

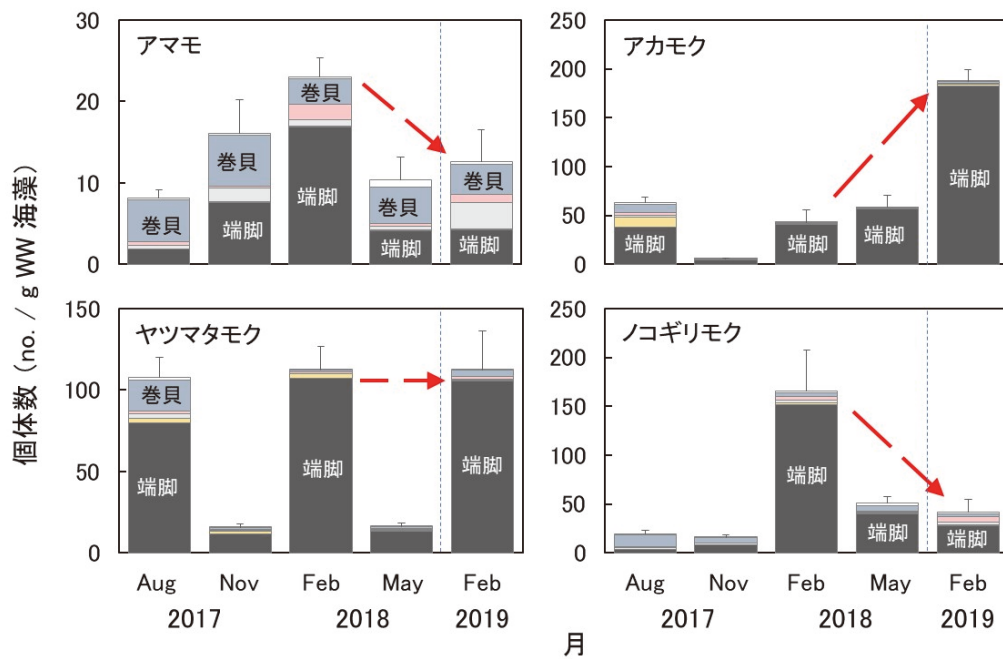


図 7. 周防大島の藻場（アマモ場およびガラモ場）における葉上動物の個体数の変化。エラーバーは+SE.

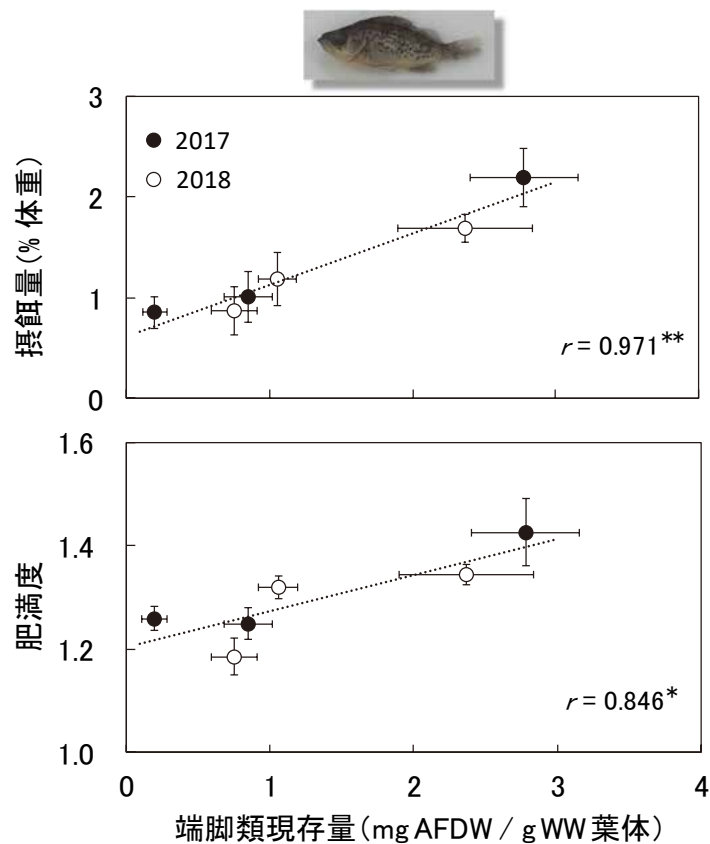


図 8. 岡山県日生地区のアマモ場の葉上端脚類の現存量とシロメバル稚魚の摂餌量，肥満度との関係。エラーバーは±SE.

