

大阪湾圏域の海域環境再生・創造に関する 研究助成制度（平成２９年度実施）成果発表会

大阪湾広域臨海環境整備センター

事務局：特定非営利活動法人 瀬戸内海研究会議

平成３０年５月１０日（木） １３：００～１６：４０

ラッセホール リリー

目 次

1. 大阪湾圏域の栄養塩管理に資する河川流入負荷量推計モデルの開発 古賀 佑太郎 公益財団法人ひょうご環境創造協会 兵庫県環境研究センター水環境科	1
2. 海色衛星観測データを用いた埋立地周辺を含む大阪湾における赤潮動態の 解明 (その3) 小林 志保 京都大学大学院農学研究科	5
3. 埋立てに伴う地形改変が大阪湾内部生産有機物の堆積過程に与える影響評価 秋山 諭 (地独) 大阪府立環境農林水産総合研究所水産研究部	9
4. 大阪湾底泥における珪藻類休眠期細胞の分布・発生とそれに基づいた有益 ・有害ブルーム識別評価 (その2) 石井 健一郎 京都大学大学院人間・環境学研究科	13
5. 大阪湾圏域における微量金属の分布と有毒有害プランクトン発生への寄与 内藤 佳奈子 公立大学法人県立広島大学生命環境学部	17
6. 真核従属栄養生物ヤブレッツボカビ類の大阪湾における生態的影響力の解明 上田 真由美 (地独) 大阪府立環境農林水産総合研究所水産研究部	21
7. 大阪湾におけるクルマエビ科小型エビ類の資源動態と環境要因の関係性の解明 ～主要構成種交替のメカニズム解明を通じて～ 山中 智之 (地独) 大阪府立環境農林水産総合研究所水産研究部	25
8. 大阪湾におけるマイクロプラスチック汚染の現況把握と魚介類への影響に 関する研究 (その3) 田中 周平 京都大学大学院地球環境学堂	29
9. 大阪湾圏域の干潟におけるマイクロプラスチックの存在実態とその化学 ・生物学的影響 (その2) 中尾 賢志 大阪市立環境科学研究センター	33
10. 海辺の環境再生活動の社会的価値算定に関する研究 ～尼崎運河を事例として～ 山中 亮一 徳島大学環境防災研究センター	37

大阪湾圏域の栄養塩管理に資する河川流入負荷量推計モデルの開発

○古賀 佑太郎¹⁾、鈴木 元治¹⁾、嶋寺 光²⁾

1) (公財) ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター

2) 大阪大学大学院 環境・エネルギー工学専攻共生環境評価領域助教

1. 研究目的

瀬戸内海では、水質汚濁防止法や瀬戸内海環境保全特別措置法等の規制や対策により、陸域からの汚濁負荷量が削減され、水質が一定改善された。一方で、瀬戸内海の一部である播磨灘においては近年ノリの色落ちや漁獲量の減少が見られ、貧栄養化したとも言われている¹⁾。これに関連して、平成27年10月に一部改正された瀬戸内海環境保全特別措置法の附則に、瀬戸内海における栄養塩類（窒素・りん）の適切な管理等の調査及び研究に関する条項が追加される²⁾ など、栄養塩類の挙動についてより関心が高まっている。

一般的に、大気中や地表面の窒素、りんは降雨により地下水や河川に流入することが知られている³⁾。しかし、各自治体等で蓄積されている常時監視データは平水時を対象としており、降雨時のデータは少ない。そこで、本研究では兵庫県内の一級河川である加古川において播磨灘へ流入する窒素負荷量を把握するため、各自治体等で蓄積されている平水時の常時監視データに加え、独自で調査した降雨時のデータを利用し、平水時・出水時両面の評価が可能な水質モデルを構築する。これらの結果から、降雨時における陸域の面源の流出負荷量の影響を評価し、播磨灘における栄養塩類の適正な管理方策に繋がる知見を得ることを目的とした。

2. 解析方法と実測データ

2.1. 水文・水質モデル概要

図1に水文・水質モデルの概要図を示す。水文モデルにて、流域界・水路網データ、土地利用データ及び気象データの3種類のデータを入力し、流量が計算される。続いて水質モデルにて、全窒素の排出源である面源負荷、事業所負荷、下水処理場負荷のデータ及び流量を入力し、窒素移動量が計算される。

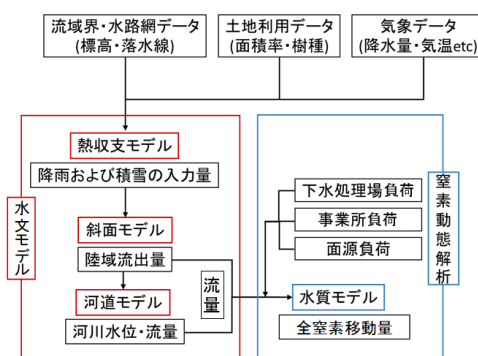


図1 水文・水質モデル概要図

2.2. 計算条件

計算領域は図2に示す加古川流域全域であり、流域全体を標準地域メッシュ（3次メッシュ）に分割し、1,852の計算格子を設定した。計算期間は2015年の1年間とした。加古川流域の土地利用割合を表1に示す。表2に示す原単位に対して（降水強度/年間降水量）の比率で窒素が流出すると仮定した。また、点源負荷は、下水処理場からの排水の日平均流量および窒素濃度、および事業所からの年平均排水量および窒素濃度を入力して計算を行った。表3に点源の年間全窒素負荷量を示す。



図2 加古川流域と調査観測地点

表1 加古川流域の土地利用割合

土地利用	山林	水田	畑地	市街地	水域
割合 (%)	66.4	18.7	1.0	11.3	2.6

表2 土地利用ごとの面源負荷原単位

面源負荷原単位 (kg/ha/年)			
山林	水田	畑地	市街地
5.8	5.0	2.4	4.5

表3 点源の年間全窒素負荷量

	下水処理場	事業所
年間負荷量 (t)	183	520

2.3. 流量及び全窒素濃度データ

水質モデルの計算値と比較する全窒素濃度の実測データは、降雨時は独自で実施した調査のデータ⁴⁾を使用し、平水時は常時監視データ⁵⁾を使用した。それぞれの調査観測地点を図2に示す。降雨時の調査は表4に示す調査日において、降雨後に上流より、板波橋、古川橋、西脇橋、大住橋及び美嚢川橋で採水した（流域調査）。また、中西条では降雨時に2時間おきに計12回採水を実施した（経時調査）。

表5に各地点の調査観測項目を示す。

表4 降雨時調査日

降雨イベント	年	流域調査	経時調査 (中西条)
1	2015	8/20	—
2		9/17	9/16-17
3		10/28	10/27-28
4		11/18	11/17-18

表5 各地点の調査観測項目

地点		流量	全窒素濃度	
			降雨時 (採水地点名)	平水時
国 交 省 観 測 地 点 名	船町	○	—	—
	板波	○	○(板波橋)	○
	古川第二	○	○(古川橋)	—
	万願寺	○	○(西脇橋)	—
	大島	○	○(大住橋)	—
	別所	○	—	—
中西条		—	○※2時間おき	—

3. 計算結果

3.1. 流量

全流量観測点における年平均流量の実測値と計算値の比較を図3に示す。また、加古川本流に位置する板波と大島における時間別流量の実測値と計算値の比較を図4に示す。流量は全体的に計算で過大評価傾向ではあるが、板波と大島において時間変動傾向が再現されており、良好な結果と言える。

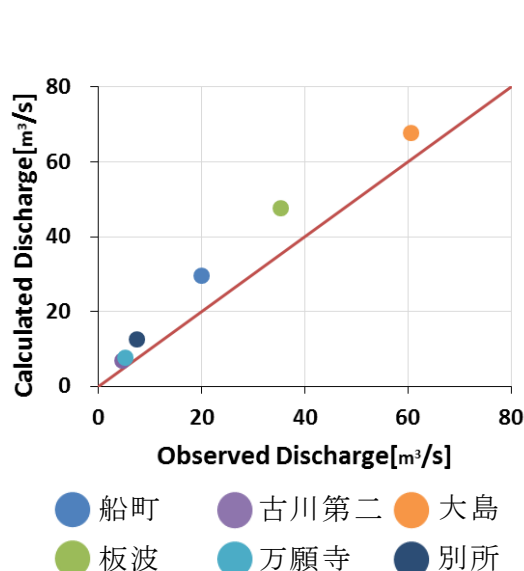


図3 年平均流量の実測値と計算値の比較

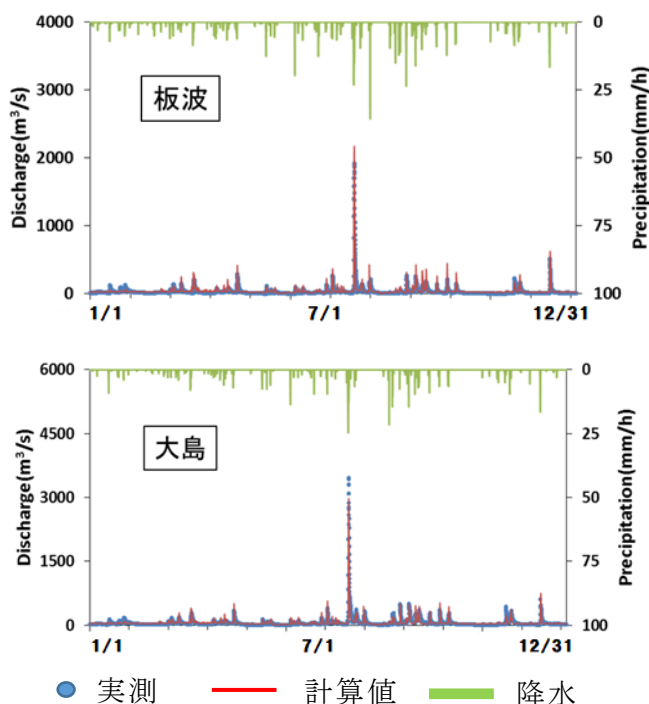


図4 流量の実測値と計算値の比較

3.2. 全窒素濃度

全窒素濃度について、降雨時に2時間ごとに実測した中西条と、降雨時と平水時に実測値が得られた板波の実測値と計算値の比較をした。図5に面源負荷が存在する場合と、存在しない場合の2通りの条件で、実測値と計算値を経時的に示す。また、中西条における10月27～29日の結果を示す。

図5から降雨流出による面源からの全窒素負荷量を過大評価していると考えられる。その原因として、面源負荷原単位の値を高く設定している可能性が考えられる。また、池淵周一ら⁶⁾によると、溶存態無機窒素、溶存態無機りん、懸濁態りんは広葉樹林流域が大きいほど、流出負荷量が大きくなり、懸濁態窒素については針葉樹林流域が大きいほど流出負荷量が増加するという傾向がある。本モデルは山林による面源負荷は一定としており、樹種による値の違いは考慮していないため、今後山林の樹種構成を考慮して面源汚濁負荷原単位を設定する必要がある。

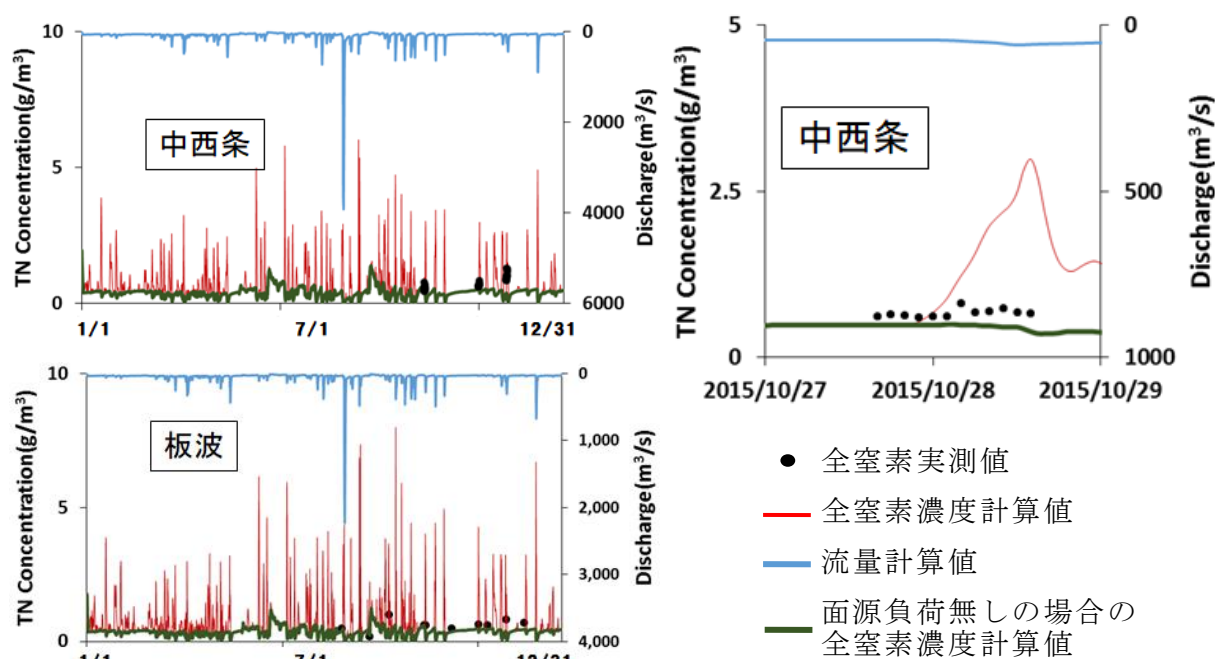


図5 全窒素濃度の実測値と計算値の比較

4. 結論

本研究で構築した水文・水質モデルにより、降雨時を含む面源からの流出負荷を評価した。加古川流域における河川流量は良好に再現したが、降雨時流出の全窒素濃度を過大評価した。その原因は、面源負荷の過大評価であることが示唆された。

今後の課題として、降雨時に流出する全窒素負荷量を正確に再現できるようモデルを改良するため、面源からの降雨流出量の評価を改善することが挙げられる。そのため、山林の樹種を考慮するなどの土地利用区分の細分化や、窒素の存在形態別の考慮による窒素負荷量計算の精度向上が必要である。

【参考文献】

- 1) 山本 民次, 花里 孝幸: 海と湖の貧栄養化問題, p. 55-57, 地人書館, 東京 (2015)
- 2) 「瀬戸内海環境保全特別措置法の一部を改正する法律について」
http://www.env.go.jp/water/heisa/setonaikai_law_rev/kaiseiho-gaiyo.pdf (参照 2018.2.13)
- 3) 大垣 眞一郎, 財団法人河川環境管理協会: 河川と栄養塩類, p. 142-152, 技報堂, 東京 (2005)
- 4) 古賀佑太郎, 宮崎一, 藤森一男, 松林雅之: 加古川流域における降雨時の窒素, りん負荷量の調査, 公益財団法人ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター紀要, 第7号, p. 8-14
- 5) 国土交通省: 水文水質データベース (参照 2017.10.18) www1.river.go.jp
- 6) 池淵周一: 流域森林等の変化をシナリオとしたシミュレーションの実施, 森林理水機能調査 (森林整備手法等基準化調査) 報告書, pp264-274, 2015

海色衛星観測データを用いた埋立地周辺を含む大阪湾における赤潮動態の解明（その3）

○小林志保（京都大学大学院農学研究科）

中田聡史（神戸大学大学院海事科学研究科）

山本圭吾（大阪府立環境農林水産総合研究所）

秋山諭（大阪府立環境農林水産総合研究所）

石坂丞二（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

1. 研究目的

本研究は、一昨年度、昨年度に助成をいただいた継続研究である。昨年度から引き続き、大阪湾において発生する広範囲かつ時間変化の激しい赤潮の動態を、近年新しく公表された時間・空間分解能の高い衛星海色データを用いて解析する手法の開発を行なった。

昨年度までの研究では、面的な衛星クロロフィル a(衛星 Chl.a)濃度データと公的な赤潮情報との関連性を明らかにすることにより、現場データを時間的・空間的に補間する際に、衛星データが有用であることを示すとともに、台風直後における赤潮水塊の発生とそれがどのように移流・拡散され、消えていくのかという赤潮の具体的な事例を示した。一方で、現場 Chl.a 濃度が 10 $\mu\text{g/L}$ を超える海域については衛星 Chl.a の推定精度が低く、そうした領域における衛星 Chl.a 濃度の精度を高めることが課題であった。

これらのことから、本年度の研究では、各波長におけるリモートセンシング反射率 (R_{rs}) を用いて衛星 Chl.a の最適化を行なうとともに、人工衛星から得られる水温場、塩分場、光学特性と Chl.a 分布を比較し、埋め立て地周辺も含めた大阪湾における赤潮の消長メカニズムについて調べた。

