia sp. の NH_4 濃度に対する増殖応答を図 5 に示す。本培養条件下における本種の最大増殖速度(μ)は 1.23/d と見積もられ、ミカエリスメンテン式から算出された半飽和定数(K_μ)は 0.09 μM を示した。同様に PO_4 濃度に対する増殖応答として、最大増殖速度(μ)は 1.34/d、半飽和定数は 0.05 μM を示し、窒素およびリンに対するいずれの半飽和定数も小さかった。一方で、調査干潟域で観測された DIN 濃度および PO_4 濃度は、それぞれ 1.2～135 μM および 0.3～8 μM で推移し、恒常的に本種の半飽和定数を上回っていた(図 6 : DIN 濃度のみ示す)。したがって、本種は周年を通して低栄養による増殖抑制を受けていないと考えられた。

香川県下の 5 潮間帯において観測を実施した結果、相対的に栄養塩濃度が低い潮間帯(有明浜、園の洲)では Chl *a* 含量も低く、栄養塩濃度が高い河口干潟(綾川、新川、鴨部川の各河口)では Chl *a* 含量が高い明瞭な傾向が認められた(図 7)。Chl *a* の現存量は様々な環境因子によって定まると考えられるが、今年度の研究成果は、現場干潟の Chl *a* 現存量が栄養塩濃度により制御されている可能性を示唆するものである。

(3) 現場底生性微細藻類群集を用いた増殖特性の解明

図 8 に 6 月および 9 月に実施した試験の結果を示す。6 月の試験における対照区、窒素添

加区，リン添加区の増加率はそれぞれ 1.05, 1.05, 1.12 であり，リン添加区において対照区および窒素添加区よりも増加率が高かった。一方，9 月の試験における対照区，窒素添加区，リン添加区の増加率はそれぞれ 0.80, 0.75, 0.80 であり，いずれにおいても培養後に底生微細藻類は減少した。6 月の試験のリン添加区において増加率が高かったが，試験に使用した基礎海水 (=現場海水) の DIP は $0.8 \mu\text{M}$ であり，底生微細藻類のリンの取り込み速度に対する半飽和定数の $3.0\sim 4.0 \mu\text{M}$ (Kwon et al., 2013) よりも低かったことから，6 月の丸石干潟における底生微細藻類はリン制限下にあった可能性が示唆された。一方，9 月の全ての試験で底生微細藻類が減少した要因は現段階で不明であり，今後植物プランクトン等競合生物からの多感作用などを考慮した検討を進める予定である。

(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

図 9 に丸石干潟の泥温，干潟縁辺部海水およびポンツーンの表層水における水温，塩分および各種栄養塩濃度の変動を示す。泥温，干潟縁辺部およびポンツーンにおける水温はそれぞれ $15.7\sim 30.5^{\circ}\text{C}$ ， $15.8\sim 29.2^{\circ}\text{C}$ ， $15.2\sim 28.4^{\circ}\text{C}$ の範囲で変動した。5～9 月までは泥温が水温よりも $0.2\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 高く，10 月以降は泥温が水温よりも低くなる傾向を示した。干潟縁辺部およびポンツーンの塩分はそれぞれ $19.8\sim 28.1$ および $20.8\sim 28.6$ の範囲であり，干潟縁辺部で低い傾向を示した。栄養塩については，DIN，DIP とともに干潟縁辺部でポンツーンよりも常に高く，干潟縁辺部の DIN は 6，11 月を除き $15 \mu\text{M}$ を上回っており，DIP は常に $1 \mu\text{M}$ 以上の値を示した。

