

課題番号：1) -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 水産技術研究所

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。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。

【方法】

(1) 水質環境が珪藻類の出現種および発生量に与える影響の検討

ア) 珪藻休眠期細胞の分布調査

2020年4月24日～4月29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℃暗所で一ヵ月以上保存し、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。

イ) 様々な塩分および栄養塩濃度条件下における珪藻類の発芽・増殖試験

これまでの瀬戸内海広域における観測結果等から、瀬戸内海では負荷削減に伴い、河口域など負荷源付近の海域を中心にマイクロプランクトンの生産が低下したことが示唆された。そこで本年度は、負荷削減の影響を強く受けたことが想定される珪藻類、すなわち河口域をハビタットとする珪藻類を特定するための発芽・増殖試験を行った。

試験には2020年4月に福山湾で採取した海底泥を用いた。海底泥を、塩分6, 11, 16, 22, 27, 32, 37, 42の8段階、DIN濃度6, 26, 206 μM の3段階の組み合わせ、計24通りの条件に調整した改変SWM-3培地に懸濁し、20℃、光量子束密度600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、明暗周期12hL:12hDの条件下で培養した。そして、培養6日後の泥懸濁液中における各珪藻類の細胞密度を調べた。

(2) 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の検討

ア) 植物プランクトン群集のサイズ組成調査

2020年4月24日～4月29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, 2 μm のヌクレポアフィルターおよび 20, 100 μm 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 (0.2~2 μm , 2~20 μm , 20~100 μm , >100 μm) 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。

イ) ナノプランクトンおよびマイクロプランクトンに対する窒素添加試験

窒素添加に対するナノプランクトンおよびマイクロプランクトンの増殖応答を、動物プランクトン等からの捕食の影響を考慮して希釈法 (Landry and Hassett, 1982) で調べた。試験には 2020 年 12 月に水産技術研究所廿日市拠点のポンツーンで採取した表層海水 6,000 mL を用いた。供試海水のうち、3,750 mL を生海水として用い、残りの 2,250 mL は孔径 0.2 μm のメンブレンフィルターでろ過しろ過海水とした。生海水とろ過海水の混合率は 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75 の 4 段階とし、500 mL 容の TPX 製ボトルにて混合後、DIN で 200 μM 上昇するよう NaNO_3 を添加して 48 時間培養した (n=3)。培養条件は、20°C、光量子束密度 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、明暗周期 12 hL : 12 hD とした。培養前後の試料についてサイズ別 (2~20 μm , > 20 μm) Chl-*a* 濃度を測定し、2~20 μm サイズの Chl-*a* 濃度の増加率をナノプランクトンの増殖、>20 μm サイズの Chl *a* 濃度の増加率をマイクロプランクトンの増殖とみなした。

(3) 栄養塩等の水質環境の変動要因の解明

今年度は 2020 年 4 月に瀬戸内海 (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 (小池ら, 2018) 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、基礎生産速度の簡易測定を行った。また、2018 年度から 3 年間に実施した同様の調査データを解析することにより、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。

【結果】

(1) 水質環境が珪藻類の出現種および発生量に与える影響の検討

ア) 珪藻休眠期細胞の分布調査

図 2 に 2020 年春季 (4 月 24 日~4 月 29 日) の各定点における各種珪藻休眠期細胞の密度を示す。大阪湾 (Stn. 1, 2, 4), 播磨灘西部 (Stn. 11) および広島湾 (Stn. 29, 30) では *Skeletonema* 属が優占していたが、播磨灘東部 (Stn. 9), 備後灘 (Stn. 17) および燧灘 (Stn. 18, 20, 21) では *Chaetoceros* 属の割合が高かった。また、それ以外の海域では *Thalassiosira* 属の割合が高かった。休眠期細胞全体の密度は、大阪湾で $3.64\sim 21.33\times 10^5/\text{cm}^3$ と高く、広島湾, 安芸灘 (Stn. 24), 備後灘の順で続いた。大阪湾や広島湾奥部で富栄養化の指標生物とされる *Skeletonema* 属が優占し、備後灘および燧灘で *Chaetoceros* 属の割合が高いという結果は、2018 年および 2019 年の春季の観測結果と共通していた。栄養塩濃度が広島湾と大きく変わらない備後灘 (阿保ほか, 2018) において、*Skeletonema* 属が最優占種とならない原因は今のところ不明である。今後、両海域の水質等を観測することで、*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。