2. 研究方法

2017 年 7, 8, 9 月に埋立地周辺海域を含む大阪湾奥において、また 2015 年から 2017 年の 5, 8, 11, 2 月に大阪湾全域において現場観測を実施した (図 1)。採水して現場 Chl.a 濃度および有色溶存有機物による光吸収係数 (a_{CDOM}) を測定するとともに、海面分光放射計 (RAMSES; TriOS

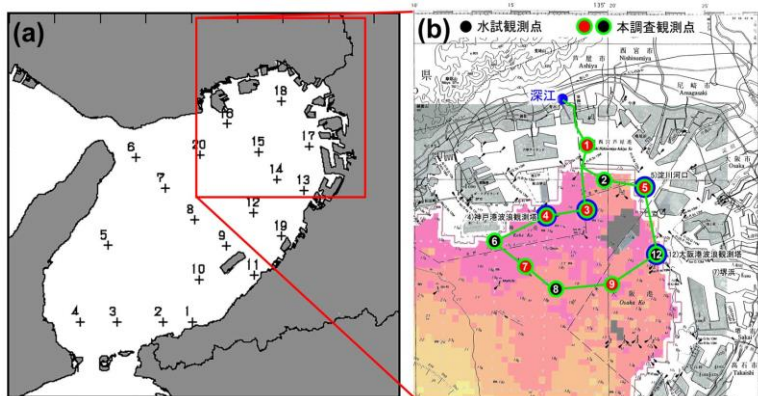


図 1 (a) 大阪府立環境農林水産総合研究所の観測定点。 (b) 神戸大学「白鷗」による現場観測および採水地点 (赤丸と黒丸)。

社)によって各波長におけるリモートセンシング反射率を得た (以下、現場 R_{rs})。これらの現場データに基づいて水中アルゴリズムおよび大気補正アルゴリズムを検討するために、近年

利用が開始された静止衛星 COMS/GOCI の毎時観測によるデータのうち、波長 865, 745, 680, 660, 555, 490, 443, 412 (nm) における Rrs をダウンロードし（以下、衛星 Rrs）、衛星 Chl.a データを作成した。整備した衛星 Chl.a および aCDOM データセット、また周回軌道衛星 Terra/Aqua に搭載された分光放射計 (MODIS)のデータのうち光合成有効放射(PAR)と海面水温(SST)および気象データを大阪湾における赤潮動態の解析に用いた。

3. 結果と考察

大阪湾においては、Chl.a 濃度が 10 µg/L 以上である場合は赤潮が発生している可能性がある(山本・中嶋, 2001)。本研究では、Chl.a 濃度が 10 µg/L 以上の場合を赤潮と見なし解析を行なった。

現場 Rrs から複数の水中アルゴリズムを用いて Chl.a 濃度を推定し、実測 Chl.a 濃度と比較したところ、下記のアルゴリズム

(Ratio V2010)を用いた場合に、log_BIAS, log_RMSE がそれぞれ 0.038 および 0.24 (n

= 146) と推定精度が最も高かった。

$$R = \frac{Rrs(443) + Rrs(490) - Rrs(412)}{Rrs(555)}$$

$$\text{estimated chl.a } (\mu\text{g/L}) = 1.8528 * R^{-3.263}$$

また、衛星 Rrs から Ratio V2010 を使って求めた推定 Chl.a 濃度と、2015 年から 2017 年までに大阪湾全域で得られた実測 Chl.a 濃度を比較したところ図 3 のようになり、実測 Chl.a 濃度が非常に高い地点では外れ値が多少生じるものの、実測濃度が 20 µg/L 程度の範囲では、ほとんどのプロットは両者が一致する直線上に分布した。log_BIAS, log_RMSE は、それぞれ -0.23 および 0.46 (n = 102) であり、推定の適用範囲および推定精度は赤潮発生海域の特定には十分であると考えられた。

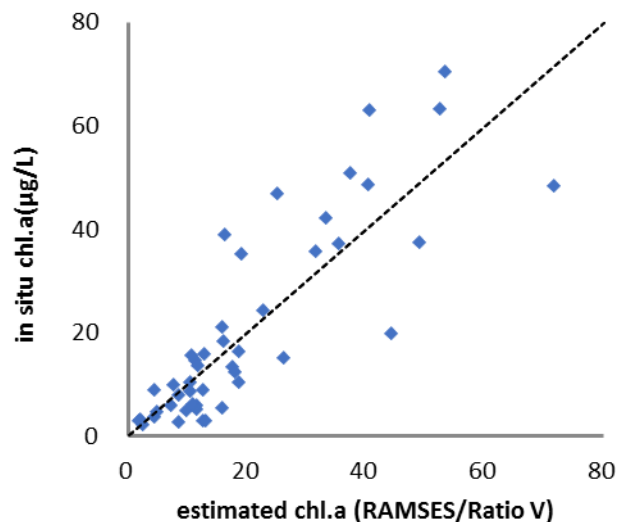


図2 現場 Rrs から推定した Chl. a 濃度と採水して測定した Chl. a 濃度の関係。点線は x 軸の値と y 軸の値が一致する線を示す。

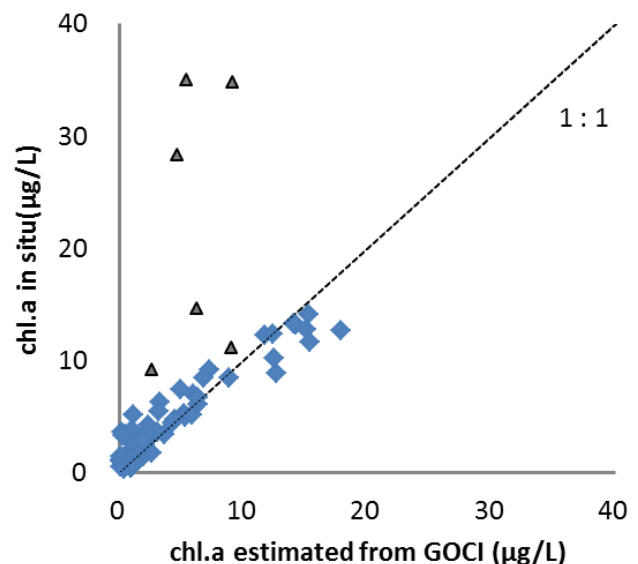


図3 衛星 Rrs から推定した Chl. a 濃度と採水して測定した Chl. a 濃度の関係。点線は図 5 と同様であり、三角印は、はずれ値を示す。

次に、静止衛星 COMS/GOCI から得られる水平解像度 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ の衛星 Rrs データを用いて Chl.a 濃度を推定し、解析期間中(2011~2017 年)に起きた赤潮の動態を解析した。ここでは最も新しい 2017 年の衛星データを用いて、Chl.a 濃度分布の変化を示す。図 4 に GOCI から得られた 2017 年 5 月の衛星 Chl.a 分布、図 5 に MODIS から得られた同期間の光合成有効放射量をそれぞれ示した。海面水温(SST)は解析期間を通して 18°C を超えており、植物プランクトンの増殖に対する水温制限は弱いと考えられた。

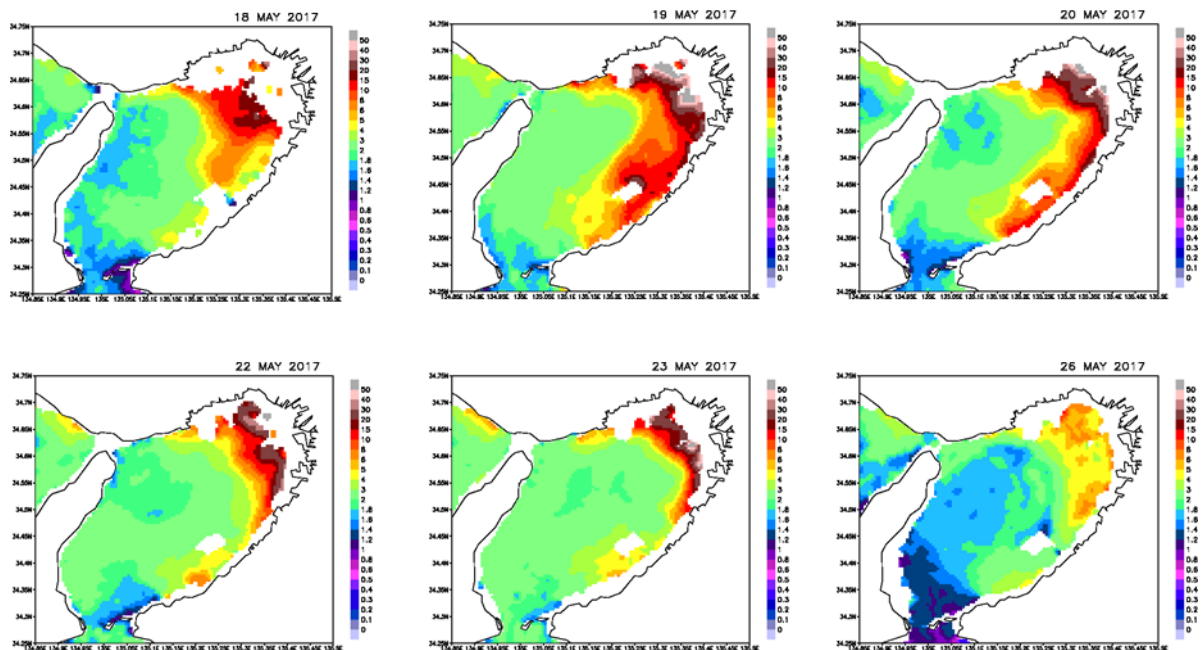


図 4 2017 年 5 月における衛星 Chl.a ($\mu\text{g/L}$) 分布

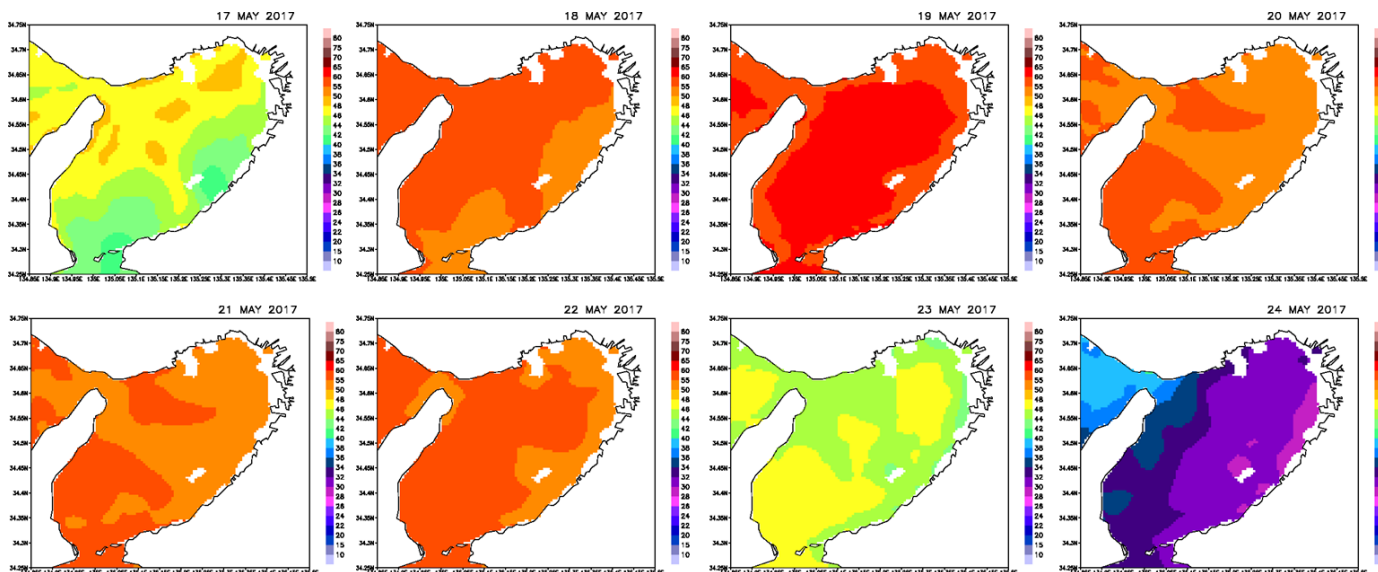


図 5 2017 年 5 月における PAR ($\text{Ein/m}^2/\text{day}$) 分布

2017 年 5 月は降雨量が比較的少なく河川流量はほぼ平水流量であったが、5 月 13 日から 14 日にかけてやや河川流量が増加した。その後の 5 月 18 日から 23 日に得られた Chl.a 濃度（図 4）は湾奥で 20 $\mu\text{g/L}$ を超える赤潮状態となっており、赤潮状態は 5 月 26 日には終息した。光合成有効放射（PAR; 図 5）は、5 月 17 日まではやや低いが、5 月 18 日から 22 日までの間は比較的高くなっていた。また 5 月 23 日にはやや低下し、5 月 24 日以降は非常に低くなった。衛星 Chl.a 分布の変化（図 4）に見られた赤潮の発生、終息のタイミングは、PAR の上昇、低下のタイミングとそれぞれよく一致していた。

また低塩分領域で一般に高い値を示す aCDOM は、5 月 13 日から 26 日の間には大阪湾奥から東岸に沿って高くなっていた。一方、7～8 月の出水後には大阪湾の北岸に沿って高く、これらの分布はこれまでに報告された大阪湾における低塩分水の分布と矛盾しない。2017 年 5 月に得られた衛星 Chl.a の分布（図 4）は、平水時における低塩分水の分布と一致していた。

すべてのデータを掲載することはできないが、衛星データを用いて解析したところ、いずれの年についても 5 月から 9 月の赤潮発生期間を通じて、赤潮の発生および終息は光合成有効放射の変化に強く依存し、赤潮水塊が移流・拡散する範囲や方向は、淀川から大阪湾に流入した河川水の広がりによく対応していた。

4. 結論

埋立地周辺の水域に注目して赤潮水塊がどのように発生し、消えていくのかという赤潮の動態（発生から消長）を明らかにするため、近年利用が開始された静止衛星「千里眼」の毎時観測による高解像度 GOCI プロダクトの Chl.a 濃度データを解析した。

はじめに衛星 Chl.a 濃度の推定精度について検討を行なった。2010 年に開発された水中アルゴリズム (Ratio V2010) を適用することにより推定精度が向上し、衛星 Chl.a と実測 Chl.a を比較すると、実測 Chl.a 濃度が 20 $\mu\text{g/L}$ までの範囲では、ほとんどのプロットは両者が一致する直線上に分布した。実測 Chl.a 濃度が 20 $\mu\text{g/L}$ を超える範囲においてはややばらつきが大きくなるものの、推定の適用範囲および推定精度は赤潮発生海域の特定には十分であることが示された。

人工衛星から得られた Chl.a 濃度、海面水温、光合成有効放射、塩分と相関関係にある aCDOM の分布を用いて 2011～2017 年における赤潮の動態を解析した結果、5 月から 9 月の赤潮発生期間を通じて、赤潮水塊が移流・拡散する範囲や方向は、淀川から大阪湾に流入した河川水の広がりに対応すると考えられた。また赤潮の発生および終息は、光合成有効放射の変化に応じて起きることが、衛星 Chl.a 分布および衛星 PAR のデータから示唆された。

引用文献

山本圭吾・中嶋昌紀（2001）大阪湾における水中型蛍光光度計を用いたクロロフィルの測定と赤潮の判断，大阪府立水産試験場研究報告，13，1-9。

埋立てに伴う地形改変が大阪湾内部生産有機物の堆積過程に与える影響評価

代表研究者：秋山 諭

大阪府立環境農林水産総合研究所 水産研究部・研究員

共同研究者：中谷祐介¹⁾，西田修三¹⁾，田中咲絵²⁾，横松宏幸²⁾，曾根耕治²⁾

1) 大阪大学大学院 工学研究科，2) 大阪府立環境農林水産総合研究所

1. 研究目的

埋立地周辺を含む大阪湾奥部や沿岸海域では，陸域からの栄養塩供給により活発な生物生産が行われており，生産された有機物は海水の流動により湾内，湾外へと輸送される．既往知見により，海面埋立てによる地形改変は，沿岸海域および湾全体の海水流動を変化させることが明示されており，内部生産有機物や河川由来懸濁物の挙動や堆積分布の変化が示唆されている．しかし，大阪湾では，鉍物粒子の粒度組成の変化に着目した堆積物の現地調査の事例はあるものの，有機物の懸濁・堆積の挙動変化を捉えた調査例はない．本研究では，海底堆積物を層状に採取し，各層の有機物や鉍物粒子について調査することで，内部生産有機物の堆積状況を明らかにする．併せて，内部生産有機物および河川由来懸濁物の挙動について数値シミュレーションを実施し，海面埋立てによるこれらの挙動の変化を明らかにする．