図 10 に堆積物全体（上清＋沈殿物），上清，干潟縁辺部海水およびポンツーンの表層水における Chl *a* 含量および濃度の変動を示す（干潟縁辺部海水以外は，2018 年度の結果も合わせて示す）。堆積物全体における Chl *a* 含量は $0.7\sim 5.5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ の範囲で変動し，2018 年度と同様に 5～6 月に高く 7 月以降に低下し，その後 12 月まで大きく増加することはなかった。また，上清における Chl *a* 濃度は $0.3\sim 2.1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ の範囲で変動し，堆積物全体の Chl *a* 含量と同様の季節変動を示した。干潟縁辺部の Chl *a* 濃度は $4.5\sim 69.1 \mu\text{g}/\text{L}$ の範囲で変動し，5 月に特に高い値を示した。ポンツーンにおける Chl *a* 濃度は $1.6\sim 25.7 \mu\text{g}/\text{L}$ の範囲で変動し，昨年度は 6 月に最高値が確認されたが，今年度は 7 月に確認された。

図 11 に上清，干潟縁辺部海水およびポンツーンの表層水に含まれる微細藻類群集のサイズ組成の変動を示す。上清では概して $10\sim 20 \mu\text{m}$ サイズの割合が周年を通して高かったが，干潟縁辺部では $>20 \mu\text{m}$ サイズの割合が高く，ポンツーンでは上清，干潟縁辺部よりも $0.2\sim 2 \mu\text{m}$ サイズの割合が高い傾向を示した。

図 12 に上清および干潟縁辺部海水に含まれる微細藻類の細胞密度と生物組成の変動を示す。上清においては，5 月および 6 月の微細藻類の細胞密度は $10,000 \text{ cells}/\text{cm}^2$ を上回っていたが，7 月には $3,587 \text{ cells}/\text{cm}^2$ まで減少し，以降は $10,000 \text{ cells}/\text{cm}^2$ を上回ることにはなかった。一方，干潟縁辺部では 5 月および 8 月に $3,000 \text{ cells}/\text{mL}$ を上回ったが，それ以外の月は $95\sim 516 \text{ cells}/\text{mL}$ の範囲であった。浮遊性および底生性の微細藻類の組成に着目すると，干潟縁辺部で浮遊性微細藻類の割合が高く，特に 6～10 月は浮遊性の割合が 50 % を上回っていた。科レベルで分類した生物組成を見ると，上清については期間を通じて *Navicula* 科，次いで *Bacillariaceae* 科 (*Nitzschia* 科) が優占する傾向が見られ，一方干潟縁辺部ではそれら 2 科に加え，7 月には *Chaetoceros* 科が，8～10 月には *Skeletonema* 科が優占した。なお，6 月の干潟

縁辺部で *Bacillariaceae* 科 (*Nitzschia* 科) の割合が高くなっていたが、これは浮遊性の *Pseudo-nitzschia* spp. の増加によるものである。

本観測の結果、丸石干潟の堆積物における微細藻類の現存量は春季に高いものの夏季以降に減少した。夏季において干潟上の微細藻類の増殖を抑制する要因として、高温および高光強度が考えられるが、それらは干潟由来の *Nitzschia* spp. の増殖を抑制しないことが分かっている（一見ほか、2008）。また、栄養塩についても、干潟縁辺部の DIN は微細藻の増殖に十分な量存在すると考えられ、DIP についても増殖を抑制するほど低濃度とは思われない。干潟縁辺部における微細藻組成を見ると、6~10 月にかけては特に浮遊性の割合が高くなっており、浮遊系と底生系で競合が起こりやすい期間である可能性がある。今後、浮遊性の微細藻類と底生性の微細藻類との競合関係を、温度別に調べる予定である。

今年度は新たに、干潟縁辺部海水における生物データも取得した。これは、上清を得るために行っている干潟堆積物の人為的な再懸濁が、干潟縁辺部での巻き上がりを再現しているか否か検証するためである。上清および干潟縁辺部におけるサイズ組成および生物組成を比較すると、干潟縁辺部では上清よりも $>20\ \mu\text{m}$ サイズの割合が高い傾向であり、また浮遊性の割合が高いことから、両試料の単純な比較では検証にならない。そこで、両試料中の底生微細藻類 *Navicula* spp. および *Nitzschia* spp. の細胞密度について整理したところ、上清の細胞密度と干潟縁辺部の細胞密度の間に正の相関 (*Navicula* spp. : $R^2=0.5844$, $p<0.05$, *Nitzschia* spp. : $R^2=0.6626$, $p<0.05$) が確認された。このことから、人為的な再懸濁は干潟縁辺部での底生微細藻類の巻き上がりがある程度再現出来ていることが示された。