課題番号：1) ーエ

課題名: 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

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

【背景・目的】

近年の瀬戸内海における漁業生産低迷の要因として、貧栄養化等の環境変化に伴う植物プランクトン等の低次生産の低下が指摘されているが、生産の質（種組成やサイズ組成）および量がどのように変化したか未だ不明な点が多い。本研究では、栄養塩等の水質環境が珪藻類の出現種や発生量に与える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類の休眠期細胞の分布密度を調べ、海洋観測データとの関係を解析する。また、優占する珪藻類の生理・生態特性について培養試験等で調べる。さらに、水質環境が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ために、各海域における植物プランクトン群集のサイズ組成の調査等を実施する。

【方法】

(1) 珪藻休眠期細胞の分布調査

2019年4月26日～5月1日，2019年7月12日～7月17日に，瀬戸内海の17定点（図1）において各種珪藻休眠期細胞の密度を調べた。海底泥の採取にはGS型表層採泥器（内径7cm）を用いた。各定点において得られた2本のコアサンプルから表層1cmの底泥を採取し，それらを混合したものを分析用の試料とした。試料は4℃暗所で一ヶ月以上保存し，MPN法により試料中に含まれる各種珪藻類の休眠期細胞密度を調べた。

(2) 植物プランクトン群集のサイズ組成調査

2019年4月26日～5月1日，2019年7月12日～7月17日に，瀬戸内海の30定点（図1）において植物プランクトン群集のサイズ組成を調べた。各定点においてバケツにて採取した表層海水を0.2，2μmのヌクレポアフィルターおよび20，100μmのナイロンネットフィルターにてサイズ分画し，サイズ別（0.2～2μm，2～20μm，20～100μm，>100μm）のChl *a* 濃度の分析に供した。得られたデータは2008年の4月下旬に大阪湾から安芸灘において取得されたサイズ別Chl *a* 濃度のデータ等と比較し，瀬戸内海における植物プランクトン群集のサイズ組成の長期的な変化を検討した。

(3) 栄養塩等の水質環境の変動要因の解明

瀬戸内海の各海域において，水質等の調査を行うとともに，パルス変調型蛍光光度計（PAM 蛍光光度計）による基礎生産速度の簡易測定を実施し，栄養塩等の水質環境と基礎生産との関係について検討を行った。さらに，既往の水質データを解析することにより，水質環境変化の実態を把握した。

【結果】

(1) 珪藻休眠期細胞の分布調査

図 2 に 2019 年春季（2019 年 4 月 26 日～5 月 1 日）および 2019 年夏季（2019 年 7 月 12 日～7 月 17 日）の各定点における各種珪藻休眠期細胞の密度を示す。2019 年春季における調査結果では、大阪湾（Stn. 1～4）、播磨灘東部（Stn. 9）および伊予灘東部（Stn. 25）で *Skeletonema* 属が優占していたが、それ以外のほとんどの定点において *Chaetoceros* 属の割合が高かった。春季と夏季のデータを比較すると、大阪湾で *Thalassiosira* 属の割合が高くなっていたこと、備後灘および燧灘では依然として *Chaetoceros* 属の割合が高かったことが特徴的であった。休眠期細胞全体の密度は、2019 年春季においては大阪湾奥部（Stn. 1, 2）で著しく高く、燧灘（Stn. 21）、備後灘（Stn. 17）、広島湾（Stn. 29）の順で続いた。2019 年夏季においては大阪湾沖合（Stn. 4）で特異的に高く、次いで大阪湾奥部および備後灘や燧灘東部（Stn. 20）で高かった。春夏を通じて、栄養塩濃度が相対的に高い大阪湾や広島湾で富栄養化の指標生物とされる *Skeletonema* 属の割合が高い傾向が確認された。一方、近年の備後灘の栄養塩濃度は広島湾と大きく違わないが（阿保ほか, 2018）、備後灘では広島湾よりも *Skeletonema* 属の割合が低い。今後、両海域の水質等を詳細に比較することで、*Skeletonema* 属および *Chaetoceros* 属が優占する環境条件を検討する予定である。

(2) 植物プランクトン群集のサイズ組成調査

図 3 に、2019 年春季および 2019 年夏季の瀬戸内海における植物プランクトン群集のサイズ組成を示す。春季については、播磨灘（Stn. 8～12）や伊予灘（Stn. 25～28）において $0.2 \sim 2 \mu\text{m}$ のピコプランクトンの優占度が高く、Chl *a* 濃度は大阪湾奥部（Stn. 1, 2）で高かった。この特徴は 2018 年春季の観測結果でも見られており（データ未記載）、近年の春季の瀬戸内海における一次生産の特徴と言えるかもしれない。一方、夏季については播磨灘、伊予灘に加えて大阪湾の Stn. 3～6 でもピコプランクトンの割合が高かった。また、Chl *a* 濃度は広島湾奥部（Stn. 30）、備後灘（Stn. 17）、備讃瀬戸西部（Stn. 16）、燧灘東部（Stn. 19）で高かった。春夏を通じて、Chl *a* 濃度が高い定点においては $20 \mu\text{m}$ よりも大きなマイクロプランクトンの割合が高い傾向を示したが、全体的にピコプランクトンや $2 \sim 20 \mu\text{m}$ のナノプランクトンが優占する海域が多かった。2008 年春季の観測データ（データ未記載、樽谷ほか 未発表）と比較すると、この 10 年で瀬戸内海における春季のマイクロプランクトンの割合が低下していることが示唆されたため、各定点における Chl *a* 濃度とマイクロプランクトンの割合との関係を整理した（図 4）。ここでは参考として、2019 年に加え、2018 年の春季のデータについても示す。2008 年の春季の観測においては、Chl *a* 濃度が $3 \mu\text{g/L}$ 以下の海域でもマイクロプランクトンの割合は概ね 20%以上であったが（データ未記載）、近年は 20%未満の海域が多くなっていることが確認された（図 4 の赤枠内）。当該海域は主に播磨灘（Stn. 8～12）、燧灘西部（Stn. 22）、大阪湾沖合（Stn. 5）であり、これらの海域ではこの 10 年で（もしくはより長期的に）マイクロプランクトンの生産スケールが小さくなっている可能性が考えられた。