2. 研究方法

2.1. 大阪湾海底における表層堆積物の水平分布

大阪湾内 23 地点で船上から採泥器により採集した海底表層堆積物について，有機物項目（ $\delta^{13}\text{C}$ ， $\delta^{15}\text{N}$ ，TOC，TN），鉍物粒子項目（中央粒径値 $\text{Md}\phi$ ，淘汰度 σI ，歪度 $\text{Sk}I$ ，泥分率，含水率），金属元素項目（Cd，Cu，Zn，Pb，Ni，Mn，Cr，Li）を測定し，各項目の水平分布の把握および項目間の相関関係を調べた．

2.2. 鉛直データでみる表層堆積物の分布特性

1. と同じ 23 地点でコアサンプラーにより採集した表層堆積物を表面から 1 cm ずつ計 10 層に切り分け，全地点・全層の試料について有機物項目と鉍物粒子項目を測定した．各項目の鉛直分布を指数関数的減衰式で近似し，第 1 層推定値，第 10 層推定値および減衰率の 3 値で鉛直分布を表現した．この 3 値を用いて有機物項目および鉍物粒子項目のそれぞれについて主成分分析を実施し，主成分得点を基にクラスター分析を行い，海域区分を実施した．

2.3. 数値シミュレーションによる地形改変による有機物堆積過程の変化推定

大阪湾全域を計算領域とし，流動モデル ECOMSED と物質循環モデル RCA により内部生産有機物と河川由来懸濁物の堆積過程を，現在地形および過去地形（1930 年代）のそれぞれで計算した．なお，計算期間は助走計算を含めて 2012 年 6 月 1 日～8 月 31

日とし、河川由来懸濁物の挙動については8月14日の出水イベントを対象とした。

4. 結果と考察

4.1. 大阪湾海底における表層堆積物の水平分布

有機物量 (TOC, TN), 淘汰度以外の鉱物粒子項目, Mn と Cd 以外の金属元素項目には高い相関関係が認められ (図 1), これらの項目は主に淀川河口部から神戸空港東およびそこから関西国際空港へ向けて南方に舌状に伸びる範囲で比較的高くなった。一方, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ については淀川河口部でのみ値が小さく, 陸由来有機物の影響範囲は湾奥部の狭い範囲に限られていた。多くの金属元素は有機物と結合して存在していると考えられることから, 金属多項目データは有機物の「質」を表す指標として利用できる可能性が示された。

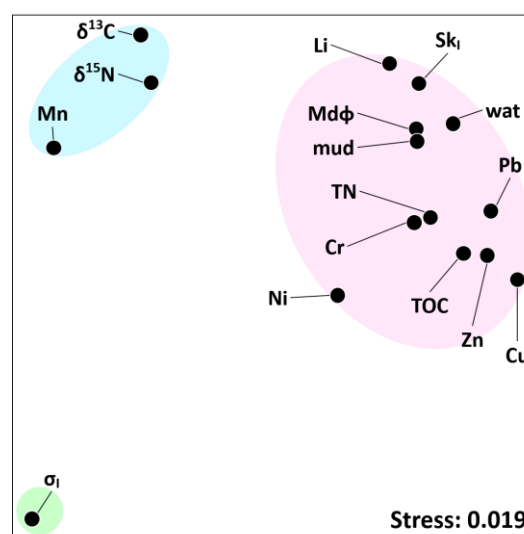


図 1. 相関係数を類似度とした非計量多次元尺度構成法による分析項目の配置。

4.2. 鉛直データでみる表層堆積物の分布特性

有機物項目の鉛直分布データを基に実施した主成分分析では, 同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$), 有機物量 (TOC, TN), 有機物量の減衰率がそれぞれ異なる主成分と相関が高かった。一方で, 鉱物粒子項目による主成分分析では, 主成分と各項目の相関は弱かった。クラスター分析によって分けられた海域区分は, 有機物項目と鉱物粒子項目によって異なり (図 2, 3), 供給源および比重の違いが有機物と鉱物粒子の分布様式に違いを生じさせたと推察された。

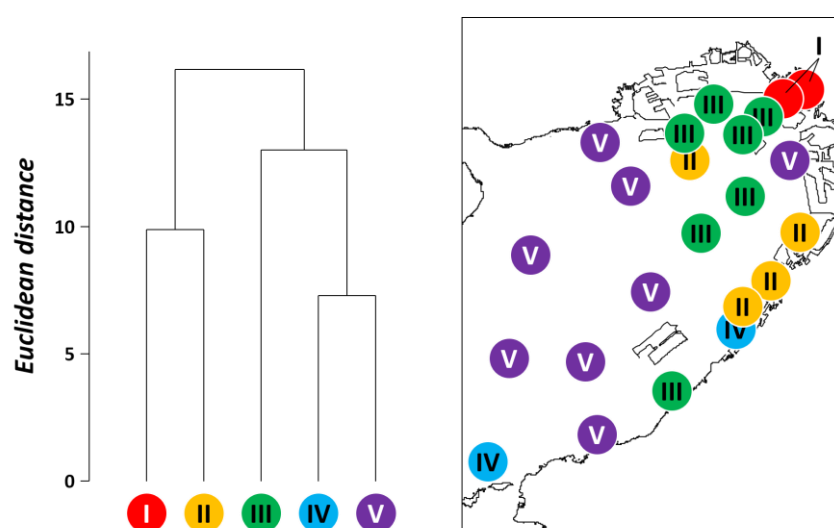


図 2. 鉛直データを基にした有機物項目のクラスター分析結果

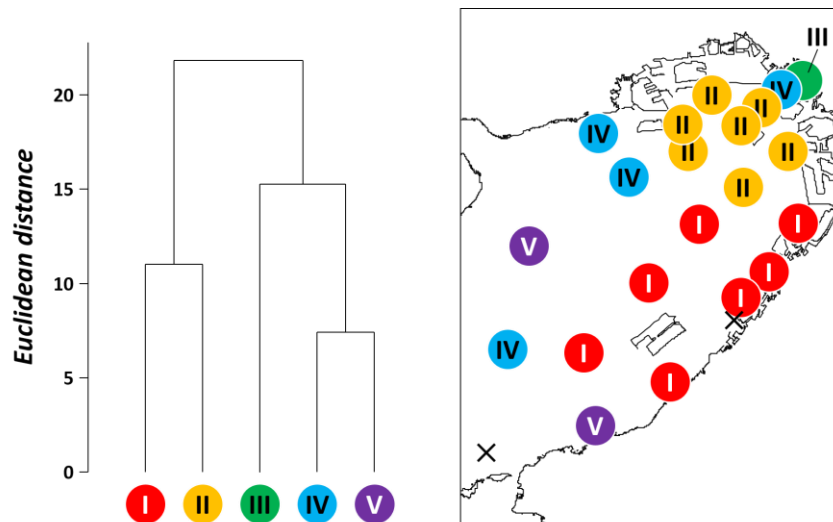


図 3. 鉛直データを基にした鉱物粒子項目のクラスター分析結果

4. 3. 数値シミュレーションによる地形改変による有機物堆積過程の変化推定

計算の結果、淀川河口から流出した河川水は、過去地形では北岸に沿って流れているが、現在地形では西宮沖防波堤の沖側に拡がっており、構造物によって河川水の流路が変化していた（図 4）。また、過去地形では上層に時計回りの循環流が明瞭に形成されていたのに対し、現在地形では循環流は認められず、地形改変で流動構造が明確に変化していることが示唆された。出水イベント時の懸濁物は、過去地形では北岸に沿って流れた後に、明石海峡前面にまで到達したが、現在地形では西向きの輸送の後、ポートアイランドや神戸空港によりやや南方へと流れを変えていた。また、現在地形では神戸港西部で堆積厚が増加しており（図 5）、これは複数の人工島が形成されたために流動が弱まったためと考えられる。このように北部港湾域に建設された防波堤や埋立地が、河川由来懸濁物質の挙動に大きな影響を及ぼしていることが示唆され、現在の舌状分布に寄与している可能性が高い。

5. 結論

大阪湾の海底堆積物について、有機物と鉱物粒子ではクラスター分析により分けられた海域区分の構造が異なり、堆積過程の違いを反映しているものと考えられた。数値シミュレーションの結果、淀川から出水イベント時に流入する河川由来懸濁物の挙動は、北部港湾域の埋立地や構造物による影響を強く受け、過去には明石海峡まで西進していた水塊が、現在ではポートアイランドや神戸空港にぶつかることにより南方へ輸送された。この南進により堆積分布が変化し、現在の舌状分布の一因となったと推察された。大阪湾の海底堆積物分布は、出水イベントや大規模赤潮の発生、地形改変以外にも、底生生物による生物擾乱、底曳き網漁業による耕耘作用により刻々と変化している。今回の現場調査結果でも、2013 年に実施された調査とは異なる海域で粗粒化・細粒化が見られている。微細粒子の分布は、有機物量と強い相関関係が見ら

れており，堆積物分布の変動は底生生物の餌料環境や貧酸素水塊発生起源水域を決定する要因となる．有機物の舌状分布は水深 10～20 m の海域を中心に分布しており，底曳き網の漁場にもなっている一方，夏季には貧酸素水塊の発生海域ともなっており，堆積した有機物が上位の生物へ上手く配分されにくい構造ができている．底生生物環境を考える上では，栄養塩負荷量変化にともなう内部生産「量」の変動把握だけではなく，輸送・堆積する有機物の「利用しやすさ」を踏まえた方策が必要であると考えられる．

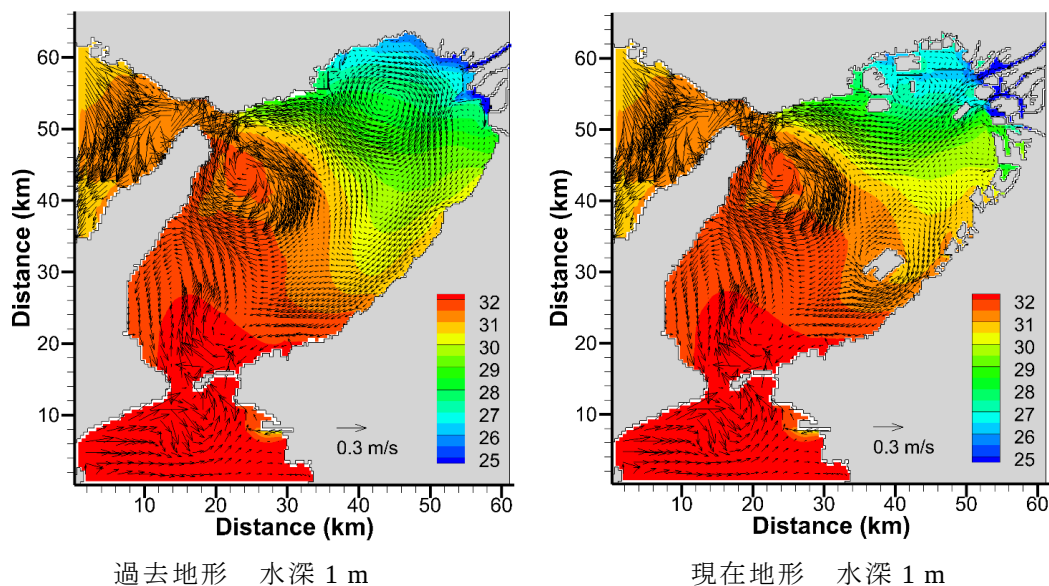


図 4. 塩分と残差流の計算結果（8/16～31 の 15 日間平均値）

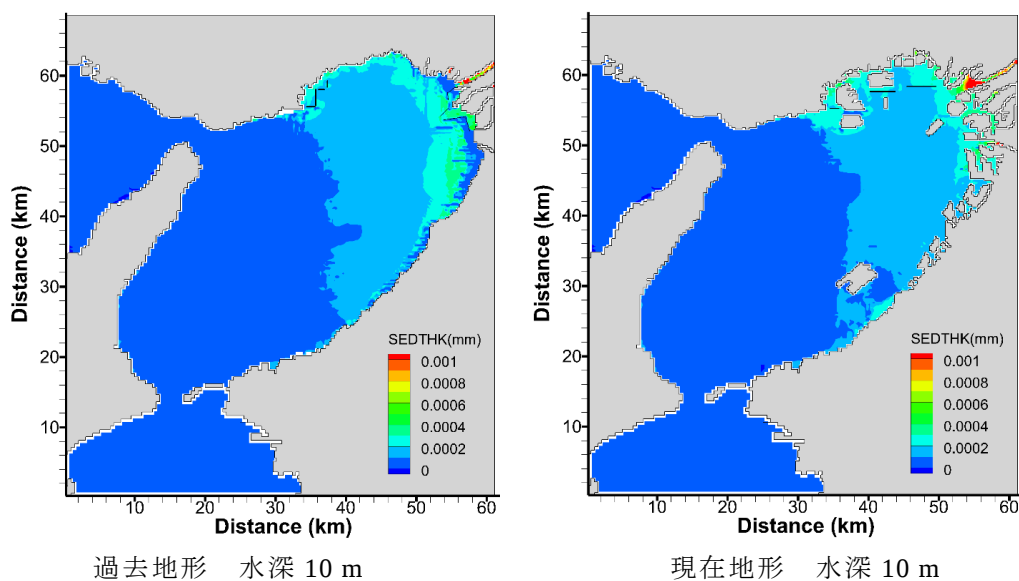


図 5. 河川由来懸濁物質の堆積分布（8 月 31 日 0:00 瞬間値）

大阪湾底泥における珪藻類休眠期細胞の分布・発生とそれに基づいた 有益・有害ブルーム識別評価（その2）

○石井健一郎（京都大学大学院人間・環境学研究科）

松岡数充（長崎大学名誉教授）

山本圭吾（大阪府立環境農林水産総合研究所・水産技術センター）

山口晴生（高知大学農林海洋科学部）

宮下英明（京都大学大学院人間・環境学研究科）

1. 研究目的

大阪湾ではこれまでの調査研究（山本 2004, 山本他 2009, 今井 1990）によって有害・有毒種として *Alexandrium tamarense* や *Chattonella* が出現して被害をもたらしていることが知られており、それらのシストが表層堆積物中に保存されていることが明らかになっているが、それらの分布が主としてどちらの要因に支配されているのかを明らかにした研究事例はない。本研究では大阪湾表層堆積物中に保存されている珪藻休眠期細胞や有害・有毒渦鞭毛藻シストの水平分布を支配する要因の解明を目指した。

2. 研究方法

試料は 2017 年月 8 月 23 日に大阪府水産技術センターが採取した大阪湾 23 地点の中から昨年度との重複を避けて試料を選定した（図 1）。今年度の試料も表層約 2cm を分取した後、黒色プラスチック容器へ移し、研究室まで冷暗状態で運搬し、分析開始まで 15°C で保存した。

<底泥含水率の測定>

休眠期細胞やシスト産出量を堆積物湿重量や乾燥重量で表現するために堆積物の含水率を昨年度の同様の方法で求めた。

<珪藻休眠期細胞の抽出と観察>

試料採取後直ちに冷暗所（15°C）に移し、2ヶ月以上保存することで栄養細胞の生残する可能性を排除した。試料 1 g (湿重) を目合い 100 μm 及び 20 μm と 10 μm の篩を用いてサイズ分画を行なった後、目合い 20 μm 及び 10 μm の篩上の残渣物を 10 mL の濾過滅菌海水に懸濁し、その中の珪藻類休眠期細胞を対象に種同定と計数を行った。

<渦鞭毛藻シストを含むパリノモルフの抽出と観察>

Matsuoka & Yukuyo (2000) に従って試料を処理し、検鏡用試料を調製した。常温で塩酸、フッ化水素酸により珪酸質、石灰質粒子を除去し、目合い 125 μm のステンレス製篩と 10 μm のプランクトンネット篩を用いて分画し、目合い 10 μm 篩上に残った有

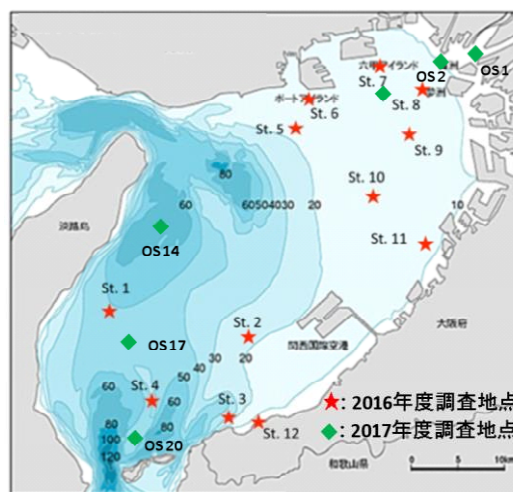


図 1 分析試料採取地点

機物を観察対象とした。濃縮精製試料を十分に攪拌した後、適量ピペットでスライドグラスに取り、観察した試料の重量を測定した後、カバーグラスをかけ、正立顕微鏡（DN-107T, AsOne）を用いて 400 倍でシストの同定・計数をおこなった。パリノモルフ個体数は堆積物の含水率を求め、それを基に乾燥重量 1g に換算した。結果と考察は昨年度の成果も含めて行った。