イ) 様々な塩分および栄養塩濃度条件下における珪藻類の発芽・増殖試験

図3に各塩分、DIN濃度条件下で海底泥を6日間培養した後に確認された *Skeletonema* 属および *Chaetoceros* 属の細胞密度を示す。本試験ではこれらの他、*Thalassiosira* 属や *Asterionellopsis* 属等の出現も確認されたが、ここでは優占していた *Skeletonema* 属および *Chaetoceros* 属の結果を示す。試験に先立ち、供試海底泥に含まれる *Skeletonema* 属および *Chaetoceros* 属の休眠期細胞密度をMPN法で調べた結果、泥懸濁液中における *Skeletonema* 属および *Chaetoceros* 属の休眠期細胞密度はそれぞれ 72 cells/mL および 122 cells/mL と算出された。*Skeletonema* 属については、塩分6の条件下でも培養6日後の細胞密度は全てのDIN濃度条件下で 150~540 cells/mL と休眠期細胞密度の 72 cells/mL を上回っており、塩分11の条件下における細胞密度は 5,100~6,100 cells/mL と比較的高密度に達していた。DIN濃度 206 μM 、26 μM 、6 μM の条件下において最高細胞密度が確認された塩分条件はそれぞれ塩分 22、22、16であった。全てのDIN濃度条件下において、塩分22から32にかけて細胞密度が低下したが、塩分37で上昇した。*Chaetoceros* 属については、塩分6の条件下における培養6日後の細胞密度は全てのDIN濃度条件下で休眠期細胞密度の 122 cells/mL を下回っていた。塩分11における細胞密度は 60~260 cells/mL であり、DIN濃度 26 μM および 6 μM の条件下において休眠期細胞密度の 122 cells/mL を上回っていた。全てのDIN濃度条件下において、塩分6~32の範囲では塩分上昇に伴い培養6日後の細胞密度が増加し、塩分32で最高細胞密度が確認されたが、塩分37以上では低下した。

本試験の結果、*Skeletonema* 属の発芽・増殖に好適な塩分条件は塩分16~22と *Chaetoceros* 属の塩分32よりも低く、さらに *Skeletonema* 属は塩分11という低塩分条件下でも活発に発芽・増殖することが確認された。このことから、*Skeletonema* 属が塩分低下の起こりやすい河口域で優占する生物であることが示された。また、今回用いた海底泥中の休眠期細胞密度は *Skeletonema* 属よりも *Chaetoceros* 属が高かったにも関わらず、培養6日後の細胞密度は *Skeletonema* 属のほうが圧倒的に高かったことから、*Skeletonema* 属は *Chaetoceros* 属と比較して、ブルーム形成に発芽の貢献度が高い珪藻類であることが示された。河口域は出水等による底質のかく乱が起りやすく、沖合よりも珪藻類の休眠期細胞の発芽が頻繁に起こる。こうした物理的な環境特性の面でも、河口域は *Skeletonema* 属のブルーム形成の場として好適であることが考えられた。以上のことから、*Skeletonema* 属は河口域をハビタットとし、*Chaetoceros* 属はあまり塩分が低下しない沖合域をハビタットとすることが示され、前者が負荷削減の影響、すなわち河川水由来の栄養塩濃度の低下の影響をより強く受けたことが考えられた。このことは、播磨灘 (Nishikawa et. al., 2010) や大阪湾 (多田ほか, 2012) で報告されている、*Skeletonema* 属の特異的な減少の一因である可能性がある。今後も、各珪藻類の生息域や生活史を考慮した室内試験や現場観測を行うことで、水質環境の変化が珪藻類の出現種および発生量に与える影響について検討する予定である。

(2) 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の検討

ア) 植物プランクトン群集のサイズ組成調査

図4に、2020年春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。播磨灘や伊予灘において 0.2~2 μm のピコプランクトンの優占度が高く、Chl *a* 濃度は大阪湾奥部で高かった。この傾向は2018年および2019年の春季の観測結果でも見られており、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。2008年春季の安芸灘から大阪湾における観測データ (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、安芸灘から大阪湾の各定点における Chl *a* 濃度 (5 µg/L 以下) とマイクロプランクトンの割合との関係を整理した (図 5)。ここでは参考として、2020 年に加え、2018 年および 2019 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 µg/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 5 の赤枠内)。2018~2020 年のいずれの観測でもマイクロプランクトンの割合が 20%未満であった海域は主に播磨灘 (Stn. 9~12)、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。