(3) 栄養塩等の水質環境の変動要因の解明

(a) 水質環境と基礎生産との関係

2019 年 4 月 26 日～5 月 1 日、2019 年 7 月 12 日～7 月 17 日に瀬戸内海（大阪湾～伊予灘）

の 30 定点（図 1）で栄養塩等の水質調査および基礎生産速度の簡易測定を実施した。調査では海面下 0m, 5m, 10m で採水を行い、栄養塩類および Chl *a* 濃度の分析に供するとともに、小池ら（2018）の方法に従って PAM 蛍光光度計を用いた基礎生産速度の簡易測定を行った。図 5 には、各定点における基礎生産速度、Chl *a* 濃度および溶存無機態窒素（DIN）濃度を図示した。いずれの項目も大阪湾で高い傾向があった。また、Chl *a* 濃度の高い調査点は基礎生産も高い傾向がみられたが、DIN 濃度高い点と基礎生産の高い点は必ずしも一致していなかった。つぎに、昨年度の 2018 年 10 月と 2019 年 2 月に実施した調査結果と合わせて 4 回分の調査データを用いて重回帰分析を行った。基礎生産速度を目的変数、水質等の各項目を説明変数として重回帰分析を行った結果、最適な回帰式として以下が得られた（決定係数 0.77）。なお、日射量を除く各調査項目については、データを正規分布に近づけるために対数変換してから解析を行った。

$$\text{Log}_e(\text{PP}) = 0.61 \text{Log}_e(\text{Chl}) + 2.11 \text{Log}_e(\text{F}_v/\text{F}_m) + 0.0031 \text{ rad} - 0.66 \text{Log}_e(k) - 3.37$$

ここで、PP は基礎生産速度（gC/m²/day）、Chl は Chl *a* 濃度（μg/l）、F_v/F_m は光合成の最大収率（光合成活性を表す指数）、rad は日射量（μmol-photon）、*k* は光消散係数（m⁻¹）である。また、それぞれの標準偏回帰係数は 0.79, 0.31, 0.52, -0.41 であった。基礎生産速度を決める要因としては Chl *a* 濃度が最も影響が大きく、ついで日射量と光消散係数で決まる光環境、および光合成活性が影響していることが分かった。

つぎに、Chl *a* 濃度および F_v/F_m に及ぼす栄養塩濃度の影響を調べた（図 6）。DIN 濃度と Chl *a* 濃度と光合成活性は、DIN 濃度との間には意な相関はみられなかったが、ケイ酸塩（SiO₂-Si）濃度との間に有意な相関がみられた。DIN は植物プランクトンに消費されるため、生産が高く Chl *a* 濃度が高い海域では DIN 濃度が低いことも多い。例えば、Chl *a* 濃度の高かった広島湾や福山沖の定点では DIN 濃度が比較的低かった。このため、DIN 濃度の高低は必ずしも海域の生産性とは対応せず、Chl *a* 濃度や光合成活性とは相関関係がみられなかったと考えられる。一方、ケイ酸塩については、現存量が大きく、植物プランクトンの消費の影響が少ない。このため、ケイ酸塩濃度は陸域負荷の影響（陸域からの栄養塩供給量）を反映し易く、Chl *a* 濃度や光合成活性と良い相関がみられたと考えられる。

(b) 水質環境の経年変化

環境省広域総合水質調査データを用いて、瀬戸内海における水質環境の変化傾向を把握した。ここでは、本事業の中課題 2 の調査対象海域である燧灘とその周辺海域について、水質環境の空間分布の変化を調べた。図 7 には、2000 年～20017 年までの全窒素（TN）濃度（上・下層平均）の年平均値の空間分布を図示した。TN 濃度は広島湾北部や備後灘北部などの北部沿岸海域で相対的に高い傾向があったが、2000 年以降は全体的に減少傾向であった。燧灘では、20010 年以降は低濃度が続いており、海域の多くは 0.2 mg/l 以下となっていた。水産用水基準（2018 年改訂版）では、「全窒素 0.2 mg/L 以下・全リン 0.02 mg/L 以下の海域は、閉鎖性内湾では生物生産性の低い海域」とされている。近年の燧灘は生物生産性の低い海域に相当する TN 濃度が続いていることになる。1981 年以降の 10 年毎の TN、全リン（TP）濃度分布を図 8 に図示した。燧灘と伊予灘では 2011 年以降は 0.2 mg/l を下回っており、生産性が低下

していることが示唆される。一方、TP 分布を見ると、1991 年以降は低下傾向であるが、2001 年以降はあまり変化していない。また、燧灘では 0.02 mg/l を下回る海域は少なかった。以上のように、近年の燧灘では海域の生産性が低いとされるレベルまで TN 濃度が低下しており、水産生物への影響が懸念される。

【参考文献】

阿保勝之, 秋山 諭, 原田和弘, 中地良樹, 林 浩志, 村田憲一, 和西昭仁, 石川陽子, 益井敏光, 西川 智, 山田京平, 野田 誠, 徳光俊二. 瀬戸内海における栄養塩濃度等の水質変化とその要因. 沿岸海洋研究, 55, 101-111, 2018.