3. 結果

<珪藻休眠期細胞>

13 属 29 種以上の珪藻休眠期細胞が産出した。中でも *Chaetoceros* 属が 13 種以上と最も多様であった。各地点における底泥中に出現した珪藻類休眠期細胞密度を図 2 に示した。最低値は 181 cells/g (St. OS 20), 最高値は 18157 cells/g (St. 8)で、全地点平均では 4954 cells/g であった。珪藻休眠期細胞産出密度は湾南部で 2940 cells/g と少なく、St. OS 1 を除く湾奥で 7935 cells/g と多産した。湾西部の St. OS 14 でも 2576 cells/g と産出量はやや少なかった。大阪湾での主要な赤潮原因種である *Skeletonema* 属はほとんど確認されず、12 地点中わずかに 4 地点 (St. 2, 7, 11, OS 8) で極めて低密度で産出したのみであった。これに対し、*Chaetoceros* 属の休眠期細胞は全地点で存在が確認でき、特に湾北部において種数、細胞数ともに多かった。今回得られた最も高密度の種は *Chaetoceros vanheurckii* で、St. 6 で 1450 cells/g を記録した。その他 *Actinocyclus*, *Leptocylindrus danicus*, *Thalassiosira* の休眠期細胞も産出した。

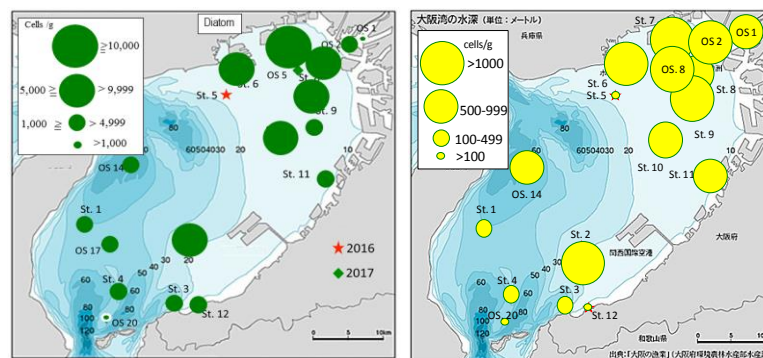


図 2 左：珪藻類全体の休眠期細胞密度 右：*Chaetoceros* 属の休眠期細胞密度

<渦鞭毛藻シスト>

シスト形態は< Matsuoka, K. and Ishii, K. 2018 Marine and freshwater palynomorphs preserved in surface sediments of Osaka Bay, Japan. Bulletin of the Osaka Museum of Natural History, No. 72, 1-17>を参照した。

群集組成：光合成種シストとして *Spiniferites*, *Lingulodinium*, *Operculodinium*, *Tuberculodinium*, *Alexandrium**, *Scrippsiella*, *Peridinium**[#], *Polykrikos hartmannii*, *Gyrodinium instriatum*, *Gymnodinium catenatum* の 10 属 17 種以上（有毒種 *Alexandrium tamarense/catenella* を含む）、従属栄養性種シストとして *Brigantedinium*, *Lejeunecysta*, *Selenopemphix*, *Stelladinium*, *Votadinium*, *Protoperidinium**, *Dubridinium*, *Niea**,

Echinidinium, *Polykrikos**の 10 属 31 種以上が確認された．全域を通して従属栄養性シストが種数，産出量共に光合成シストよりも優勢であった(*はプランクトンの学名，それ以外はシストの学名，#は汽水性)．図 3 に各地点におけるシスト密度を示した．*Alexandrium tamarense/catenella* のシストは全試料で多産し，最高 St. OS 5 で 14,539 cyst/g を記録した．その他の光合成種シストでは *Spiniferites* が多く，*Lingulodinium*, *Tuberculodinium* がそれに次いだ．汽水性 *Peridinium quinquecorne**のシストも St. 12 で少量産した．従属栄養性シストは St. 5 で 15,743 cysts/g で最も多く産出した．従属栄養性シストでは *Brigantedinium* が優占した．*Brigantedinium* 属の場合，保存状態から発芽孔が観察できず，種を確定できる場合は少なかったが，*B. cariacense*, *B. simplex*, *B. majusculum*, *B. irregulare* などが確認された．それ以外では *Lejeunecysta*, *Selenopemphix*, *Stelladinium*, *Trinovantedinium*, *Votadinium*, *Echinidinium*, *Dubridinium* (*D. cavatum* が St. 9, St. 11 で多産) などの他，*Protoperidinium lattisium**, *Protop. amaricanum**, *Polykrikos kofoidii**が産した．

分布：光合成種シスト (*A. tamarense/catenella* シストを除く)，従属栄養性シストともに湾奥部に多産し，淀川河口域や湾南部には少なかった．*A. tamarense/catenella* のシストも淀川河口域を含む沖合域に多いが，湾中央から湾南部域でも豊産していた．

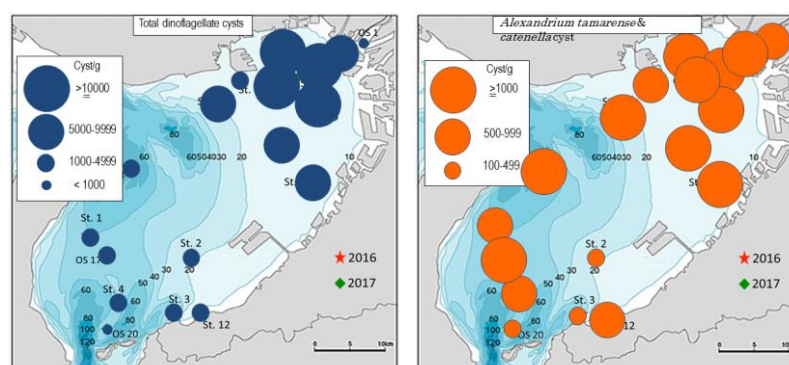


図 3 左：渦鞭毛藻類全体のシスト密度 右：*Alexandrium* 属のシスト密度

4. 考察

<大阪湾表層堆積物中の珪藻休眠期細胞>

珪藻類休眠期細胞は淀川河口前面を除く湾奥部で多産し，湾口部では少なかった．湾奥部では多様な *Chaetoceros* 属休眠期細胞が産出したが，発芽能力を持たないいわゆる死細胞が生細胞と比較して多く存在していた．死細胞が検出される湾北部の堆積物には硫化水素臭が確認でき，現場海底は DO も低く還元的環境であったことを反映している．特に St. 7, St. 8, St. 11 では夏季の最低溶存酸素量が 3mg/L を下回っていた．珪藻休眠期細胞は湾奥部（淀川河口の St. OS1 を除く）で高密度，湾中央部から湾南部にかけて密度が低下し，St. OS20 で最も低くなる．大阪湾での主要な珪藻類は *Skeletonema* spp., *Thalassiosira* spp., *Cheatoceros* spp. であることからこれらは湾奥部で増殖し，休眠期細胞を形成している．加えて湾奥部では流速の小さな（底層での恒流流速 1cm/s）西宮環流の影響下にあることから，形成された休眠期細胞は海底に沈積

しやすいことによると考えられる．湾中央部から南部にかけてはやや流速の大きな沖ノ瀬環流（底層での恒流流速 8cm/s）や友ヶ島反流（底層での恒流流速 15cm/s）の影響下にあり，水中で形成された珪藻休眠期細胞は海底に沈積することよりも流失することが多いと考えられる．これは湾奥部が珪藻休眠期細胞の主たる生産の場であり，それ以外の場所では珪藻休眠期細胞の生産はさほど大きくはなく，加えて休眠期細胞形成後に流れによって失われていることを反映した結果と推察出来る．

< *Alexandrium tamarense/catenella* シスト >

Alexandrium tamarense/catenella シストは他の渦鞭毛藻シストとは異なった水平分布を示す．St. OS 5 を除き，大阪湾全体での産出量に著しい差は認められなかった．本調査結果では *A. tamarense/catenella* シストの水平分布は山本他（2009）が示した水平分布と異なっている．山本他（2009）は 2006 年 10 月と 2007 年 5 月，10 月の *A. tamarense/catenella* シストの分布を示した．2006 年 10 月のその分布は湾奥域から沖合域東部で多産する（100-499 cyst/cm³；堆積物の乾燥密度を 0.3g/cm³ として，乾燥重量あたりに換算すると 330-1646 cyst/g）の大阪湾ほぼ全域で産出が確認されている．それに対し，*A. tamarennse* が 2007 年 4 月に湾沖域で赤潮状態にまで増殖した直後の 2007 年 5 月では湾奥域東部から沖合域東部で最高 5683 cyst/cm³（187,053 cyst/g）のシスト密度で産し，6 ヶ月後の 10 月でも 3275 cyst/cm³（10,807 cyst/g）のシスト密度であったが，湾南部海域の産出がほとんど確認されていない．山本他（2017）が示した *A. tamarennse* 栄養細胞の出現状態は湾東部を除く沖合域や湾南部域では出現していないか，あるいは極めて少量 10cell/L であったにもかかわらず，この海域の堆積物には *A. tamarense/catenella*（生）シストが 100-100 cysts/g の範囲で産出していることは重要な知見になる．他の渦鞭毛藻シスト産出量が湾奥からの距離と正の相関を示すことは，これらの渦鞭毛藻シスト形成後に流れによって移動・沈積したことを強く示唆している．しかし，*A. tamarense/catenella*（生）シストが湾南部域や南湾港域にも相当量産出していることは，この海域でも *A. tamarennse* 栄養細胞が増殖し，シスト形成を行っていたことが考えられる．兵庫県水産技術センターは湾奥部で早春に *A. tamarennse* の増殖がみられることを受けて，湾西部の洲本港でも *A. tamarennse* のモニタリングを実施している．その結果は湾奥と同様に早春の 3 月下旬から 4 月にかけて *A. tamarennse* の増殖があり，2017 年 4 月には 11500 細胞/L の密度であったことを報告している（<http://www.hyogo-suigi.jp/kd/pdf/kd29-03.pdf>）．この細胞密度は湾奥部で発生する *A. tamarennse* の赤潮状態と同じレベルであることから，この時に多数のシストが形成されていたと推察される．湾南部海域でも *A. tamarense/catenella* のシストが形成されているであろうことを支持している．これまでも貝毒防止の観点から淀川河口域や芦屋沖の湾奥部，湾南部の洲本港では春先の *A. tamarennse* の異常増殖に特段の注意を払ったモニタリングを実施してきた．しかし，*A. tamarense/catenella*（生）シストが大阪湾のほぼ全域に分布していることは，これらのシストが *A. tamarennse* の初期発生に繋がる可能性が大きいことから，今後のモニタリング地点と期間を二枚貝養殖地域周辺部も含めて再検討する必要がある．

大阪湾圏域における微量金属の分布と有毒有害プランクトン発生への寄与

内藤 佳奈子

県立広島大学生命環境学部准教授

1. 研究目的

瀬戸内海東部海域において、養殖ノリの色落ち被害は播磨灘を中心にほとんど毎年発生しており、春の珪藻赤潮によってノリ養殖はシーズンを終えるというパターンが定番化している。また、麻痺性貝毒による有用二枚貝類の基準値を超える毒化がほぼ毎年起こり、出荷規制の発生する海域が近年は大阪湾など西日本沿岸域にも拡大している。ゆえに、ノリと栄養塩の競合をする有害珪藻類、二枚貝類を毒化する有毒鞭毛藻類の生理生態を明らかにすることは非常に重要な課題である。これらの有害有毒プランクトンの増殖には、鉄をはじめとする生物活性微量金属が必須である。しかしながら、その利用特性および海域における分布はほとんど明らかにされていない。本研究では、有害有毒プランクトン種の生理・生態学的特性の解明を目的として、大阪湾圏域における有害有毒プランクトンの動態および微量金属の濃度分布の把握を行った。

2. 研究方法

平成 29 年度の大阪湾圏域における有害有毒プランクトンの出現状況、微量金属および栄養塩の濃度など生物、化学的環境について調査した。神戸大学内海域環境教育研究センター・マリンサイト「調査船おのころ HG2-8521」を利用し、播磨灘の北部沿岸 5 定点と中央部 1 定点および大阪湾北西部 1 定点における表層 (0 m) と底層 (B-1 m) の水質調査および海水サンプリングを行った (Fig. 1)。ノリ漁期などを考慮して 2017 年 5 月 25 日、8 月 31 日、11 月 9 日、12 月 21 日、2018 年 1 月 30 日および 2 月 27 日に採水調査を実施した。各層の採水は、金属コンタミネーションを防ぐため塩酸洗浄したテフロンコート仕様のニスキン-X 採水器 (GO-1010X 型) を用いて行い、採取した海水は塩酸洗浄済みのポリカーボネート製容器に保存した。水温、塩分、溶存酸素量 (DO) は、多成分水質計 (AAQ1186-PT, JFE アドバンテック) を用いて測定した。採水翌日に研究室内でサンプル処理を行った。

微量金属測定用の海水は、クリーンブース (AI 型, ASONE) 内で、酸炊き洗い済 0.2 μm フィルターろ過および酸処理をした。溶存鉄 (DFe) 濃度については、ろ過海水試料にフェロジンを比色試薬として加え、長光路フローセル (光路長 1 m) を搭載した分光光度計 (Ocean Optics) にて測定した。他の微量金属 (Ni, Mo, Mn, Zn, Al) の濃度分析は、平沼自動固相抽出装置 SPE-100 (日立ハイテック) を用いてポリアミノポリカルボン酸型キレート樹脂固相抽出カラム (NOBIAS, CHELATE-PA1) により、海水の脱塩濃縮後、ICP-OES (Optima8300, Perkin Elmer) により溶存態の濃度を測定した。また、栄養塩 (DIN; $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{Si(OH)}_4\text{-Si}$) 濃度は、0.2 μm フィルターろ過海水をオートアナライザー (TRACCS2000, BRAN+LUEBBE) により測

定した。鉄に関しては、海水中の存在形態を調査するため、全鉄 (TFe) 濃度測定サンプルとして 50 mL メタルフリー遠沈管 (labcon) に試料海水を 50 mL 入れ、硝酸 (超高純度分析用試薬 TAMAPURE-AA-100) 1 mL を添加後、冷凍保存した。後日、冷凍試料を解凍後、酸で炊き洗いした石英管に入れ、UV 分解装置にて 2 時間かけて有機物を分解後、長光路フローセル搭載の分光光度計にて 562 nm おける吸光度を測定し、TFe 濃度を算出した。海水の pH は、pH 計 (C-73, AS ONE) を用いて測定した。

クロロフィル *a* 濃度は、海水試料 100 mL をガラス繊維濾紙 (GF/F) でろ過し、ろ過試料を 10 mL の *N,N*-ジメチルホルムアミドで浸漬抽出した後、蛍光光度計 (Au-10, TurnerDesign) で測定し、Holm-Hansen 法により算出した。有害有毒プランクトン種組成については、倒立顕微鏡 (TMD300, NIKON) を用いて計数観察をした。珪藻類についてはグルタルアルデヒド固定試料 (終濃度 1 %) を必要に応じて 2–7 倍に濃縮し、試料 100 μ l ずつ 2 回顕微鏡観察を行い、平均値から細胞密度を算出した。*Coscinodiscus* に対しては、1 ml ずつ 2 回顕微鏡観察を行った。鞭毛藻類については採水日の翌日に生海水 1 ml 試料を 1 回観察した。

3. 結果と考察

2017 年 5 月～2018 年 2 月の各調査定点において、水温は 6.0～28.8 $^{\circ}$ C、塩分は 30.1～32.9、DO は 3.9～19.0 mg l^{-1} 、pH は 7.68～8.13 の範囲で推移した。2017 年調査月のうち 5, 8, 11, 12 月のクロロフィル *a* 量、栄養元素 (DIN, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{Si(OH)}_4\text{-Si}$, DFe) 濃度の水平分布を Fig. 3 に示す。クロロフィル *a* 量は、表層において 0.39～19.6 $\mu\text{g l}^{-1}$ 、底層において 0.41～20.3 $\mu\text{g l}^{-1}$ の範囲で推移した (Fig. 2)。調査期間内において、灘中央部域の定点 HN-6 では 0.39～2.24 $\mu\text{g l}^{-1}$ と低い値を示していた。DIN 濃度は 0.37～16.4 μM 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は 0.13～2.88 μM 、 $\text{Si(OH)}_4\text{-Si}$ 濃度は 0.51～54.0 μM の範囲で推移した (Fig. 3a-c)。ほとんどの調査月および定点において、DIN 濃度はノリの色落ちが始まる 3 μM 以下となっていた (Fig. 3a)。灘北部域の定点 HN-2, 3, 4, 5 の表層底層で 12 月の DSi 濃度は 3 μM 以下と低い傾向が認められ、冬季の珪藻類の出現との関連性が考えられた。また、各栄養塩の元素比を算出し、レッドフィールド比と比較した場合、8 月は全定点で DIN 不足、12 月は定点 MS と HN-6 を除く定点で DSi 不足であったことが分かった。