イ) 潮下帯に生息する底生性微細藻類の現場動態

底生珪藻の細胞密度の季節変動を図 13 に示す。2018 年の細胞密度は冬季から春季にかけて高く、それ以降は低い密度で推移した。2019 年は低水温期にも高い細胞密度は観察されず、9 月にのみ明瞭に高い細胞密度が認められた。表層堆積物中の Chl *a* 含量も類似した季節変動を示し、底生珪藻の細胞密度と Chl *a* 含量には強い正の相関関係が認められた（図 14）。以上の結果から、海底表層堆積物の Chl *a* 含量をモニターすることで底生珪藻の季節的消長をおおよそ検証できることが示された。また、底生珪藻の細胞密度と日積算海底光量子量の季節変動は同調する傾向にあり（図 13）、両者には有意な正の相関関係が認められた（図 15）。なお、堆積物間隙水中の栄養塩濃度と底生珪藻の密度には関係性が認められず、以上の観測結果から、本調査海域に生息する底生珪藻の増減は主として光量子量に依存している可能性が改めて示された。

(5) 底生性微細藻類の餌料生物としての重要性に関する検証

出現したマクロベントスの季節変動を図 16 に示す。個体数は、イトゴカイ、クモヒトデ類、シズクガイ等を優占種として 7 月を最大に増加する傾向にあり、秋季には大きく減少した。生物量は春季から夏季にかけて高く、クモヒトデ類のほか、ホトトギスガイおよびソトオリガイ等の二枚貝が優占した。安定同位体の解析結果を図 17 に示す。一次生産者の分析値（平均値）として、懸濁粒子の $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ はそれぞれ -19.3‰ および 10.1‰ 、同様に底生微細藻類は -13.3‰ および 10.5‰ 、アマモは -13.3‰ および 9.0‰ であった。なお、瀬戸内海域で測定されている既往知見として、懸濁粒子の $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ には -20.6‰ および 9.0‰ 、底生微細藻類には -15.4‰ および 9.6‰ が報告されており、本研究で得られた $\delta^{13}\text{C}$ の分析値はこれらと比較して幾分高い値である。また二枚貝を主体とした懸濁物食者の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は -21‰ 、 12‰

前後、イトゴカイやナマコ等の堆積物食者の $\delta^{13}\text{C}$ は -18‰ ～ -16‰ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は 12‰ ～ 13‰ 、チロリ、カニ類および魚類に代表される肉食・雑食者の $\delta^{13}\text{C}$ は -19‰ ～ -15‰ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は 13‰ ～ 17‰ の範囲にあった。食物連鎖の栄養段階が一段階上がるごとに $\delta^{13}\text{C}$ で 1‰ 、 $\delta^{15}\text{N}$ で 3‰ 上昇することを考慮すると、懸濁物食者は水柱の懸濁粒子（主に植物プランクトン）を摂餌しており、また肉食・雑食者は堆積物食者を摂餌し、堆積物食者は底生微細藻類と水柱から供給された懸濁粒子の両者を利用していると解釈された。

【参考文献】

一見和彦, 山下裕明, 澤山 稔, 多田邦尚, 門谷 茂. 新川・春日川河口干潟域（瀬戸内海播磨灘）に生息する底生微細藻類の増殖ポテンシャル. 日本プランクトン学会報, 55, 1-8, 2008.

Kwon HK, Oh SJ, Yang HS. Growth and uptake kinetics of nitrate and phosphate by benthic microalgae for phytoremediation of eutrophic coastal sediments. *Bioresource Technology*, 129, 387-395, 2013.