小池一彦, 阿保勝之, 阿部和雄, 松原 賢. 平成 29 年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊対策推進事業「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書. 瀬戸内海赤潮共同研究機関, 2018, 360-376.

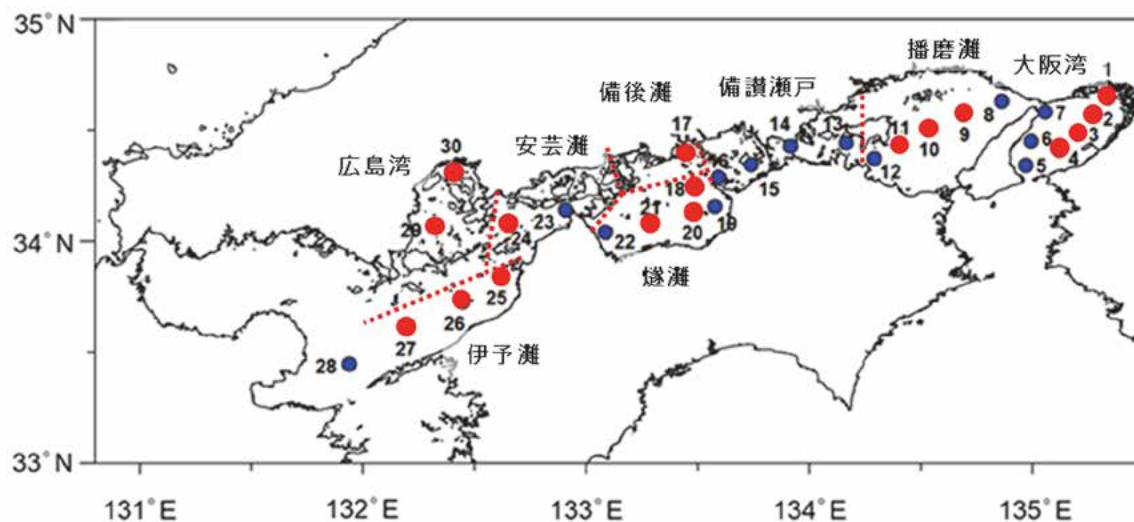


図1 観測定点図 (●: 珧藻休眠期細胞調査点)