DFe 濃度は < 0.2～56.2 nM の範囲で推移した (Fig. 3d)。拡張レッドフィールド比と比較した場合、灘中央域の定点 HN-6 では 5 月表層底層、11 月底層、12 月表層底層で、灘北部域では定点 HN-3 の 8 月底層、定点 MS と HN-1 の 11 月表層底層、および 12 月のほとんど全ての定点の表層底層において、溶けている鉄が不足していたことが分かった。一方で粒子態鉄 (PFe; $\text{TFe} - \text{DFe}$) 濃度は、表層に比べて底層において高い濃度傾向を示し、16～7353 nM の範囲で推移した。今回検討した大阪湾圏域における鉄濃度分布から、溶存態の鉄濃度は植物プランクトン増殖に対して不足の傾向 (とくに灘中央部域) を示しているが、全鉄は高い濃度で存在することから、増殖に鉄源として粒子態鉄を利用できる植物プランクトン種にとって、本海域における鉄の存在状態は制限要因となりにくいと考えられる。

DNi は $< 2 \sim 102$ nM、DMo は $0.62 \sim 157$ nM、DMn は $0.37 \sim 2675$ nM、DZn は $< 4 \sim 184$ nM、DAI は $3.8 \sim 335$ nM の濃度範囲で推移した。これらの溶存態の微量金属は、8月の HN-6 底層において調査期間内で最も低い値を示した。拡張レッドフィールド比が報告されている Ni, Mn, Zn の3元素 (C: N: P: Fe: Zn: (Mn, Ni) = 106: 16: 1: 0.005: 0.002: 0.0004) について元素比を算出し比較した場合、8月の HN-6 底層で Ni と Zn が不足であったことがわかった。また、調査期間内で発生した主要な有害有毒プランクトンの細胞密度と微量金属6種類の溶存濃度について、ピアソンの積率相関分析を行った結果、*Eucampia zodiacus* は Mo との間に正の相関 ($r = 0.23$) が、*Coscinodiscus* spp. は Ni, Mo, Al との間に負の相関 ($r = -0.24, -0.20, -0.22$) が、*Chaetoceros* spp. は Mo との間に正の相関 ($r = 0.26$)、Zn との間に負の相関 ($r = -0.25$) が、*Skeletonema* spp. は Ni と Mo との間に正の相関 ($r = 0.23, 0.40$) が、Zn との間に負の相関 ($r = -0.23$) が、*Leptocylindrus* spp. は Mo との間に負の相関 ($r = -0.21$) が認められた。さらに *Pseudo-nitzschia* spp. と Mn との間には強い正の相関 ($r = 0.66$) が認められた。また、PFe 濃度についても相関分析を行ったところ、*Skeletonema* spp. との間に正の相関 ($r = 0.44$)、*Leptocylindrus* spp. との間に負の相関 ($r = -0.20$) が認められた。正の相関が認められた微量金属については、そのプランクトン種の発生の誘発要因として、負の相関が確認された元素については、プランクトン増殖に伴う消費に依るものだと考えている。

4. 結論

大阪湾圏域の7定点における微量金属6種 Fe, Ni, Mo, Mn, Zn, Al の濃度分布を明らかにし、本海域における水平分布の特徴を把握することができた。また、*Eucampia zodiacus* などの主要な有害有毒プランクトン発生状況との関連性を示すことができた。海水中に溶存する微量金属の存在状態および挙動を明らかにしたことにより、これまでに報告されている環境要因（特に温度、光強度）や栄養塩類 (N, P, Si) に加え、有害有毒プランクトンの発生予察や赤潮発生機構の解明に対する重要なパラメーターとして活用されることが期待できる。

[図表]

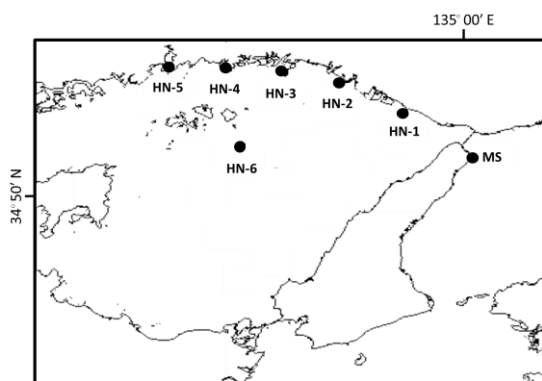


Fig. 1 調査定点図（大阪湾圏域）.

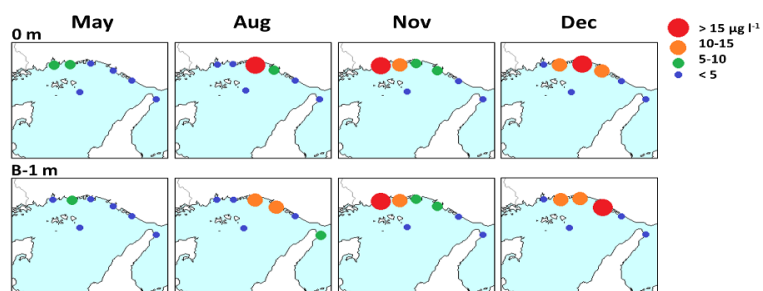


Fig. 2 大阪湾圏域におけるクロロフィル *a* 量の水平分布.

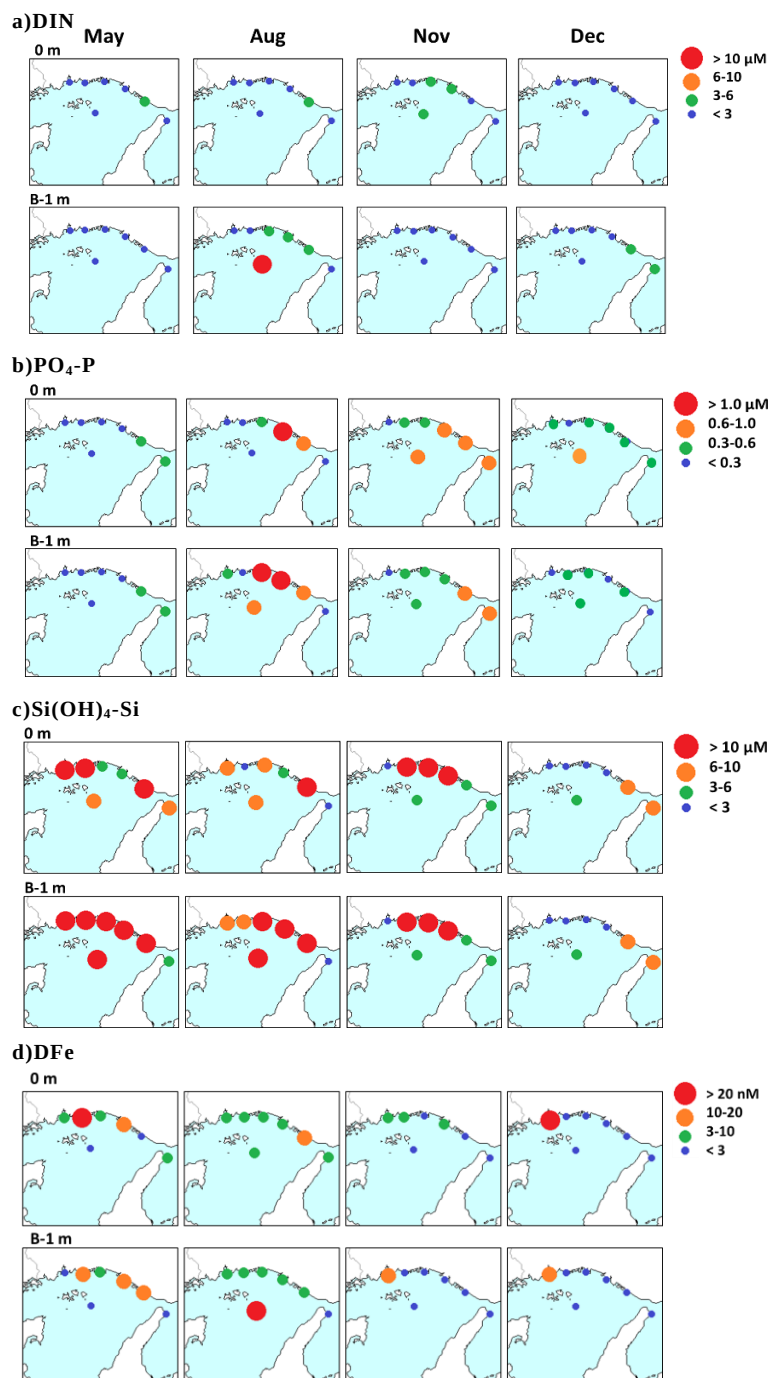


Fig. 3 大阪湾圏域における栄養元素 (a; DIN, b; DIP, c; DSi, d; DFe) の水平濃度分布.

真核従属栄養生物ヤブレッツボカビ類の大阪湾における生態的影響力の解明

○上田 真由美¹⁾・秋山 諭²⁾・田中 咲絵¹⁾

¹⁾ (地独) 大阪府立環境農林水産総合研究所・技師

²⁾ (地独) 大阪府立環境農林水産総合研究所・研究員

1. 研究目的

瀬戸内海では、1973年に制定された瀬戸内海環境保全臨時措置法などによる総量規制で陸域からのCOD発生負荷量は削減されているにもかかわらず、大阪湾を除いてCODの漸増が見られ、大阪湾でもCODは横ばいのまま改善が進んでいない。その原因として難分解性有機物の蓄積が示唆されている。真核従属栄養生物であるヤブレッツボカビ類は、直径が5~20 μ mの無色・球形の単細胞生物で、その生息域の広さ、現存量の大きさ、難分解性有機物であるセルロースの分解能力から、海洋生態系における分解者としての影響力の高さが注目されている。本研究では、大阪湾におけるヤブレッツボカビ類の分解者としての影響力を評価するため、ヤブレッツボカビ類の出現状況を明らかにするとともに、細胞密度の変化とPOC（懸濁態有機物）やDOC（溶存態有機物）といった様々な形態の有機物との関連性を検討することによってヤブレッツボカビ類の細胞密度の増減に影響を及ぼす環境要因を考察した。

2. 研究方法

2.1. 現地調査

2017年7月~2018年2月まで、地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所で毎月初旬に実施している浅海点線調査に合わせて、大阪湾口から湾奥まで縦断する5地点（図1）で、月1回の頻度で継続的に表層水の採水を同研究所所有の調査船「おおさか」により行った。

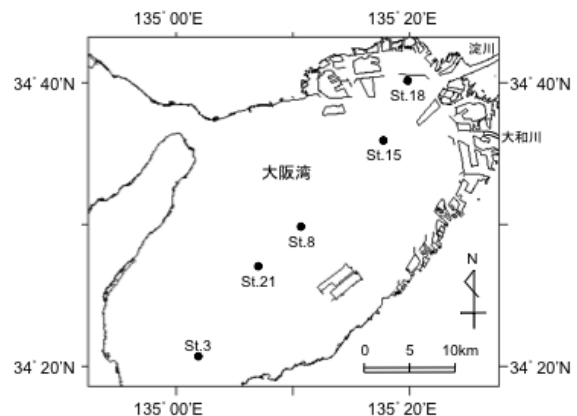


図1. 調査定点

2.2. ヤブレッツボカビ類の細胞密度の推定と構成系統群の把握

本研究では陸起源有機物および内部生産由来有機物とヤブレッツボカビ類との細胞密度の関係性に特に着目するため、淀川等の河川からの有機物や栄養塩の供給が大きく、生物生産の高い海域である大阪湾湾奥部(St. 18)と、河川水の影響を受けにくく、湾奥に比べ生物生産の低い海域である大阪湾湾口部(St. 3)の2定点の表層水を対象としてヤブレッツボカビ類の細胞密度を推定した。ヤブレッツボカビ類の細胞密度は、ヤブレッツボカビ類の松花粉への走性を利用しMPN法と松花粉釣り上げ法を組み合わせた松花粉MPN法を用いて推定した。さらに、ヤブレッツボカビ類のコロニーを分離し、18S rRNA遺伝子の塩基配列から分子系統解析により分離株の系統群の同定を行った。

2.3. 海域環境の測定

海域環境は St. 3, St. 21, St. 8, St. 15, St. 18 の 5 定点で毎月測定した。生海水と GF/F グラスファイバーフィルターでろ過したろ液については、水中溶存有機物 (CDOM) 蛍光測定装置 Aqualog にて三次元蛍光を、Sievers Innov 0xTOC にて TOC・DOC を測定した。三次元蛍光を測定して得られた多波長励起-蛍光マトリックスを用いた PARAFAC 解析によって、構成されている成分数を推定した。測定した TOC・DOC はその差分を POC とした。ろ紙は京大生態学研究センターの共同利用・共同研究事業の支援により、同センターが所有する元素分析計 (EA ConFlo IV) と質量分析計 (DELTA V Plus) を連結させたシステムにより $\delta^{13}\text{C}$ を分析した。その結果から、サンプルの POC 中に占める陸起源有機物の割合を推定した。さらに、生海水と GF/C グラスファイバーフィルターでろ過したろ液は、オートアナライザーにて TN・TP と栄養塩を測定した。ろ紙は蛍光法によってクロロフィル *a* とフェオ色素を測定した。

2.4. ヤブレッツボカビ類の細胞密度と海域環境データ等との統計解析

取得したヤブレッツボカビ類の細胞密度と海域環境データの統計解析を行うことで、ヤブレッツボカビ類の細胞密度と関係している環境要因を考察した。

3. 結果と考察

3.1. 大阪湾におけるヤブレッツボカビ類の細胞密度

St. 3 ではヤブレッツボカビ類は 8 月に最大細胞密度 474.7 cells/L、10 月に最小細胞密度 0 cells/L を示し、平均細胞密度は 141.2 cells/L であった。一方、St. 18 ではヤブレッツボカビ類は 7 月と 9 月に最大細胞密度 4,747 cells/L、12 月に最小細胞密度 40.11 cells/L を示し、平均細胞密度は 1,578 cells/L であった。この結果は、大阪湾の別地点での過去の調査と同等であり、細胞密度が夏頃に高くなる現象もほぼ同じであった。

3.2. 大阪湾におけるヤブレッツボカビ類の主要系統群とその栄養源

St. 3 では構成系統群は 7, 9, 12, 1 月に unidentified thraustochytrid 3b が出現し、9 月には *Oblongichytrium* sp. 1a が出現した (系統群名は Ueda et al. 2015 に沿った)。一方、St. 18 では 7, 9, 10 月に *Aplanochytrium* sp. が出現し、9 月に *Thraustochytrium* aff. *caudivorum*、12 月に *Oblongichytrium* sp. 3、1 月に unidentified thraustochytrid 3b が出現した。unidentified thraustochytrid 3b と *Aplanochytrium* sp. については Ueda et al. 2015 の調査で大阪湾での主要系統群であることが明らかとなっているが、今回の調査でもそれを再確認する結果となった。

今回新たに炭素安定同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ から陸起源有機物の割合を求めたが、それと unidentified thraustochytrid 3b や *Aplanochytrium* sp. が出現していたときのヤブレッツボカビ類全体の細胞密度との相関は見られなかった。さらに、これら 2 系統群が本研究と過去の調査から、河口域からはほとんど出現せず、大阪湾の広い海域で主要系統群であることを合わせると、陸起源有機物ではなく内部生産由来の有機物を栄養源としている可能性が考えられた。これら 2 系統群が出現した時のヤブレッツボカビ類の細胞密度とフェオ色素は高い相関 (赤潮が観測された 2017 年 10 月の St. 18 のデータを除いた場

合)を示し、クロロフィル *a*とも比較的高い相関を示した(赤潮が観測された2017年10月のSt. 18のデータを除いた場合)(図4, 5)。このことから、これら2系統群は陸起源有機物ではなく、死亡した植物プランクトンを分解して栄養源としている可能性が示唆された。

3.3 ヤブレッツボカビ類の細胞密度と海域環境データとの関連

ヤブレッツボカビ類の細胞密度と様々な海域環境データ(TOC・DOC・POC・陸起源有機物の割合・水温・塩分・クロロフィル *a*・PON・DIN・DON・PP・DPO・DIP・SiO₂-Si)との相関を取ったところ、ヤブレッツボカビ類の細胞密度とPOCとは比較的高い相関が得られた(赤潮が観測された2017年10月のSt. 18のデータを除いた場合)(図6)。さらに、三次元蛍光測定値のPARAFAC解析によりサンプル中の蛍光性をもつ有機物質は少なくとも3成分から構成されていることが推測された。そのうち1成分は腐植物質であるフルボ酸・フミン酸様物質であることが推測されたが、ヤブレッツボカビ類の細胞密度との関連性は見られなかった。

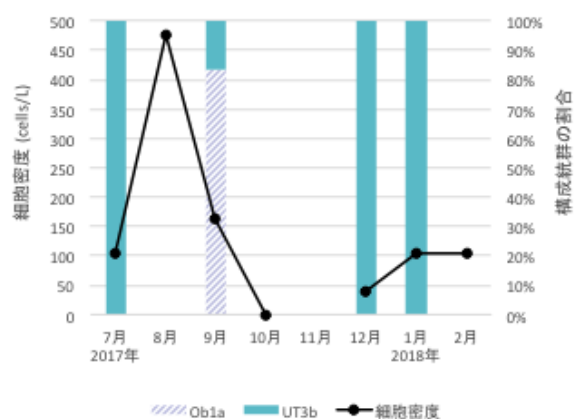


図2. 大阪湾 St. 3 のヤブレッツボカビ類の細胞密度と構成系統群の変動

Ob1a : *Oblongichytrium* sp. 1a

UT3b : unidentified thraustochytrid 3b

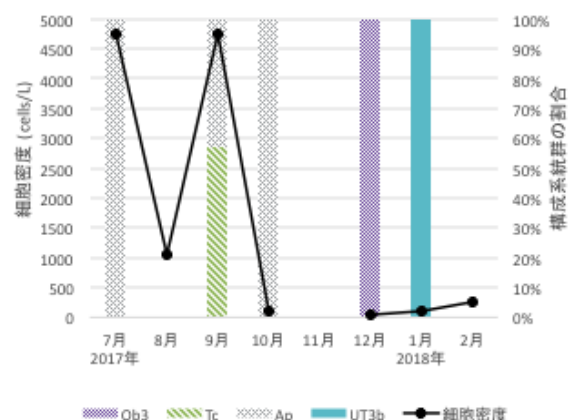


図3. 大阪湾 St. 18 のヤブレッツボカビ類の細胞密度と構成系統群の変動

Ob3 : *Oblongichytrium* sp. 3

Tc : *Thraustochytrium* aff. *caudivorum*

Ap : *Aplanochytrium* sp.