図1 香川県における観測定点

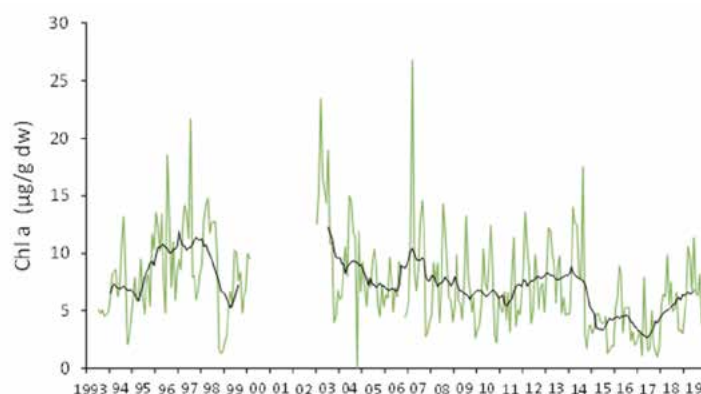


図2 新川河口干潟（Stn. B）における表層堆積物中の Chl a 含量
（黒線は 13 ヶ月の移動平均値を示す）

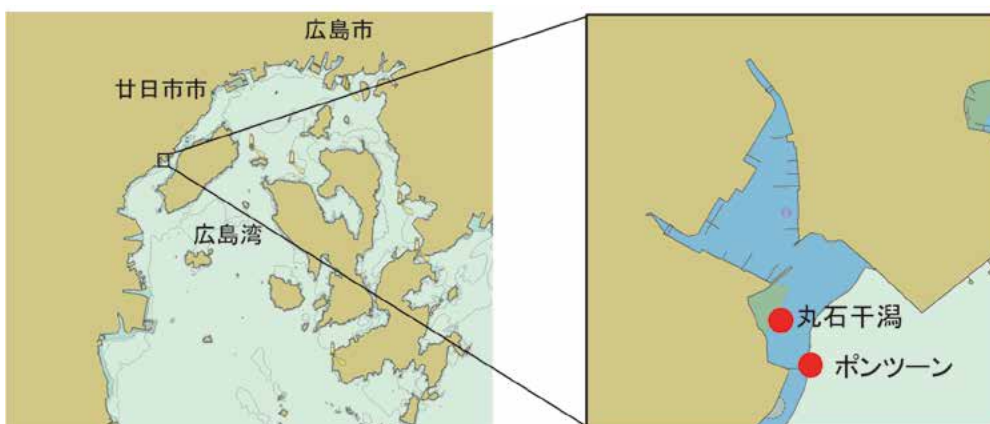


図3 広島県廿日市市の観測定点

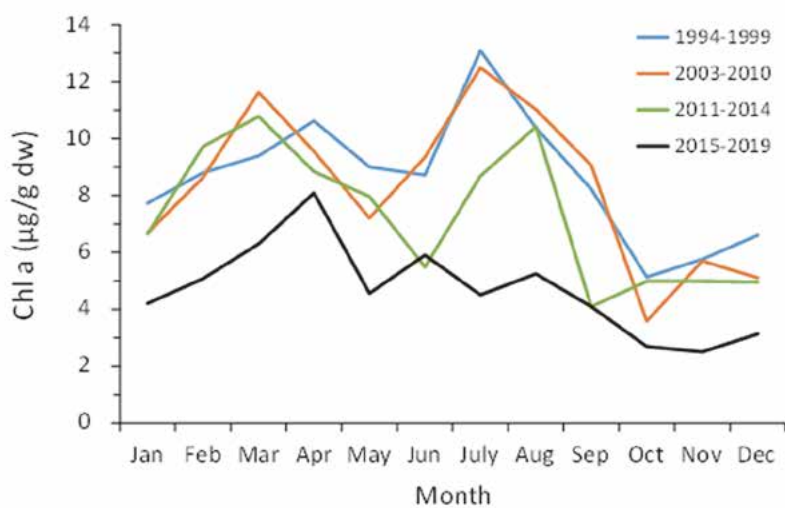