イ) ナノプランクトンおよびマイクロプランクトンに対する窒素添加試験

培養前の現場海水の分析結果から、供試海水中におけるナノプランクトンおよびマイクロプランクトンの Chl *a* 濃度はそれぞれ 1.7 µg/L および 1.0 µg/L であった。図 6 に、現場海水に NaNO₃ を添加して 48 時間培養した希釈法の結果を示す。近似直線の y 切片の値から、動物プランクトン等からの捕食圧を排除した場合のナノプランクトンおよびマイクロプランクトンの増加率はそれぞれ 10.4 および 41.1 倍と見積もられた。この値からそれぞれの増殖速度を計算すると、それぞれ 1.7 および 2.7 div./d であり、窒素添加に対する増殖応答はナノプランクトンよりもマイクロプランクトンが高いことが明らかとなった。本試験の結果から、海域における負荷量の減少はナノプランクトンよりもマイクロプランクトンの増殖を大きく低下させ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

2018~2020 年度に実施した計 6 回 (2018 年 4 月, 10 月, 2019 年 2 月, 4 月, 7 月および 2020 年 4 月) の調査結果について、各湾灘における基礎生産速度, Chl. *a* 濃度および栄養塩濃度の平均値を示した (図 7)。基礎生産速度は、大阪湾東部で最も高く、ついで広島湾, 大阪湾西部, 安芸灘, 備後灘の順に高かった。一方、伊予灘, 燧灘, 播磨灘では低かった。Chl. *a* 濃度は、大阪湾東部で非常に高く、生産速度の比較的高い広島湾と備後灘でも高かったが、安芸灘では低かった。栄養塩濃度は、大阪湾では非常に高かったが、生産速度が高い広島湾と備後灘では低めであり、生産速度の低い伊予灘で高めであった。生産性の高い海域では栄養塩の消費が大きいため、生産速度と栄養塩濃度が必ずしも良い相関を示さなかったと考えられる。

2018~2020 年度に実施した 6 回の調査データを用いて解析を行い、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。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、日射量および光-光合成曲線の傾き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。

$$\text{LN(PP)} = 0.64 \text{ LN(Chl)} - 0.78 \text{ LN}(k) + 0.003 \text{ rad} + 2.49 a + 0.09 \text{ LN(DIN)} - 3.82$$

ここで、PP は基礎生産速度 (gC/m²/day), Chl は Chl. *a* 濃度 (µg/l), *k* は光消散係数 (m⁻¹), rad は日射量 (µmol-photon), *a* は光合成曲線の傾き (光合成曲線: rETR = ETRmax × (1 - exp(-(a × PAR)/ETRmax))) にあてはめた場合の *a*, 溶存態無機窒素濃度 (µM) である。また、それ

ぞれの標準偏回帰係数は 0.829, -0.473, 0.470, -0.360, 0.122 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かった。ついで光消散係数と日射量で決まる光環境, および光-光合成曲線の傾きが影響しており, さらに寄与は小さいものの DIN 濃度も影響していることが分かった。つぎに, 同データを用いて主成分分析による解析を行った。図 8 には第 1 主成分と第 2 主成分の散布図を示した。なお, 第 1, 第 2, 主成分の寄与率はそれぞれ 0.42, 0.23 であった。栄養塩濃度は日射量と負の相関があり, 日射量が大きいときには栄養塩濃度が低い傾向が見られた。これは, 栄養塩濃度の季節的な変化あるいは気象条件 (降雨) が栄養塩濃度に影響したと考えられる。また, 基礎生産速度は, Chl.a 濃度や光合成パラメータとの関係性が強いことが分かり, 重回帰分析の結果と一致している。

【参考文献】

Landry MR, Hassett R. Estimating the grazing impact of marine micro-zooplankton. *Marine biology*, 67, 283-288, 1982.

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, 360-376, 2018.

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.

Nishikawa T, Hori Y, Nagai S, Miyahara K, Nakamura Y, Harada K, Tanda M, Manabe T, Tada K. Nutrient and Phytoplankton Dynamics in Harima-Nada, Eastern Seto Inland Sea, Japan During a 35-Year Period from 1973 to 2007. *Estuaries and Coasts*, 33, 417-427, 2010.

多田邦尚, 山本圭吾, 一見和彦, 山田真智子, 西川哲也, 樽谷賢治, 山口一岩. 大阪湾の植物プランクトンの季節・経年変動とその要因. 瀬戸内海, 64, 75-77, 2012.