UT3b : unidentified thraustochytrid 3b

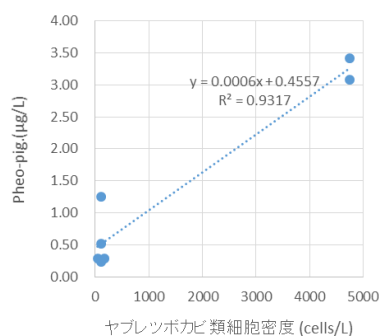


図 4. unidentified thraustochytrid 3b と *Aplanochytrium* sp. が出現した時のヤブレッツボカビ類の細胞密度と赤潮観測時の値を除いたフェオ色素との相関

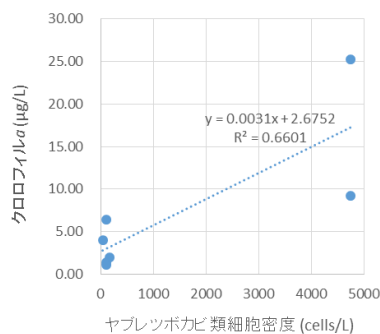


図 5. unidentified thraustochytrid 3b と *Aplanochytrium* sp. が出現した時のヤブレッツボカビ類の細胞密度と赤潮観測時の値を除いたクロロフィル a との相関

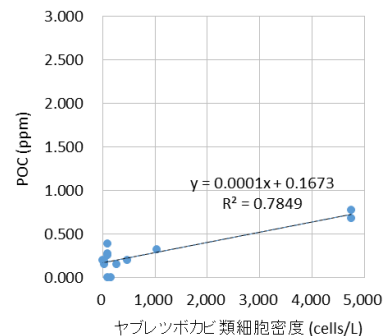


図 6. ヤブレッツボカビ類の細胞密度と赤潮観測時の値を除いた POC との相関

4. 結論

2017 年 7 月～2018 年 2 月まで、月 1 回の頻度で大阪湾の湾奥と湾口でヤブレッツボカビ類の細胞密度と構成系統群の調査および海域環境の測定を行った。その結果、

- 1) 湾奥では平均細胞密度約 1,500 cells/L、湾口では約 150 cells/L でヤブレッツボカビ類が生息しており、湾口よりも陸域からの負荷の影響を受けやすく生物生産の高い湾奥の方が 10 倍程度豊富に生息している事が明らかとなり、過去の調査結果と同等であることを確認した。
- 2) ヤブレッツボカビ類の系統群の一つである、unidentified thraustochytrid 3b と *Aplanochytrium* sp. は大阪湾における主要系統群であることが明らかとなり、過去の調査と同様の結果であった。本研究では新たに炭素安定同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ から陸起源有機物の割合を求めたがそれと細胞密度との相関は見られなかった。一方で、細胞密度はクロロフィル a かつ、特にフェオ色素との相関が見られたことから、これら 2 系統群は陸起源有機物ではなく、内部生産由来の有機物、具体的には海域で増殖した後に死亡した植物プランクトンを栄養源としている可能性が示唆された。
- 3) 松花粉 MPN 法で推定したヤブレッツボカビ類全体の細胞密度と POC との相関が明らかとなった。

真核従属栄養生物であるヤブレッツボカビ類は生息域の広さ・現存量の多さ・難分解性有機物であるセルロースの分解能力から海洋生態系における分解者としての影響力の高さが期待されているが、本研究により大阪湾に生息するヤブレッツボカビ類の主要系統群は内部生産由来の懸濁態有機物を栄養源としている可能性が示唆された。今後、その物質を明らかにしていく必要がある。これを足がかりに海洋生態系の物質循環においてヤブレッツボカビ類が関わる有機物分解を解明することで、大阪湾圏域の環境改善に資するものと期待される。

大阪湾におけるクルマエビ科小型エビ類の資源動態と環境要因の関係性の解明 ～主要構成種交替のメカニズム解明を通じて～

代表研究者：山中智之（地独）大阪府立環境農林水産総合研究所 研究員

共同研究者：大美博昭（地独）大阪府立環境農林水産総合研究所 主任研究員

木村祐貴（地独）大阪府立環境農林水産総合研究所 研究員

1. 研究目的

大阪湾における基幹漁業である小型底曳網漁業、特に石桁網を用いた漁業において主にアカエビ *Metapenaeopsis barbata*、トラエビ *Metapenaeopsis acclivis* およびサルエビ *Trachypenaeus curvirostris* により構成されるクルマエビ科小型エビ類（以下、小えび類と称する）は主要な漁獲対象種である。著者らが所属する研究所の前身である大阪府水産試験場時代から継続的に行われてきた大阪湾奥部における調査では 2000 年代後半に小えび類の内サルエビが大きく減少した一方でアカエビが増加し、主要構成種の交替現象が生じたことが明らかにされた。

本研究ではサルエビからアカエビへの主要種交替現象の実態とそれを導いたメカニズムについて、文献調査、試験操業および室内実験をもとに検証し、大阪湾における環境変動が底生生物の資源動態にどのように影響を与えうるのか、その一端を解明することを目的として実施した。

2. 研究方法

2. 1. 大阪湾における小えび類の分布に関する研究データの収集・解析

大阪湾内のクルマエビ科小えび類の過去の種組成や資源動向、分布状況について概観するため、漁獲情報の整理と文献調査を実施した。「大阪府統計年鑑」および「大阪府内標本漁協の水揚げ伝票調査」をもとに、大阪府内で漁獲される小えび類の水揚げ量の推移や石桁網による 1 日 1 隻当たりの漁獲量（CPUE）の変動を明らかにし、併せて過去に行われた底曳網の試験操業や漁獲物調査などの文献情報から小えび類の情報を抽出した。

2. 2. 石桁網試験操業による小えび類の分布と生息環境特性の解明

2017 年 6 月に堺市沿岸の大阪湾奥部に 10 定点、2017 年 5・8・11 月に大阪湾全域に 20 定点および 2017 年 7・9・10 月に大阪湾東部海域に 12 定点を設定し、石桁網（桁幅 1.8m）による試験操業を実施した。単位面積当たりの小えび類の個体数と重量を算出し、同時に得た水質と底質に関する情報を元にアカエビの生息環境特性を検証した。なお、大阪湾奥部における調査は 2000 年以降継続して実施しており、主要構成種の変遷についても議論した。

2. 3. 室内実験によるアカエビの高水温と貧酸素水に対する耐性の解明

近年の水温の上昇傾向と貧酸素水塊に対するアカエビの耐性を室内実験により検討した。大阪湾奥部の夏季の水質条件を想定して水温 23℃、25℃、27℃、29℃の実験区を設定し、それぞれの実験水温区において酸素飽和度を 10%、20%、30%、40%に調整した海水にアカエビを暴露させ、24 時間後の死亡率を求めた。

3. 結果と考察

3. 1. 大阪湾における小えび類の分布に関する研究データの収集・解析

標本漁協の「えび類」漁獲物中の「小えび類」の割合と「大阪府統計年鑑」もとに 1984 年以降の大阪府内の「小えび類」の漁獲量を推定した。1994 年の 360 トン以降は漸減傾向を示しており、2012 年以降 100 トンを下回るレベルで推移している（図 1）。一方で標本漁協における小えび類の CPUE の増減傾向は小えび類の漁獲量の増減傾向と一致しているが、CPUE には漁獲量ほどの減少傾向は見られないことから、1984 年以降漸減傾向が続く石桁網の努力量の減少も漁獲量の減少に影響したものと考えられた。

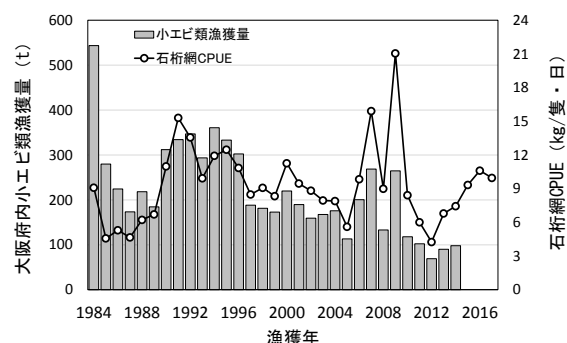


図 1. 大阪府内の小えび類の推計漁獲量と標本漁協の石桁網における CPUE の推移

大阪湾の小えび類の情報を漁獲物調査、底曳網試験操業データおよび海上大型建設工事に係るアセスメント調査結果から入手し、各年毎に小えび類構成種の中の「体重比もしくは個体数比 60%以上を占める種」、もしくは「主体」「大部分を占める」といった単語で表される種を「主要構成種」として抽出し、その推移を概観した（表 1）。

表 1. 文献調査に基づく大阪湾内における小えび類の主要構成種の推移

情報元	主分布域;調査地点	年												
		1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
巻田(1958)	北部～中央部	■												
林(1974)	中央部				■									
吉田(1978)	全域					■								
林(1980)	全域					■								
山西(1988)	最も湾奥部のぞく全域						■							
	淡路島沿岸～南部						■							
日下部ほか(1990,1991)	泉佐野漁協							■						
	岬町沿岸							■						
日下部ほか(1993)	全域							■						
日下部ほか(1994)	岸和田市・阪南市地先							■						
森脇・玉木(1996)	明石海峡近傍							■						
有山ほか(1997abc)	大阪湾奥部							■						
有山・波戸岡(2003)	岬町沿岸							■						
泉州海域漁業生物等調査	関西国際空港周辺海域									■	■			
関西国際空港関係環境監視	関西国際空港周辺海域								■	■	■	■	■	■
大阪湾奥部石桁網試験操業	大阪湾奥部									■	■	■	■	■

トラエビ主要構成種

アカエビ主要構成種

アカエビ/サルエビ主要構成種

サルエビ主構成種

□トラエビ主要構成種 □アカエビ主要構成種 ■アカエビ/サルエビ主要構成種 ■サルエビ主構成種

サルエビは 1970 年頃までにトラエビに変わって小えび類の内の主要構成種となり、1990 年代にかけて主要構成種であり続けた。その後、2000 年代以降にアカエビが増加の兆候を示し始め、2010 年代に入ってからサルエビに変わって優占種となる主要構成種交替現象が認められた。また、現在大阪湾の広い海域に分布するアカエビであるが、1980 年代の調査では淡路島沿岸から大阪湾南部にかけて偏った分布することが報告されており、分布範囲が変化していることも確認された。

1970 年代までのトラエビからサルエビへの主要種交替現象は、有機物負荷量が増加し漁場

環境が変化したことにより起因すると複数の研究により指摘されている。1980年代以降大阪湾では有機物負荷量が概ね漸減傾向を示しているが、サルエビからアカエビへの主要種交替を結びつける積極的な根拠はみられない。2000年代以降に生じた海域環境の変化について検証し、生じた環境変化へのアカエビとサルエビの応答の差を検証することで、資源動態と環境要因の関係性の解明につながると考えられた。

3. 2. 石桁網試験操業による小えび類の分布と生息環境特性の解明

・サルエビからアカエビへの主要構成種の交替現象の実態

2000年以降継続実施している6月の大阪湾奥部の石桁網試験操業の結果から、小えび類のデータを抽出し、各年の小えび類分布密度の最も高い調査地点の小えび類各種の個体数割合の推移を図2に示す。

2000年から2003年にかけてはサルエビが小えび類の内85–100%を占めサルエビが主要構成種であったが、2004年にアカエビの構成割合が上昇した後は、2006年にはサルエビが再び99%を占めるものの、2007年から2014年にかけてはアカエビが17–71%の範囲内で変動している。さらに2015年から2017年にかけてはアカエビの割合がさらに増加して80%以上を占め、主要構成種がサルエビからアカエビに交替した。

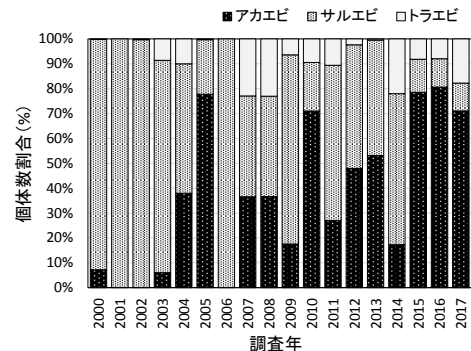


図2. 小えび類全体に占める小えび類3種の混入個体数割合の推移

・アカエビの生息環境特性

大阪湾全域の20定点の5・8月のアカエビの分布量を比較すると、8月に湾奥部での分布が極端に減少して分布が偏る状況が確認された(図3)。この海域では底層の酸素飽和度が10%を下回るような強い貧酸素状態が観測されており、分布に影響を与えていたと考えられた。そこで貧酸素が分布に与える影響を検証するためアカエビの100m²当たりの重量を目的変数、底層の酸素飽和度を説明関数とする単回帰モデルを構築し、分布量の多寡の境界値となる酸素飽和度を求めた。

その結果、5月は酸素飽和度90%、8月は酸素飽和度58%を境界として、分布量の多寡が異なることが示された(図4)。特に8月にはこの境界値で分布状態に顕著な差が生じているが、アカエビが比較的多く分布していた調査地点はその酸素飽和度の境界付近の調査地点であった。

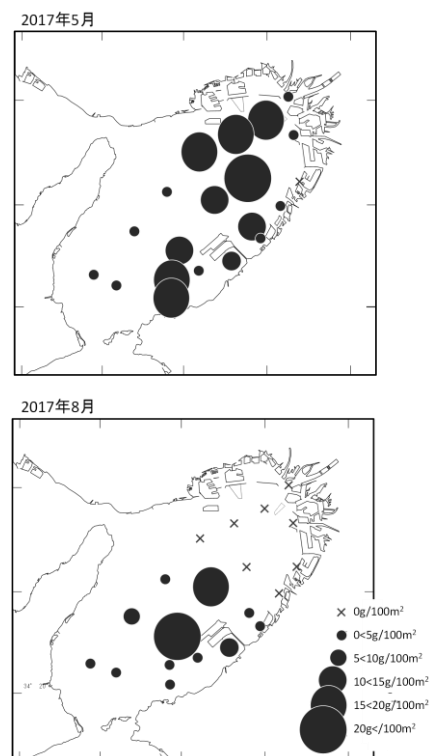


図3. 5・8月の単位面積当たりのアカエビ漁獲重量

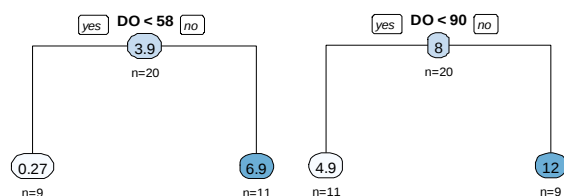


図 4. 5 月（左図）と 8 月（右図）の大阪湾全域調査の溶存酸素濃度に基づき構築された単回帰木

3. 3. 室内実験によるアカエビの高水温と貧酸素水に対する耐性の解明

図 5 のように呼吸槽内の酸素飽和度と水温を一定に維持可能な実験装置を構築した。

水温区ごとの 24 時間半数致死酸素飽和度は、23℃で 20–30%、25℃で 10–20%、27℃で 30%、29℃では不明であった（図 6）。

アカエビの死亡率は酸素飽和度が低下するに従い高くなる一般的な傾向がみられたが、水温試験区間で明らかな傾向は見られなかった

本実験で示されたさアカエビの貧酸素耐性は、過去に報告されているサルエビと同程度で、耐性の差がサルエビからアカエビへの主要種交替を導いた直接の要因であると認めがたい。