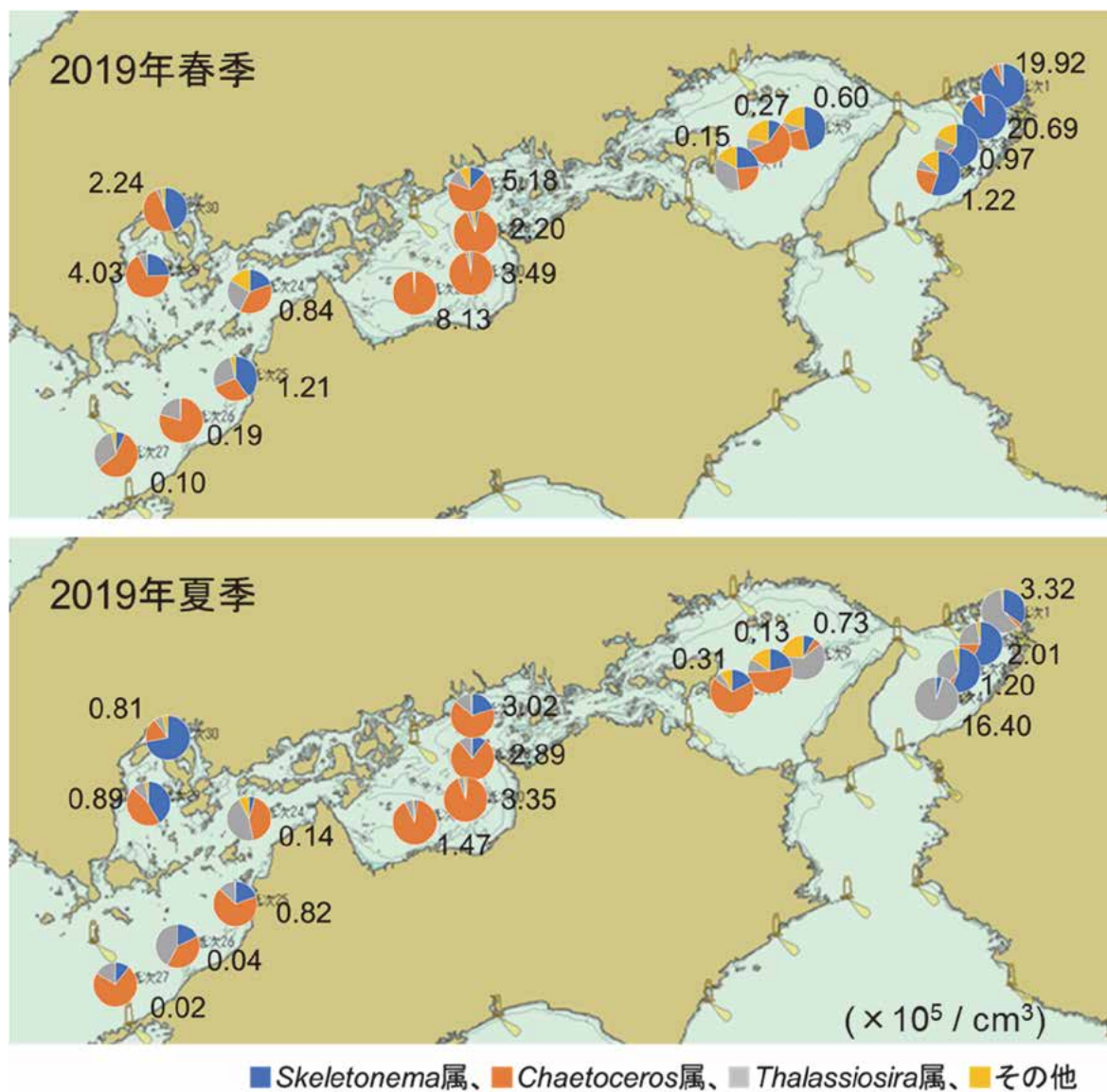


図2 2019年春季および夏季の瀬戸内海の海底泥における各種珪藻休眠期細胞の密度

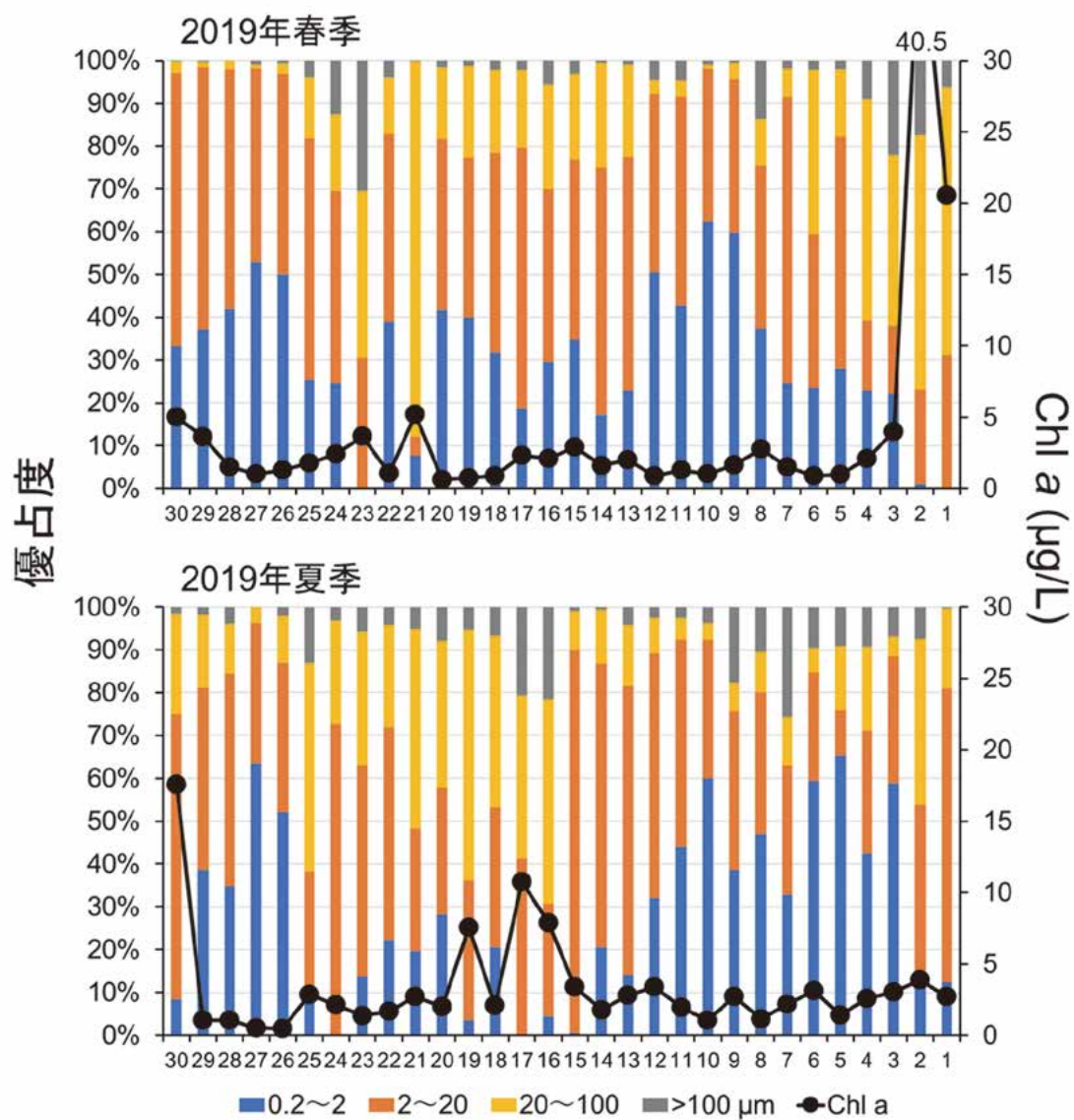


図3 2019年春季および夏季の瀬戸内海における植物プランクトン群集のサイズ組成

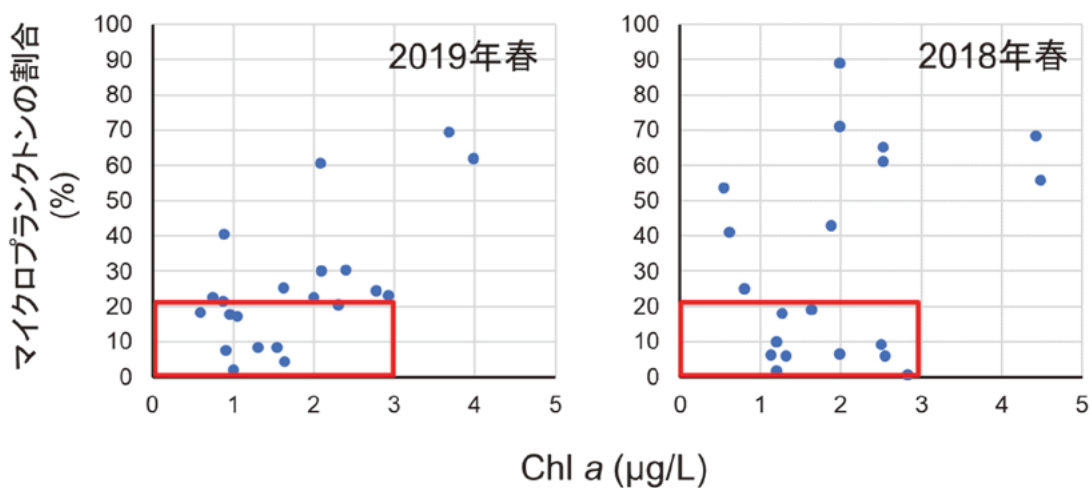