図4 各年代における Stn. B の表層堆積物中の Chl *a* 含量の月平均値

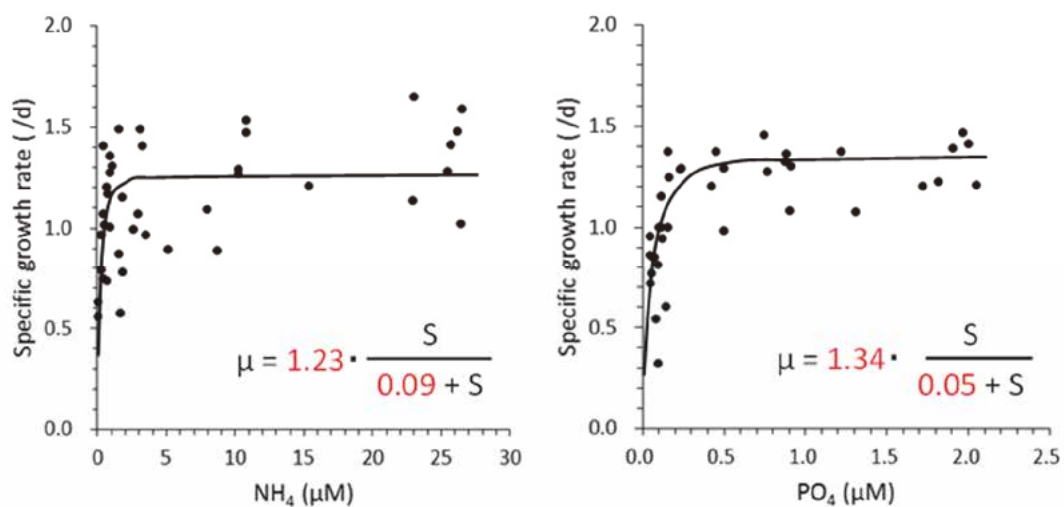


図5 *Nitzschia* sp.の NH_4 濃度および PO_4 濃度に対する増殖応答

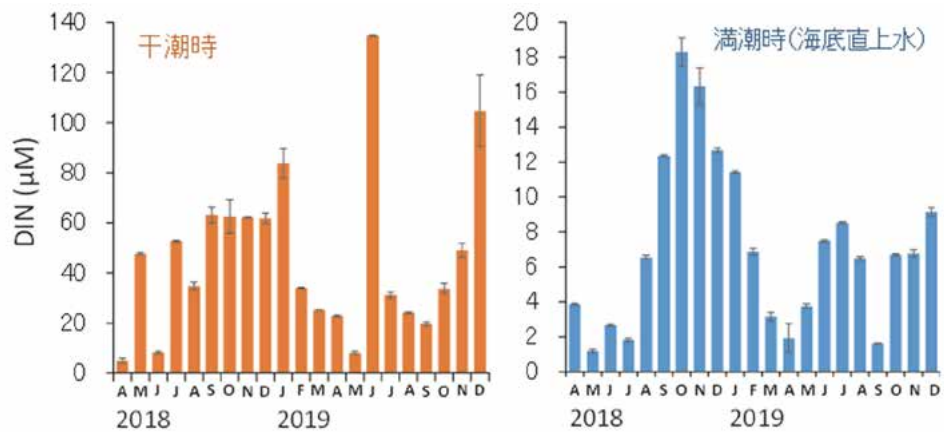