一方で、アカエビは 29℃、溶存酸素飽和度 20%の環境下で 24 時間死亡率が 50%を下回り、大阪湾で生じうる高水温に対しては耐性を備えている可能性が示された。

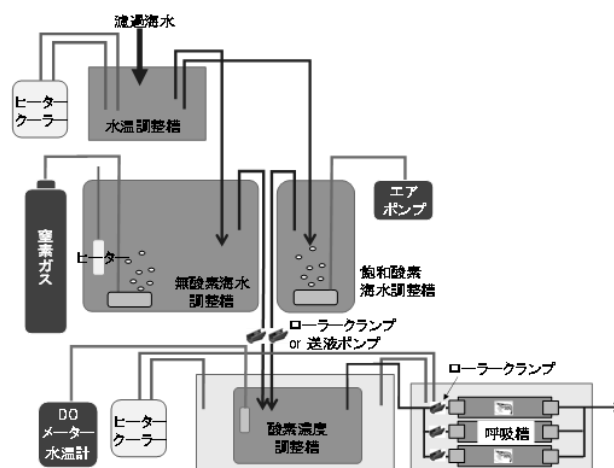


図 5. 貧酸素高水温耐性実験装置模式図

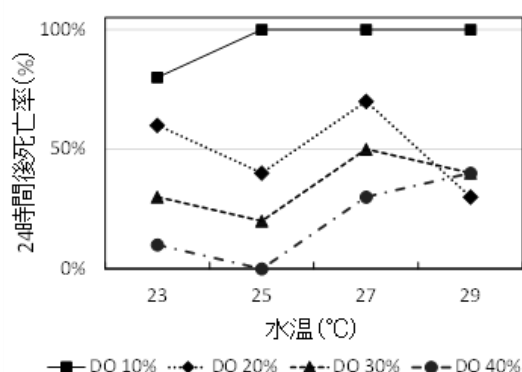


図 6. 24 時間後のアカエビの死亡率

4. 結論

サルエビからアカエビへの主要種交替現象は 2000 年代に入って生じたことが、文献調査や大阪湾奥部の石桁網試験操業の継続的なデータにより示された。この間の環境変化とそれに対する適応能力の種間差異を検出することが主要種交替現象を評価することにつながる。底層の酸素飽和度はアカエビの分布に強く影響することが確認された。一方で、室内実験ではアカエビの 24 時間半数致死酸素飽和度は 23℃で 20–30%、25℃で 10–20%、27℃で 30%となり貧酸素条件下での耐性が示唆された。以上から、実環境下では生存限界の酸素飽和度に低下するまでに移動等により回避する可能性も考えられる。このため、貧酸素状態を感知した時の行動や移動能力等も検討する必要がある。また、アカエビとサルエビの貧酸素耐性に大きな差異がないことから、貧酸素水塊が主要種交替の要因である可能性は低いと推察された。

大阪湾におけるマイクロプラスチック汚染の現況把握と魚介類への影響に関する研究（その3）

○田中周平

京都大学大学院 地球環境学堂 准教授

高田秀重

東京農工大学 農学部 環境資源科学科 教授

1. 研究の背景および目的

日本近海において、マイクロプラスチックによる汚染がいくつか報告されているが、300～5,000 μm の大きさを対象としているものがほとんどである¹⁾。マイクロプラスチックは環境中で紫外線や波力により微細化していくと予想される。生態系への取り込みを考える上で、マイクロプラスチックの大きさは重要な因子であるが、どの大きさで水環境中に残留しているかは不明である。

研究3年目は、さらに微小なマイクロプラスチック（10 μm ）の計測、成分同定方法の開発を行い、大阪湾の底泥からさらに多くのマイクロプラスチックを検出した。魚類をはじめとした様々な水生生物からマイクロプラスチックの検出が確認されており、その毒性についても注目を集めているが、摂食されたマイクロプラスチックの蓄積性については未だ不明瞭である。本年度はその蓄積性を明らかにするための足がかりとして、高濃度にマイクロプラスチックが含まれている水槽でグッピー（*Poecilia reticulata*）の成魚にマイクロプラスチックを曝露させ、数時間おきにグッピー消化管中のマイクロプラスチック量を測定した。また、環境中での分解特性を把握するため、紫外線照射試験を行い、比表面積の変化や微量化学物質の吸着特性を検討した。

2. 調査および分析の方法

底泥試料の湿潤重量を測定後、乾燥器で 105℃、24 時間乾燥し、含水率を算出した。その含水率を参考に底泥試料を適量測り取った。粒径 100 μm ～5 mm のマイクロプラスチック測定用の試料は乾燥重量でおよそ 10 g、粒径 10～100 μm のマイクロプラスチック測定用の試料は乾燥重量でおよそ 5 g とした。粒径 10～100 μm のマイクロプラスチックを対象とした底泥試料の前処理フローを図1に示す。

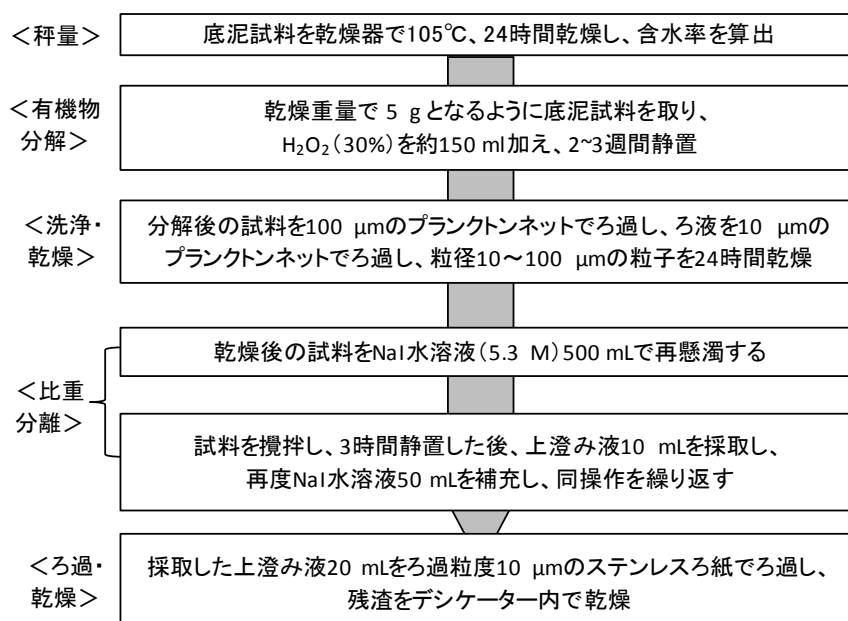


図1 底泥試料の前処理フロー

底泥試料に過酸化水素水（ H_2O_2 , 30%, 和光純薬）を約 150 mL 加えて、2~3 週間静置した。酸化分解後の試料を 100 μm のプランクトンネットを用いてろ過し、残渣を取り除いた。ろ液は 10 μm のプランクトンネットを用いて、超純水で洗い流しながらろ過し、10 μm 以上の粒子をろ別した。ろ別した試料にヨウ化ナトリウム水溶液（5.3M, 和光純薬）を添加し、ガラス棒で約 2 分攪拌後、3 時間静置し、その上澄み液 10 mL を採取した。残った溶液にヨウ化ナトリウム水溶液（5.3M）10 mL を加えて、再度ガラス棒で約 2 分攪拌後、3 時間静置し、再度その上澄み液 10 mL を採取することで、比重によるマイクロプラスチックの分離を行った。採取した上澄み液合計 20 mL は、ろ過粒度 10 μm のステンレスろ紙（SUS316 製綾畳織金網, 13 ϕ ）を挟んだステンレスシリンジホルダー（KS-13, アドバンテック, 図 2）に通水させて吸引ろ過を行った。ろ液は廃液とし、残渣はデシケーター内で 24 時間乾燥させ、乾燥した粒子を測定対象物質とした（図 3）。

本分析で用いた顕微 FT-IR を図 4 に示す。粒子が微小でありハンドリングが困難であることおよびステンレスろ紙上の粒子を測定することから、反射測定によって成分を同定した。バックグラウンド・スペクトルの測定は一つの試料の分析開始時に一度行い、その後もスペクトルの様子を見ながら適宜バックグラウンド・スペクトルの測定を行った。分析の波数範囲は 700~4,000/ cm とした。得られたサンプルのスペクトルには測定環境やサンプルの劣化によるノイズが含まれているため、ベースラインの補正、二酸化炭素および水蒸気によって発生したノイズの除去を行った。



図2 ステンレス
シリンジホルダー



図3 前処理後の
底泥試料



図4 顕微FT-IR

3. 研究の結果および考察

従来の分析では 315 μm 以上の粒径のマイクロプラスチックを研究対象とすることが多かった。本研究では、顕微 FT-IR と 10 μm ステンレスメッシュを用いて 10 μm レベルのマイクロプラスチックの同定に成功した。大阪湾の底泥中のマイクロプラスチックについて、10 μm レベルでの観察を行った結果の一部を図 5 に示す。顕微 FT-IR を用いると目に見えない微小なマイクロプラスチックを観察することができた。左上の写真の背景に見えるのは、目開き 10 μm のステンレスメッシュである。写真中央の赤い球体とその下の透明な球体がマイクロプラスチックであった。同様に左下の写真中央にも白い球体が写っている。これもマイクロプラスチックであると同定された。これらは球体であり、いわゆるマイクロビーズに分類される。右上の写真に緑色の小片が観察された。こちらは徐々に小さくなり形成されたマイクロプラスチックである。右下の写真は少し広めに全体を見渡した写真となる。写真左中央に赤い球体が、右中央に緑の小片が確認できた。その他にも、さまざまなマイクロプラスチックを観察することができた。

小型魚へのマイクロプラスチック曝露後の経過時間と消化管内への残存量との関係を表 1 に示す。曝露後 1 時間経過した小型魚の消化管を分解した後の溶液 50 mL から 1 mL を分取しマイクロプラスチック量を測定したところ、10 個のマイクロプラスチックを検出した。

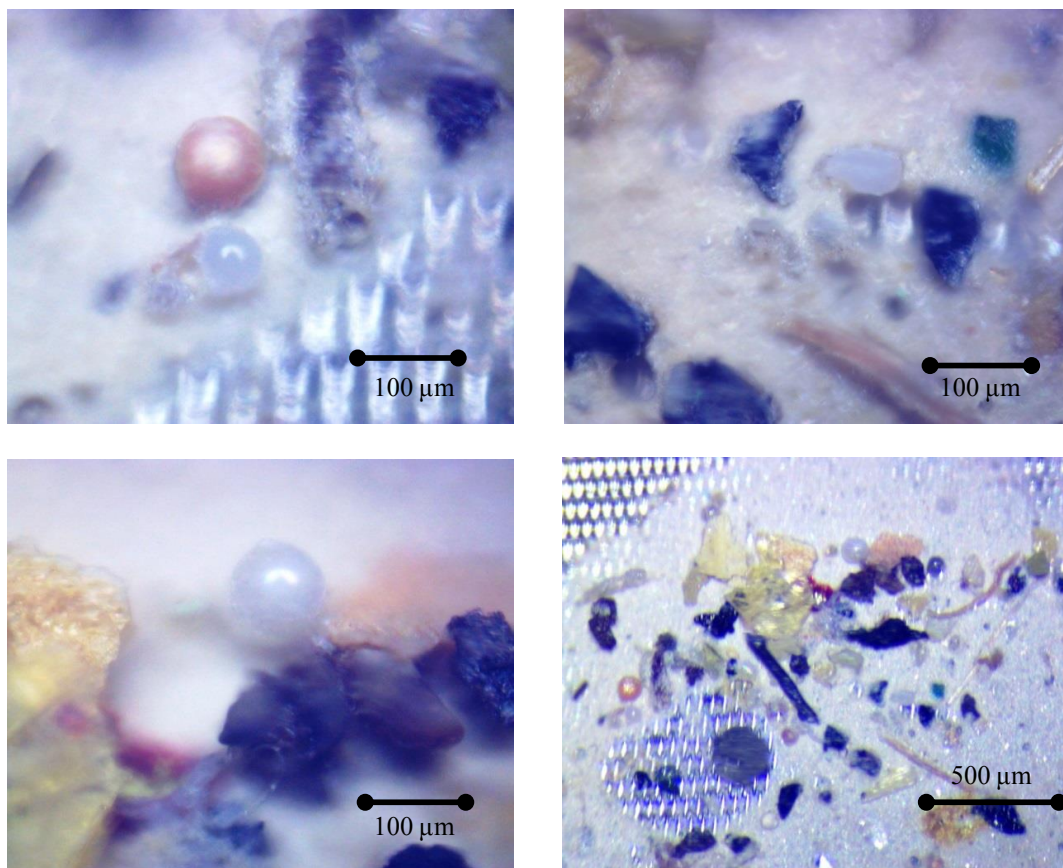


図5 大阪湾の底泥から検出された10 μmレベルのマイクロプラスチック

すなわち、小型魚の消化管内には 500 個が入っていた計算となった。その後、マイクロプラスチックの入っていない水道水内に移し、4 時間経過後の小型魚についても、同様の試験を行った結果、1 mL から 1 個のマイクロプラスチックが検出された。すなわち小型魚の消化管内には 50 個のマイクロプラスチックが残っていた計算となる。分析結果の速報であるので、今後、検体数を増やすなどの追加実験が必要であるが、おおよそ 90% のマイクロプラスチックが、消化管内から水中に排出されていた計算となった。水道水に置換 11 時間後からの小型魚からも同様に 1 個のマイクロプラスチックが検出された。10% 程度は小型魚の中に留まっていたのか、もしくは、排出したマイクロプラスチックを再度、消化管の中に入れたのかは定かではないが、このような結果を得た。ところが、水道水に置換後 23 時間が経過した小型魚からは 93 個のマイクロプラスチックが検出された。

現在、7 尾中 1 尾のみの測定を行った段階であり、本結果を考察することは難しいが、局所的に集まっていたマイクロプラスチックを消化管の中に保持した魚が存在した可能性なども検討する必要がある。35 時間経過後の小型魚からは 1 個を検出し、83 時間経過後の小型魚の消化管から

表1 小型魚へのマイクロプラスチック曝露後の経過時間と消化管内への残存量との関係

添加からの経過時間 (hours)	試料量 (mL)	分取量 (mL)	倍率	PP個数 (実測値)	PP個数 (補正值)
マイクロプラスチックを200 g添加					
1	50	1	50	10	500
マイクロプラスチックの入っていない水道水に置換					
置換後の経過時間 (hours)	試料量 (mL)	分取量 (mL)	倍率	PP個数 (実測値)	PP個数 (補正值)
4	50	1	50	1	50
11	50	1	50	1	50
23	50	1	50	93	4,650
35	50	1	50	1	50
83	50	1	50	0	0
ブランク	50	10	500	0	0

はマイクロプラスチックは検出されなかった。なお、初期にマイクロプラスチックを添加していない系をブランク試験として作成したところ、そこからはマイクロプラスチックは検出されなかった。

添加したマイクロプラスチックの粒径が 25~85 μm であったことから、その後の検出で顕微 FT-IR を使用することとなり、目に見えないものを集めて測定するプロセスの確立に時間を要したため、1 検体のみの測定結果となった。本報告書内では速報値として報告させていただくことをお許しいただきたい。