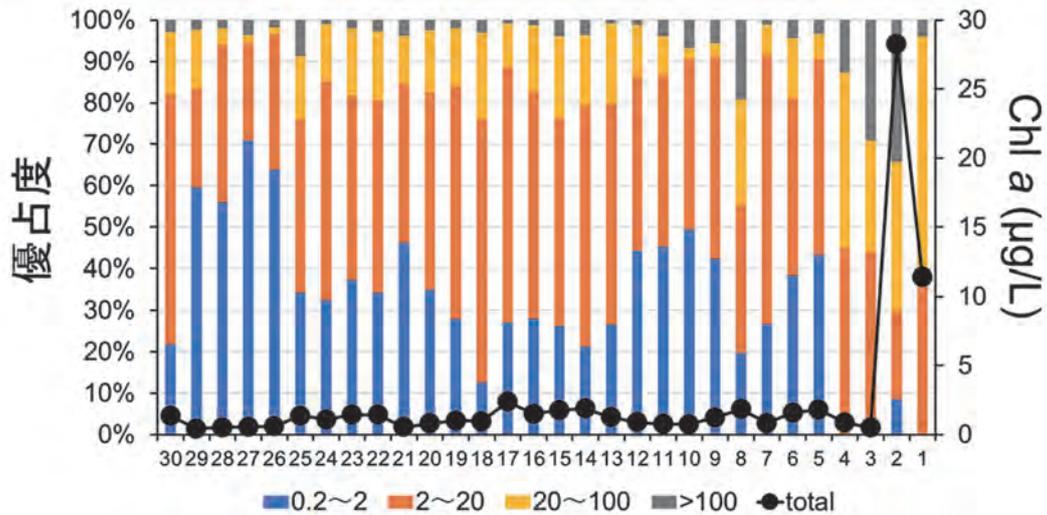


図4 2020年春季の瀬戸内海における植物プランクトン群集のサイズ組成

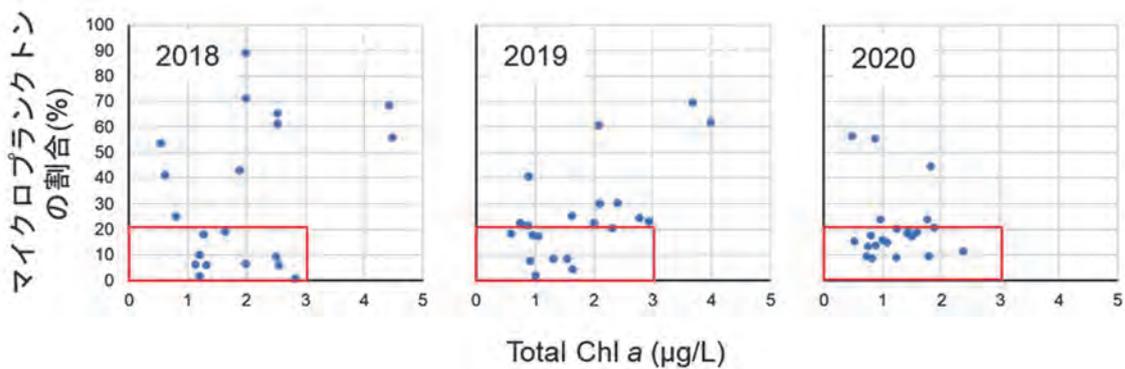


図5 2018~2020年の春季におけるChl a濃度とマイクロプランクトンの割合との関係

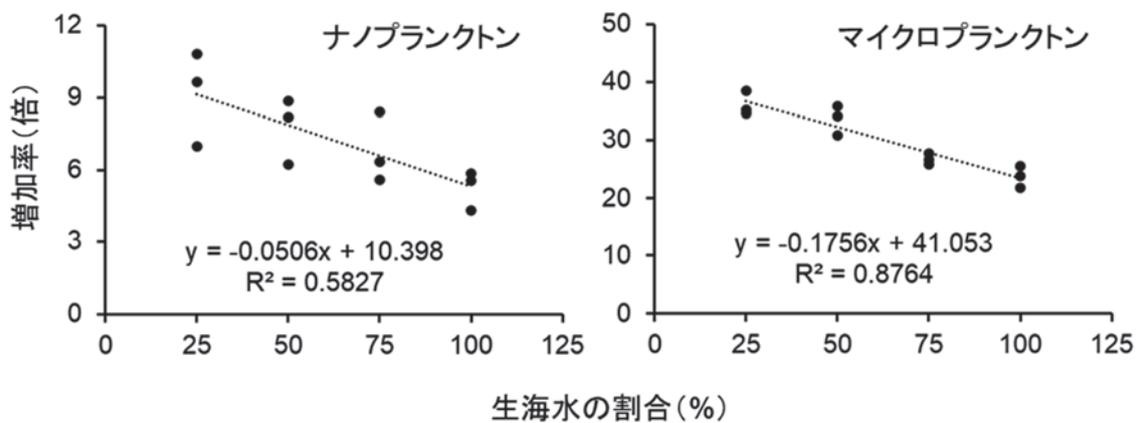


図6 現場海水にNaNO₃を添加し、48時間培養した希釈法の結果

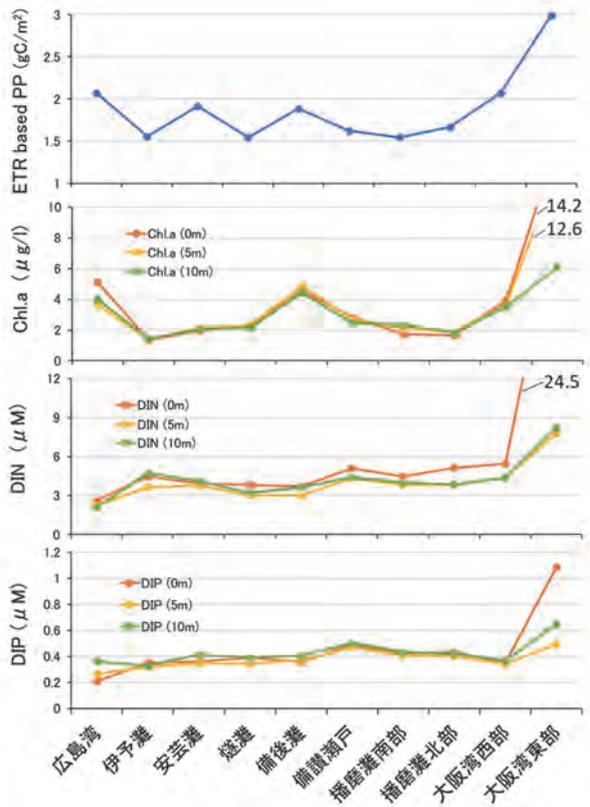


図7 湾灘毎の基礎生産と Chl. a、栄養塩濃度 (2018~2020 年の平均値)

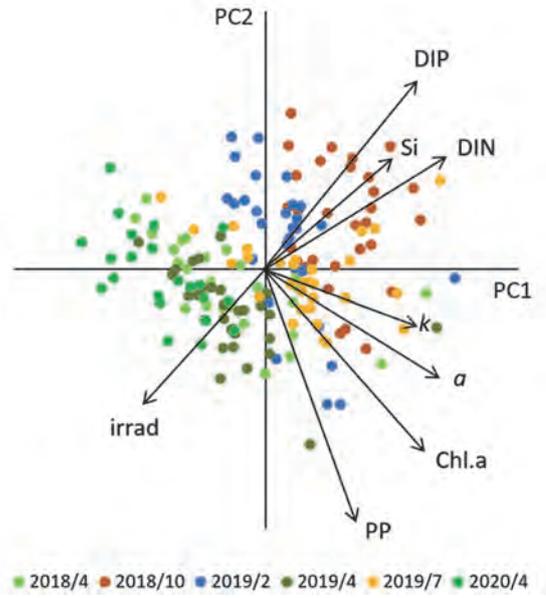


図8 主成分分析結果

課題番号：2) -ア

課題名：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の解明

水産研究・教育機構 水産資源研究所
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

本事業において2018年の4月と10月、2019年の2月、4月、7月そして2020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(図1)。メソ動物プランクトンはノルパックネット(口径45cm、目合0.1mm)を用いて、海底直上から表面までの鉛直曳網にて採集した。またマイクロ動物プランクトンはバンドン採水器を用いて全ての観測点で10mから、さらに8観測点で各層(0、5、10、20、30、Bottom)から採集した。採集したメソ動物プランクトンは5%ホルマリン、マイクロ動物プランクトン試料はルゴール液にて固定して持ち帰り分析を行った。メソ動物プランクトンに関しては4航海分(2018年4月、10月、2019年4月、2020年4月)の標本について実体顕微鏡を用いて種レベルでの個体数の計数完了した。マイクロ動物プランクト

ンに関しては全航海の標本について生物顕微鏡を用いて目レベルの個体数の計数を行った。そのうち今回は2018年4月、10月、2019年4月のデータについて解析を行った。