図4 2019年, 2018年の春季におけるChl a濃度とマイクロプランクトンの割合との関係

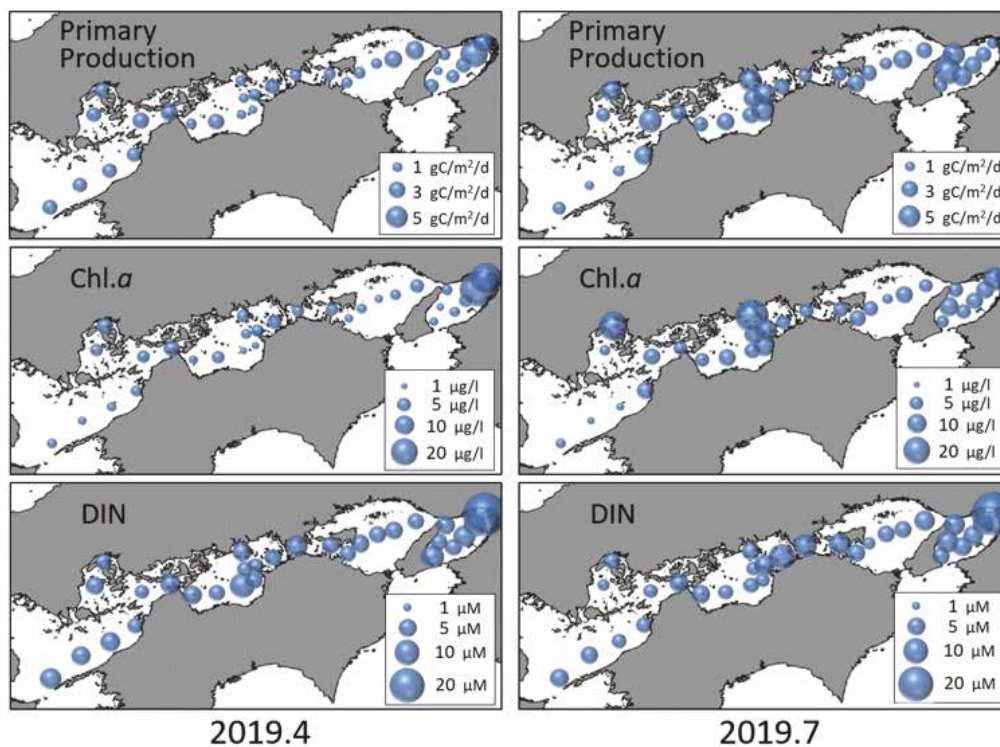


図5 各定点における基礎生産速度, Chl *a* 濃度および DIN 濃度 (2019 年 4 月, 7 月). Chl *a*, DIN 濃度は, 各層 (0m, 5m, 10m) の平均値.