図6 新川河口干潟における DIN 濃度の季節変動

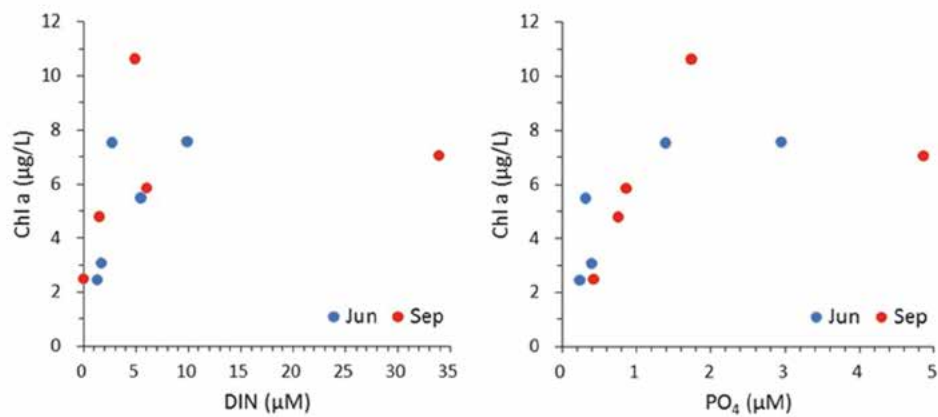


図7 香川県下5箇所の潮間帯で測定した栄養塩濃度と Chl *a* 含量の関係

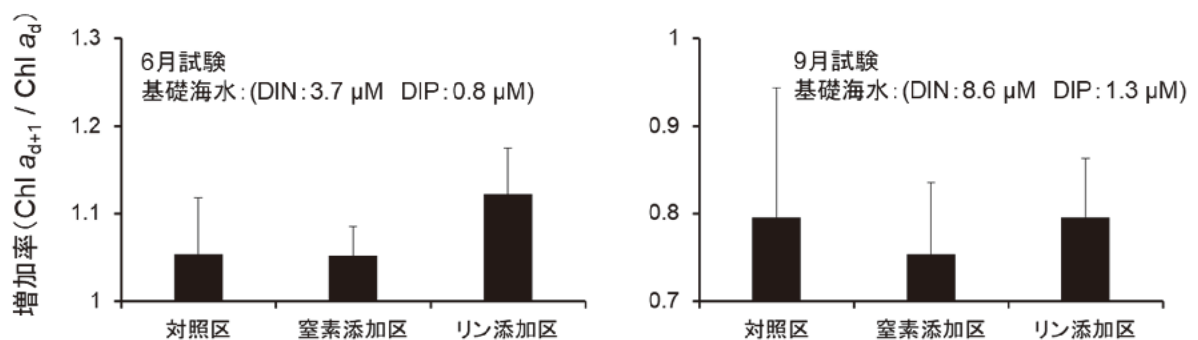


図8 6月および9月の丸石干潟における現場底生性微細藻類銀集を用いた培養試験の結果
(図中には基礎海水の栄養塩濃度を記載)