(2) 海洋生態系モデルおよびデータ解析

本事業では、燧灘における栄養塩濃度変動に対するカタクチ餌料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。具体的には、海洋低次生態系モデル eNEMURO (Yoshie et al. 2011) を燧灘に適用した。このモデルは、サイズや生態系内の機能により、4種の栄養塩、4種の植物プランクトン、4種の動物プランクトン、3種のデトリタスを取り扱うプランクトン機能群モデルである。栄養塩環境の変化に応じて、貧栄養環境における小型植物プランクトンを基点とする長い食物連鎖の低次生態系構造から、富栄養環境における珪藻など大型植物プランクトンを起点とする短い食物連鎖の低次生態系構造への移り変わりなどを陽に取り扱うことができる生態系モデルである。これまでの豊漁年と不漁年における事例解析を発展させ、1993年から2013年までの長期的な栄養塩濃度の経年変動を生態系モデルに与えた際の低次生態系応答を探る実験を実施し、カタクチイワシ仔稚魚漁獲量の経年変動と、春季の植物・動物プランクトンの経年変動との関連性について解析した。そして、モデルから得られる環境変動と生態系応答の関連性が、現実に生じていたかを確認するために、既存の時系列観測データを用いて海洋環境から漁獲量までの経年変動の関連性を調べた。具体的には、1981年から2013年までの期間、瀬戸内海全域を18の海域に区分し、水研教育機構浅海定線調査、農林水産省漁業・養殖業生産統計、環境省広域総合水質調査、大阪府海域の水生生物調査を用いて、海洋環境（表層および底層の水温・栄養塩[DIN, DIP]）・植物プランクトン（Chl.a）・動物プランクトン（カイアシ類 *Paracalanus parvus*）・魚類漁獲量（カタクチイワシ成魚）について、長期的な経年変動間の関連性を解析した。

【結果】

(1) 餌料プランクトンの採集および分析

・メソ動物プランクトンの群集構造の季節・地理的変動

瀬戸内海におけるメソ動物プランクトンの群集構造の季節・地理的変動を明らかにするために、本事業で得られたデータと2016年～2018年に実施した前事業（栄養塩類等の水質環境が低次生物生産に及ぼす影響調査）で得られたデータを用いてクラスター解析を行った。その結果、各定点のメソ動物プランクトン群集を4つに区分することができた。

次に各クラスターの出現状況を見ると（図2）、1月から6月の間、全域でクラスター1と2が出現した。その間で3～5月については燧灘、広島湾、大阪湾でクラスター1と2の両方が出現したが、それ以外では概ねクラスター2のみが出現した。7月～8月になるとクラスター1と3月出現し、9月～11月には概ねクラスター4のみが出現した。次に季節・地理的変動をより理解しやすくするために、灘湾毎に優占する（50%以上）クラスターを調べた（図3）。

その結果、1月にはどの灘湾でもクラスター1が優占した。3月には大阪湾と播磨灘のみのデータであるがクラスター2が優占した。4月になると大阪湾と播磨灘では引き続きクラスター2が優占し、安芸灘、伊予灘でもクラスター2が優占したが、備讃瀬戸、燧灘、広島湾ではクラスター1が優占した。5月は大阪湾と広島湾でクラスター2が優占したが、播磨灘では

クラスター1が優占した。播磨灘では6月も引き続きクラスター1が優占した。7月～8月はどの灘湾においてもクラスター3が優占し、9月～11月にはクラスター4が優占した。

次に各クラスターで優占した（平均個体数で上位10種）種を見ると（図4）、クラスター1と2に関しては組成は良く似ているが、個体数はクラスター1のほうが2倍程度と多い事が分かる。このクラスターで主要な種は*Paracalanus parvus*と*Oithona similis*であった。また尾虫類である、*Oikopleura (Vexillaria) dioica*も多く出現した。クラスター3は全てのクラスターのなかで個体数が最も多かった。このクラスターでは*O. davisae*の個体数が最も多く*P. parvus*と*O. similis*も高い値を示した。カイアシ類以外では*Penilia avirostris*も多く出現した。クラスター4は*Microsetella norvegica*の個体数が最も多かった。また*Oithona*属については4種(*O. similis*, *O. davisae*, *O. brevicornis brevicornis*, *O. simplex simplex*)が出現した。*P. parvus*も多く出現した。