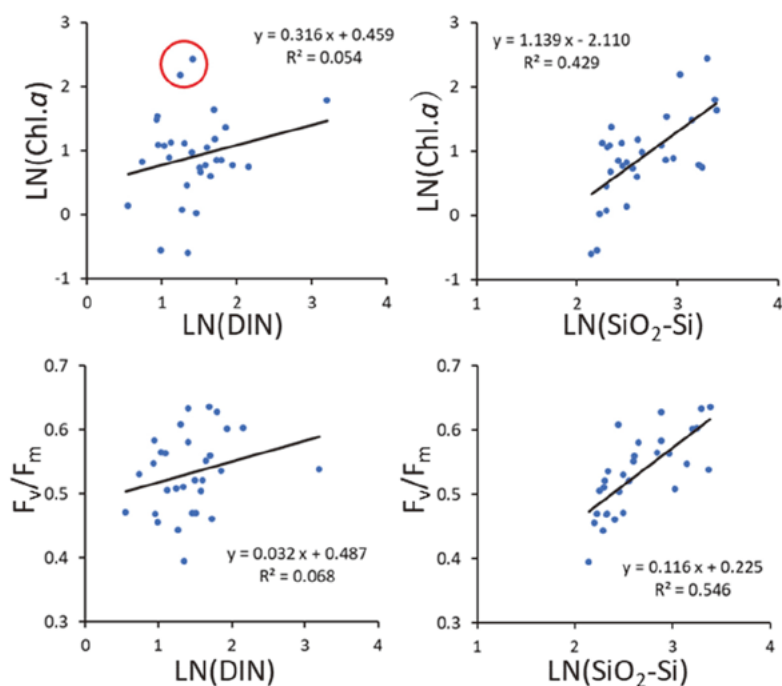


図6 栄養塩濃度 (µM) と Chl *a* 濃度 (µg/l), 光合成活性 (F_v/F_m) との関係 (2019 年 7 月). 左下図の赤丸は広島湾と福山沖の値.