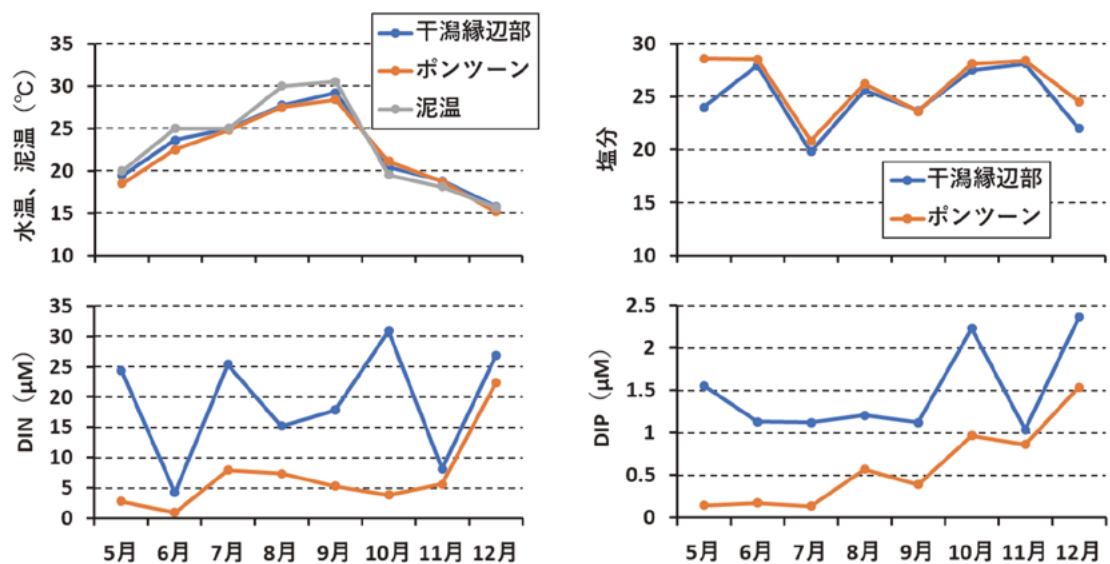


図9 2019年5月から12月の丸石干潟域における水温、泥温、塩分、DIN、DIPの変動

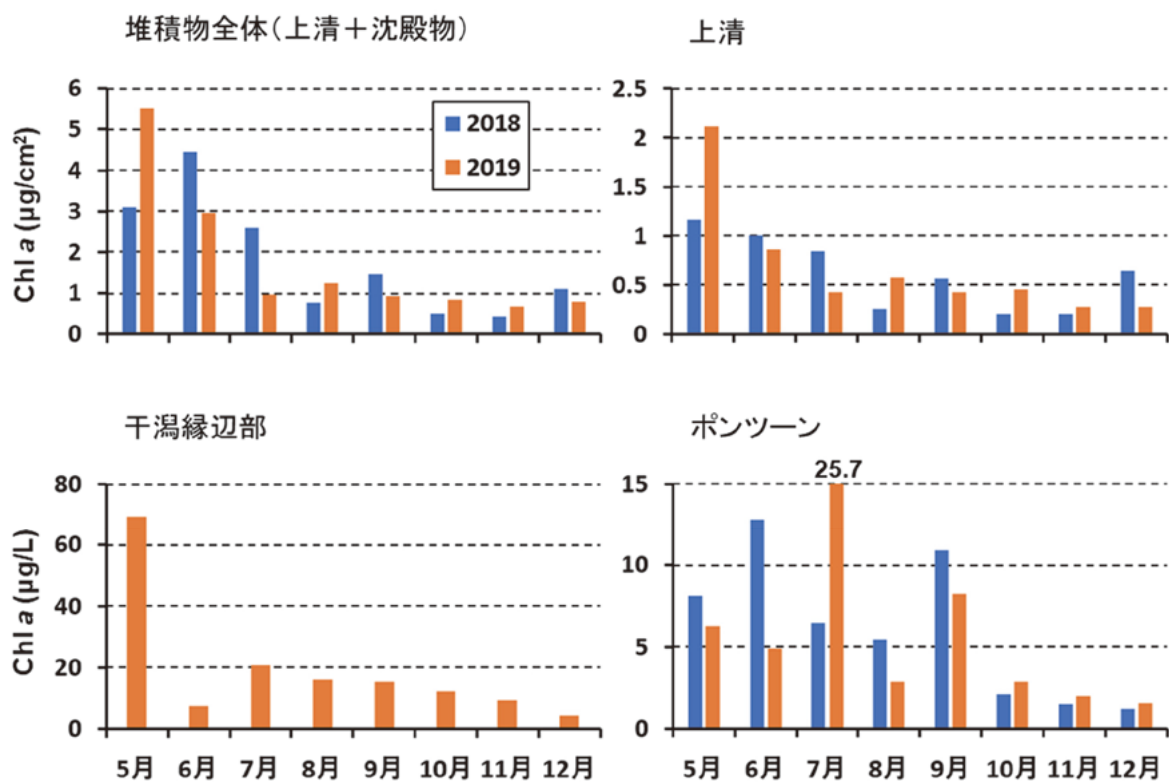


図10 2018年および2019年の5月から12月の丸石干潟における堆積物全体のChl *a* 含量と干潟堆積物から得られた上清、干潟縁辺部海水（2019年のみ）およびポントーン表層水のChl *a* 濃度の変動