以上から瀬戸内海では群集構造は季節的に概ね同期した変動を示すが、灘湾による特色も見られることが明らかとなった。

・メソ動物プランクトン現存量の年代間の比較

2018年～2020年の4月と2018年10月の主要なメソ動物プランクトンの現存量と1979～80年の値(Uye et al., 1987)と1993～94年(Uye et al., 1997)の値を比較した。比較に際し灘湾毎に平均値を求めた(図5)。その結果、過去に比べ現在(2018-2019)が特に低いという傾向は見られず、2018年の4月についてはむしろ高いを示した。一方で組成には変化がみられた。4月に関しては1993-94年と現在では*Calanus*属カイアシ類が高い値を示したが、1979～80年は*Calanus*属カイアシ類の現存量は低く、一方で*Paracalanus*属カイアシ類が高い値を示した。10月に関しては、1979～80年には*Acartica*属カイアシ類が高い値を示したが、1993～94年には*Calanus*属カイアシ類が高い値を示すようになり、さらに現在では*Paracalanus*属カイアシ類が高い値を示すようになった。このような組成の変化と水産資源の関係を今後考えていく必要がある。

・マイクロ動物プランクトン現存量の季節・地理的変動

2018年4月、10月および2019年の4月の各観測点におけるマイクロ動物プランクトン現存量について調べた(図6)。マイクロ動物プランクトンは有鐘絨毛虫(*Tintinnids*)、無殻絨毛虫(*Naked ciliates*)およびカイアシ類ノープリウス幼生(*Copepod nauplii*)に区分され、いずれの調査においても無殻絨毛虫とカイアシ類ノープリウス幼生が大部分を占めた。2018年4月に現存量は全て観測点で低い値を示したが、2018年10月には増加した。2019年4月には播磨灘より東の水域では2018年と同様に低い値で推移したが、備讃瀬戸よりも西では高い値を示した。現時点では季節的、地理的にどのようなパターンで現存量が変動するのかを示すことができないが、残りのデータを加え周辺の情報を見ることで、今後それを検討したい。

・マイクロ動物プランクトン現存量の年代間の比較

2018年4月、10月、2019年4月に採集したマイクロ動物プランクトンの現存量と1993年～1994年に採集したデータ(Uye et al., 1996)との比較を行った(図7)。その結果全水域の平均値は1993年～94年と2018年～2019年と大きな変動なかった。一方で、灘湾毎に見ると10月の現存量は2018年～2019年で減少していることが明らかとなった。また2019年4月には燧灘以西でやや高い現存量を示すことが明らかとなった。今後は他の季節や組成の変動についても研究を進める予定である。

(2) 海洋生態系モデルおよびデータ解析

・ 燧灘におけるモデルを用いた栄養塩濃度変動に対する低次生態系の応答とカタクチ仔稚魚変動との関連性の解析

燧灘における 1993 年から 2013 年にかけての長期的な栄養塩濃度の変動への応答を調べたところ、春季の栄養塩濃度変動に応じて春季のケイ藻およびメソ動物プランクトンの現存量が変動していた (図 8)。そして、カタクチイワシ仔稚魚 5 月発生群漁獲量の経年変動と 5 月の NO₃ 濃度・ケイ藻現存量・メソ動物プランクトン現存量の経年変動の間に有意の相関関係があることが明らかとなった (図 9)。このことから、燧灘における春季の栄養塩環境がボトムアップ的にカタクチイワシ仔稚魚の餌料環境を変動させている可能性が示唆された。

・ 瀬戸内海全域における観測データを用いた海洋環境・低次生態系・水産資源変動の関連性の解析

1981 年から 2013 年にかけて季節別・海域別に、環境変動から漁獲量までの季節毎の経年変動の関連性を調べたところ、大阪湾では有意相関が認められたが ($r=0.54, p<0.05$)、他の海域では栄養塩の経年変動と Chl.a の経年変動には有意な正の相関関係が乏しく、栄養塩変動に応じて植物プランクトン現存量の変動は必ずしも応答していないことが示唆された (図 10)。動物プランクトンとの関連性については、長期の時系列観測データがほとんど公表されておらず、唯一長期時系列データを利用できる大阪湾においてのみ解析を行った (図 11)。DIN 変動パターンを元に 10 年程度で期間を区切り、その期間内の平年値からの偏差を用いて解析したところ、春季の表層 DIN 濃度偏差の変動と春季のカイアシ類 *Paracalanus parvus* 現存量偏差の変動間に有意相関が認められた ($r=0.46, p<0.05$)。また、初夏 (6 月) の表層水温偏差とカイアシ類偏差の変動間にも有意の負の相関関係が確認された ($r=-0.41, p<0.05$)。これらのことから栄養塩濃度変動の振幅が非常に大きい大阪湾のような海域においては、春季の栄養塩環境がボトムアップ的に魚類の餌料環境を変動させている可能性が示唆された。しかし、栄養塩環境の変動だけではなく、初夏の水温変動も重要な環境要因として餌料環境変動に効いている可能性が示唆された。

【参考文献】

Uye S., Kuwata H., Endo T., Standing stocks and production rates of phytoplankton and planktonic copepods in the Inland Sea of Japan, Journal of Oceanography Society of Japan, 42, 421-434, 1987

Uye S., Nagano N., Tamaki H., Geographical and Seasonal Variations in Abundance, Biomass and Estimated Production Rates of Microzooplankton in the Inland Sea of Japan, Journal of oceanography 52, 689-703, 1996.