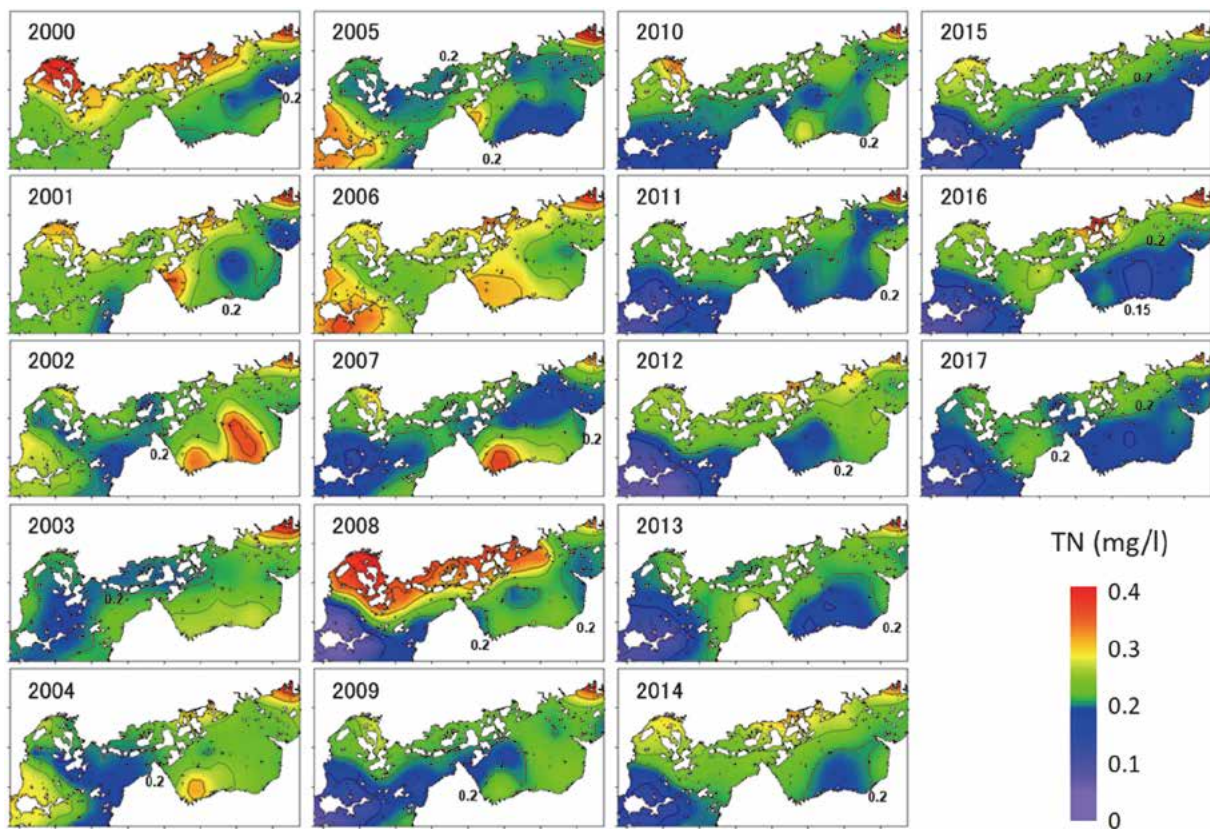


図7 燧灘周辺における TN 濃度分布（上・下層平均，年平均）の経年変動。
（環境省広域総合水質調査データより作成）

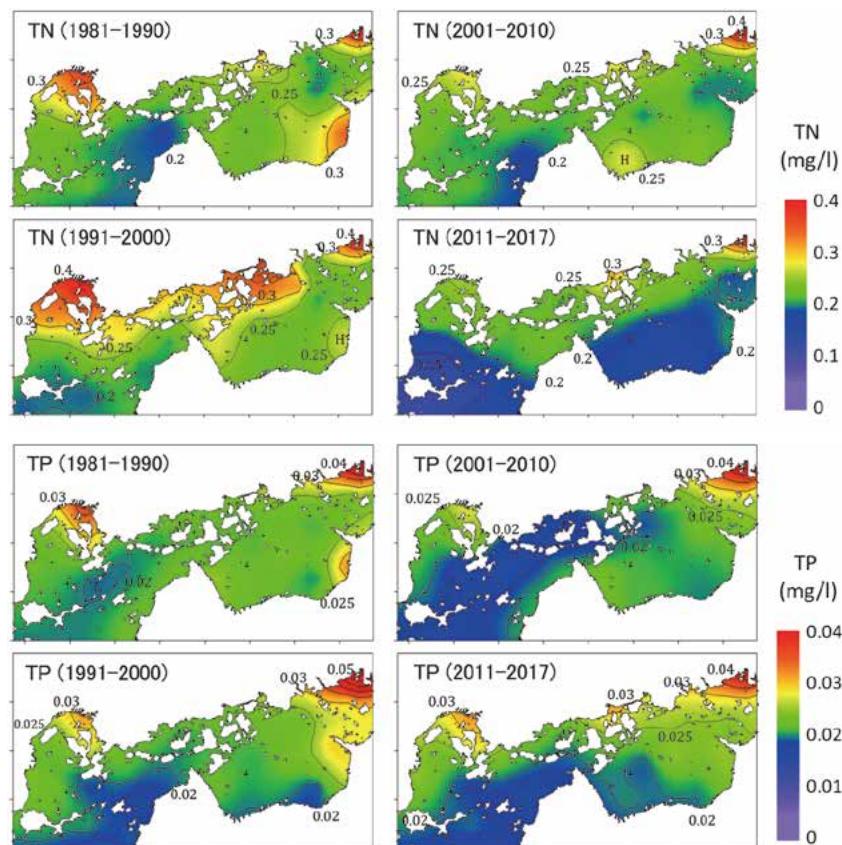


図8 燧灘周辺における TN および TP 濃度分布（上・下層平均，各年代の平均値）。
（環境省広域総合水質調査データより作成）

課題番号：2)ーア

課題名：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

水産研究・教育機構 東北区水産研究所

田所和明，岡崎雄二

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター

吉江直樹，郭新宇

【背景・目的】

近年，瀬戸内海では漁獲量がトレンド的に減少している。その原因の一つとして1980年代以降の栄養塩濃度低下に伴う，生物生産の低下が考えられている。しかしながら，両者の間の詳しい関係は明らかになっていない。動物プランクトンは直接的な水産資源の餌であるため，水産資源との関係を検討することによって詳細な変動メカニズムを明らかにできると考えられる。また瀬戸内海は海洋学的特性の異なる，幾つもの海域（灘）によって構成されているため，海洋環境および低次生態系についてもそれぞれに特性を明らかにした上で，水産資源との関係を明らかにする必要がある。

そこで，本課題ではプランクトン食性でありまた瀬戸内海の重要な水産資源となっているカタクチイワシをはじめとした，小型浮魚類と動物プランクトンの関係に着目して課題を進める。そのために瀬戸内海全域において動物プランクトンおよび海洋環境の動態を観測によって調べ，小型浮魚類との関係を検討する。さらに過去の資料および試料を掘り起こし解析することで1980年代～現在までの餌料プランクトン環境の変動について検討を行う。このことによって動物プランクトンの生産速度，バイオマスおよび群集構造の中・長期的な変遷を明らかにする。さらに，小型浮魚類の胃内容物調査などから小型浮魚の摂餌生態を調べ，餌として重要な動物プランクトンを特定する。このことによって，小型浮魚類の変動の鍵となる餌料環境の変動を明らかにすることができる。最終的に，得られた情報を統合し，低次生産環境と小型浮魚生産量の因果関係をデータ解析や生態モデル等により評価する。

【方法】

(1) 餌料プランクトンの採集及び分析

2018年の4月と10月，2019年の4月に瀬戸内海全域の30定点で一斉調査を行い，メソ動物プランクトンおよびマイクロ動物プランクトン試料を採集した。メソ動物プランクトンに関しては種レベルで個体数を計数し，1980年代の4月と10-11月(Uye et al., 1987)および1990年代の4月と10月(Uye et al., 1996)との比較を行った。マイクロ動物プランクトンに関しても2018年および2019年の4月に採集したサンプルを目レベルで個体数を計数することで現存量を調べ経年変動および海域間の比較を行った。さらに2001年および2002年の燧灘の結果と比較した。

(2) 海洋生態系モデルを用いた燧灘における低次生態系の季節変動再現

本研究では，燧灘における栄養塩濃度変動に対するカタクチイワシとして重要な動物プランクトンを含む低次生態系の応答について，海洋低次生態系モデルを用いて調べた。具体的に