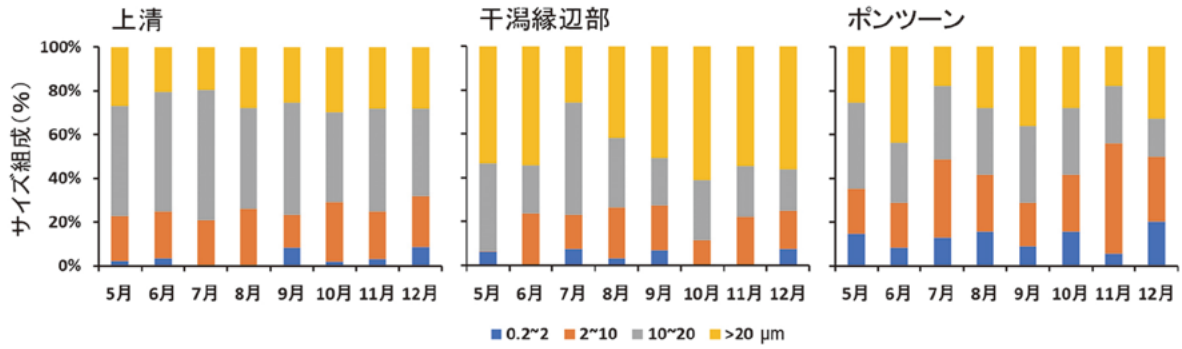


図 11 丸石干潟の堆積物から得られた上清，干潟縁辺部海水，ポンツーン表層水に含まれる微細藻類群集のサイズ組成

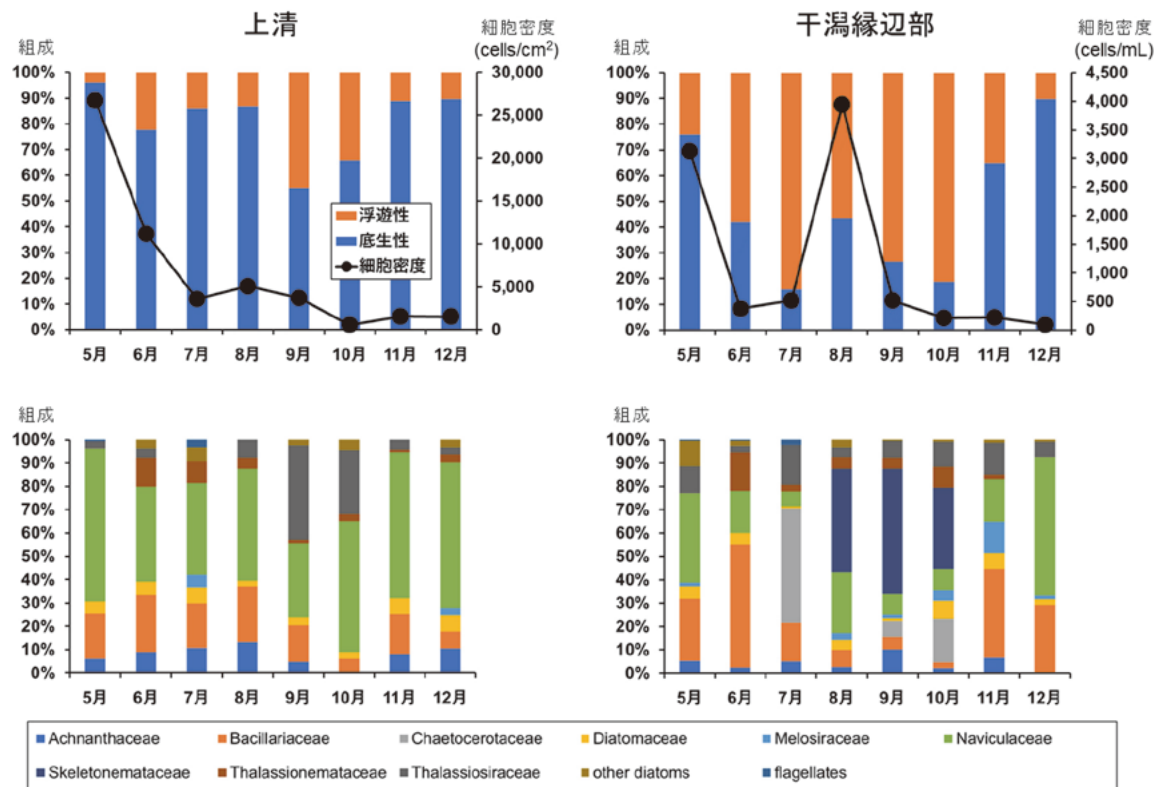


図 12 丸石干潟の堆積物から得られた上清および干潟縁辺部海水に含まれる微細藻類の細胞密度と生物組成