Uye S., Nagano N., Tamaki H., Geographical and seasonal variations in abundance, biomass and estimated production rates of microzooplankton in the Inland Sea of Japan, Journal of oceanography 53, 529-538, 1997.

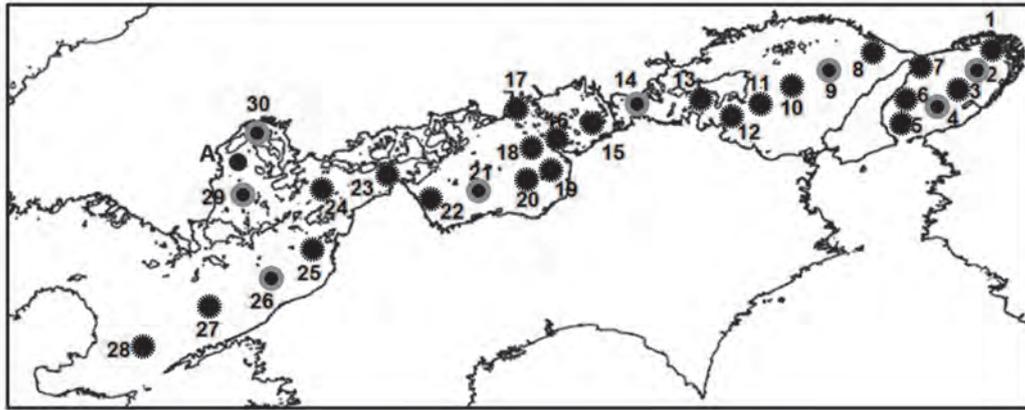


図1 2018年4月～2020年4月に実施した調査の観測定点。全点でメソ動物プランクトンを海底直上から表面まで採集した。マイクロ動物プランクトンは全点で10mから、観測点2, 4, 5, 9, 14, 21, 26, 29, 30では各層から採集した。

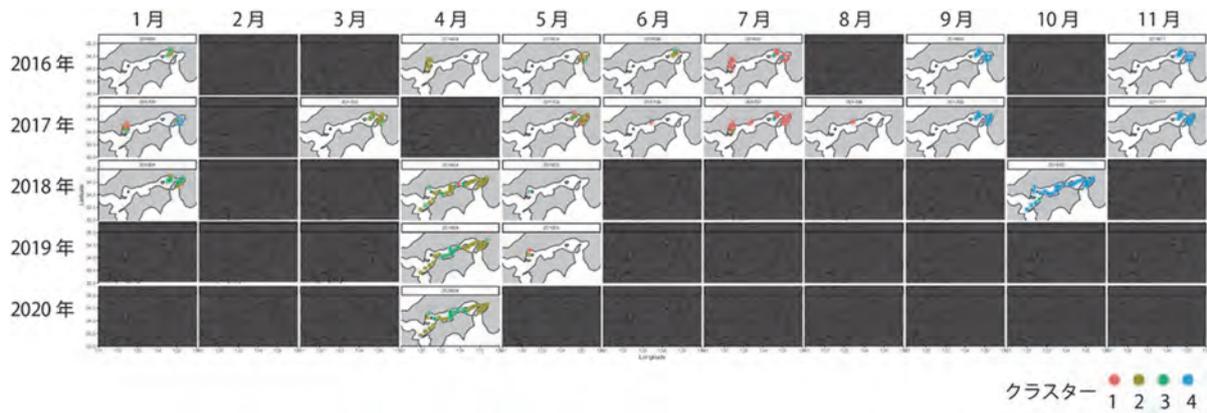


図2 2016年～2018年における各クラスターの出現状況

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
大阪湾	1		2	2	2		3		4	4	4	
播磨灘	1		2	2	1	1	3	3	4	4	4	
備讃瀬戸				1						4		
燧灘				1						4		
広島湾	1			1	2		3			4		
安芸灘				2						4		
伊予灘				2						4		

図3 各灘湾・各月で優占したクラスター