4. 結論

本研究では、さらに微小なマイクロプラスチック (10 μm) の計測、成分同定方法の開発を行い、大阪湾の底泥からさらに多くのマイクロプラスチックを検出した。摂食されたマイクロプラスチックの魚介類への蓄積性については未だ不明瞭であり、その蓄積性を明らかにするための足がかりとして、高濃度にマイクロプラスチックが含まれている水槽でグッピーの成魚にマイクロプラスチックを曝露させ、数時間おきにグッピー消化管中のマイクロプラスチック量を測定した。さらに、環境中での分解特性を把握するため、紫外線照射試験を行い、比表面積の変化や微量化学物質の吸着特性を検討した。マイクロプラスチックの粒径と化学物質吸着量の関係を明らかにするため、粒径の異なるマイクロプラスチック標準品を用いて、アントラセンを対象とした回分式吸着試験を行った。また、大阪湾・琵琶湖で採取したマイクロプラスチックを粒径・成分ごとに分け、PAHs 吸着量を測定した。マイクロプラスチック標準品と実環境中サンプルにおいて、PAHs 吸着量と比表面積の関係から吸着特性を比較検討した。最後に、マイクロプラスチック標準品を対象に波長 237.5 nm の UV を 240 時間照射した。照射前後の比表面積を測定し、UV による表面の劣化を検討した。本研究で得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 底泥中の 10 μm レベルのマイクロプラスチックについて、採取—前処理—計測—成分同定の一連の流れを開発した。
- 2) 大阪湾の底泥中から底質 10 g-dry あたり 64~86 個のマイクロプラスチックが検出された。
- 3) 魚類が一度摂取したマイクロプラスチックは、4 時間後には排出される可能性が示唆された。本結果については速報値であり、さらに測定数を増やすことでデータの信頼性を確認することが必要である。
- 4) マイクロプラスチック標準品を用いたアントラセンを対象とした回分式吸着試験について、すべての粒径でマイクロプラスチック添加量が増加するにつれて、溶液中のアントラセン濃度が減少し、マイクロプラスチックへの吸着が確認された。
- 5) マイクロプラスチック標準品の吸着容量と比表面積には正の相関があった ($R^2 = 0.97$)。アントラセンの吸着はマイクロプラスチック標準品の表面で起きていると推察された。
- 6) 6 種の塩素化 PAHs のうち、1-ClNap, 2-ClAnt, 9-ClAnt, 9,10-Cl₂Ant の 4 種が検出された。また、5 種の臭素化 PAHs のうち、1-BrNap, 9,10-Br₂Ant の 2 種が検出された。
- 7) 粒径 4.75 mm 以上のポリエチレンへの $\Sigma 27\text{PAHs}$ 含有量は 270 ng/g-dry、粒径 2~4.75 mm では 1,220 ng/g-dry、粒径 850 μm ~2mm では 1,260 ng/g-dry、粒径 315~850 μm では 12,080 ng/g-dry であった。成分別の吸着量は、ポリプロピレンはポリエチレンと同程度であり、大阪湾のポリスチレンへの PAHs 吸着量は、ポリエチレンに比べ 1~2 桁程度高かった。
- 8) マイクロプラスチックの形状を細孔のない球形と仮定すると、表面積から予想される吸着量よりも多くの PAHs が吸着していた。紫外線の照射や物理化学的な作用により、マイクロプラスチック表面が劣化し、表面積が 2 倍程度大きくなっていることが示唆された。

大阪湾圏域の干潟におけるマイクロプラスチックの存在実態と その化学・生物学的影響（その2）

○中尾 賢志¹⁾，尾崎 麻子²⁾，山崎 一夫²⁾，仲谷 正²⁾，先山 孝則¹⁾，梶元 慶子¹⁾

1) 大阪市立環境科学研究センター

2) (地独) 大阪健康安全基盤研究所

1. 調査研究の目的

水産庁は「藻場・干潟ビジョン」を策定し、藻場・干潟の再生と保全を進める施策を大きく進めている。藻場・干潟は生物生産や生物多様性に大きく寄与しており、窒素・リンといった富栄養化原因物質である栄養塩類の同化作用による浄化機能が注目されている。

大阪湾圏内には自然・人工の干潟が存在し、水質や生態学的に重要な機能を果たしている。しかし、干潟を含む沿岸域は近年世界的に問題となっている「マイクロプラスチック」の供給源となっているという指摘がある。マイクロプラスチックは POPs（残留性有機汚染物質）を吸着・吸収することが知られており、干潟生態系に与える影響が懸念されるが、魚介類や鳥類といった生物に与える影響は未知の部分が多い。

昨年度はマイクロプラスチックによる干潟泥の汚染実態を定量的に算出したが、2年目である本年度は干潟に生息する生物からのマイクロプラスチック検出を中心にし、干潟生物へのマイクロプラスチックの汚染状況を把握することを目的とし、調査をおこなった。

2. 実験材料および方法

2.1. 調査フィールドの選定

昨年度は大阪湾口、湾東、湾奥の干潟の3ヶ所を選定し、調査をおこなった結果、都市部に近い湾奥部の干潟の泥ほどマイクロプラスチックによる汚染が進んでいることがわかった。本年度は、湾奥部よりもさらに奥の淀川右岸河口干潟（図1）選定し、調査フィールドとした。

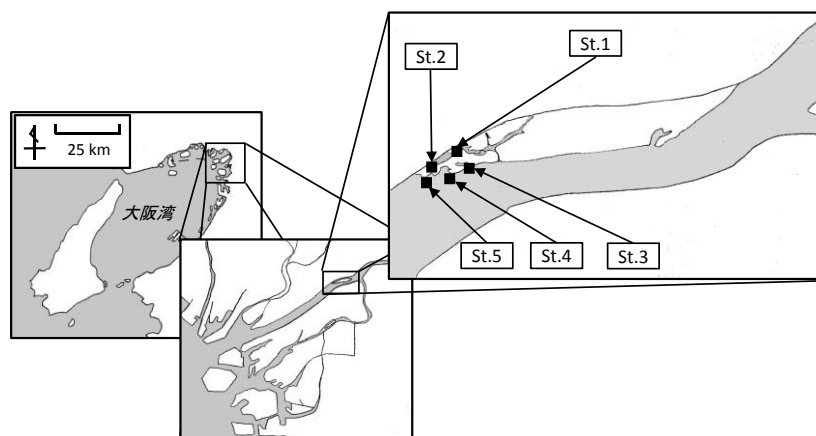


図1 本年度の調査地点（淀川右岸河口干潟，通称：十三干潟）

2.2. 生物検体と干潟泥の採取

2017年3月19日に同干潟で採集されたキンクロハジロ (*Aythya fuligula*) 1羽の死骸の胃を含む内臓を譲り受け、冷凍保存し、検体として用いた(当該キンクロハジロは単独で死亡しており、鳥インフルエンザで死亡したものではないと判断した。解剖の結果、脂肪が少ないことから餓死とみられた)。同年5月11日の干潮時に St.1~5 の干潟表層約 10 cm の泥を採取し、二枚貝であるヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) を必要数捕獲した。また、同年5月26日の干潮時にクロベンケイガニ (*Chiromantes dehaani*) を必要数捕獲した。

2.3. 干潟泥の性状分析

採取した干潟泥は底質調査方法[1]により pH と酸化還元電位 (ORP)、含水率、強熱減量を測定した。底質調査方法では前処理として試料を 2 mm のふるいに通し、3000 rpm で 20 分間遠心分離した試料の沈殿物を底質として分析する。そのため、5 mm 以下と定義されるマイクロプラスチックのいくらかは前処理の段階で除去される可能性があるため、前処理をおこなわない泥試料の含水率も「全含水率」として測定した。ただし、今回は干潟泥中のマイクロプラスチックの定量はおこなわなかった。

2.4. 二枚貝、カニ、鳥からのマイクロプラスチックの検出

採取した二枚貝であるヤマトシジミ 30 検体について、1 個体ずつ、軟体部(中身)のみを 300 mL ビーカーに入れて 150 mL の 30%過酸化水素を加え、全て溶解するまで埃等が混入しないようにアルミニウム箔をかぶせて放置した。その後、目開き 300 μ m の篩にとおし、35℃で乾燥させた。篩上の 5 mm 以下の粒子を実体顕微鏡下でピンセットを用いて採取した。採取した粒子はフーリエ変換型赤外分光光度計 (FT-IR) により、データベースのスペクトルとの一致率が 60%以上のものを同定した。

クロベンケイガニ 30 検体については、蒸留水で洗浄した後、1 個体ずつ中心部を縦に切り開き、内部を掻き出して上記と同様の処理をおこなった。なお、ヤマトシジミの場合は完全に 30%過酸化水素で溶解するものの、クロベンケイガニは溶解しきれない「残さ」が残ったが、プラスチックと思われるものをピンセットで採取し、FT-IR により同定した。

キンクロハジロ 1 検体については、胃の内容物を掻き出して上記と同様の操作をおこなった。処理された胃の内容物には二枚貝と思われる殻の破片や微小な巻貝が含まれていたが、プラスチックと思われるものをピンセットで採取し、FT-IR により同定した。

3. 結果および考察

3.1. 干潟泥の性状

干潟泥の性状を表 1 に示した。St.1, 2 は岸側、St.3, 4, 5 は川側の干潟である。干潟泥の色相は地点によって異なり、岸に近い St.1, 2 では茶色、河川側の St.3, 4, 5 は灰褐色であった。臭気は無かった。pH は 7.20~7.63 であった。ORP は St.2 以外は好氣的な値であった。岸側の St.1, 2 は低含水率で砂や石が多く、St.3, 4, 5 は高含水率で泥状のものが増える傾向にあった。強熱減量は含水率に比例して高くなる傾向がみられる。これは砂分が高いと保水力が

表 1 淀川右岸河口干潟の泥の性状

干潟名	地点	採泥日時 時刻・天気	気温 (°C)	泥温 (°C)	色相	臭気
淀川右岸 河口干潟	St. 1	2017. 5. 11 14:20頃 晴	24. 3	22. 5	茶色	無
	St. 2	2017. 5. 11 14:30頃 晴	24. 3	24. 8	茶色	無
	St. 3	2017. 5. 11 14:40頃 晴	24. 3	25. 2	灰褐色	無
	St. 4	2017. 5. 11 14:50頃 晴	24. 3	24. 2	灰褐色	無
	St. 5	2017. 5. 11 15:00頃 晴	24. 3	25. 5	灰褐色	無
干潟名	地点	pH	ORP (mV)	含水率 (%)	強熱減量 (%)	全含水率※ (%)
淀川右岸 河口干潟	St. 1	7. 20	176. 1	19. 30	1. 52	18. 56
	St. 2	7. 38	-18. 5	23. 10	2. 12	26. 34
	St. 3	7. 36	225. 2	28. 47	4. 07	29. 86
	St. 4	7. 63	255. 7	28. 04	3. 28	28. 23
	St. 5	7. 60	190. 8	28. 63	3. 32	29. 99

※「全含水率」とは底質調査方法による前処理をおこなわずに測定した含水率のことである。

低下するためだと考えられる。底質調査方法の「含水率」と、底質調査方法の前処理をおこなわなかった「全含水率」の値は大きくは異なることはなかった。

3. 2. 各生物からのマイクロプラスチックの検出

30 検体のヤマトシジミ体内のマイクロプラスチックを調べた結果、3 検体からマイクロプラスチックが 1 個ずつ検出された（例えば写真 1）（検出率 10%）。また、マイクロプラスチックが検出されなくても、1 個から複数個の人工物とみられる繊維状の物体が 30 検体中 21 検体から検出された（例えば写真 2）（検出率 70%）。これらは繊維状のため FT-IR では同定できず、プラスチックであるという確証は得られなかった。

30 検体のクロベンケイガニ体内のマイクロプラスチックを調べた結果、2 検体から 1 個と 2 個のマイクロプラスチックが検出された（例えば写真 3）（検出率約 7%）。また、3 検体からセロファンが 1 個ずつ検出された（例えば写真 4）（検出率 10%）。セロファンはセルロースから作られる膜状の物質であるが、昨年度の研究でも干潟泥中から検出された。セロファンはセルロースからできているため、自然分解しやすいと考えられるが、干潟泥やクロベンケイガニから検出されたことから、自然界での分解速度はそれほど速くないと考えられる。

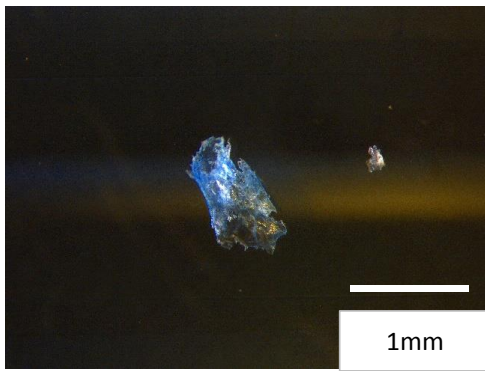


写真1 貝検体 No. 30 から検出された
マイクロプラスチック (PE)

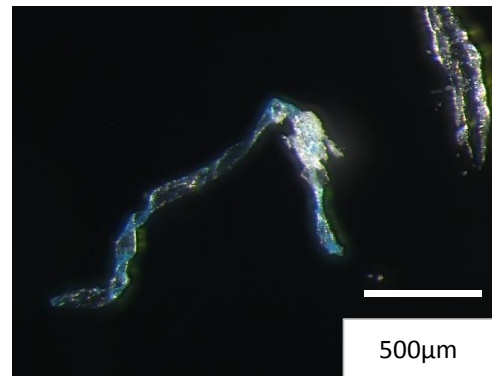


写真2 貝検体 No. 6 から検出された
繊維状物体

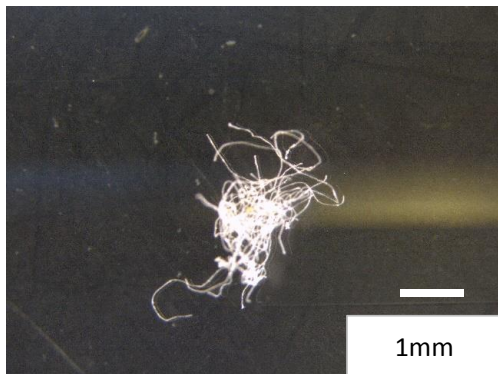


写真3 カニ検体 No. 17 から検出された
マイクロプラスチック (PET)

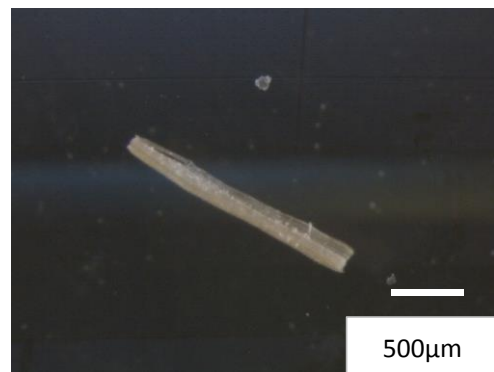


写真4 カニ検体 No. 7 から検出された
セロファン

1 検体のキンクロハジロ胃内容物からは8個のマイクロプラスチックが検出された(例えば写真5)。キンクロハジロ胃内容物から二枚貝の殻や巻貝の殻が見つかることから、低次捕食者から高次捕食者へのマイクロプラスチックの移行の可能性が示唆された。

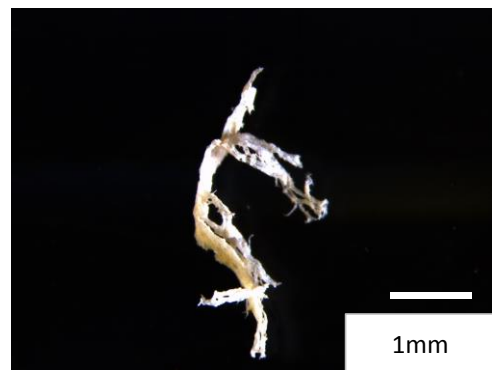


写真5 キンクロハジロ胃内容物から検出されたマイクロプラスチック (PE)

4. まとめ

1. 淀川右岸河口干潟に生息するヤマトシジミの10%、クロベンケイガニの約7%からマイクロプラスチックが検出された。1 検体のキンクロハジロ胃内容物から8 個マイクロプラスチックが検出された。
2. キンクロハジロ胃内容物からマイクロプラスチックが検出されたことから、低次捕食者から高次捕食者へのマイクロプラスチックの移行の可能性が示唆された。

参考文献

- [1] 環境省 水・大気環境局：底質調査方法 (2012)

海辺の環境再生活動の社会的価値算定に関する研究 ～尼崎運河を事例として～

○山中亮一（徳島大学環境防災研究センター・講師）
上月康則（徳島大学環境防災研究センター・教授）

1. 研究の目的

水質浄化と地域活性化の好循環を創出する環境再生手法として位置づけられる「尼崎運河水質浄化施設」が2012年3月に竣工した。本施設は、生物の物質循環機能と市民協働による生物の系外除去により水質浄化が達成される仕組みを有しており、水中から取上げた浄化生物（貝や藻類など）は堆肥材料として活用されている（これを水質浄化活動と呼ぶ）。市民組織による順応的管理に基づき進められる水質浄化活動を中心に、現在では様々な市民活動が盛んであり、当地は大阪湾再生行動計画（第二期）のアピールポイントに選定されている。これらの活動には公的資金による助成を受けているものもあり、社会的価値の把握とそれに基づく今後のあり方の議論が必要な段階にきている。そこで本研究では、SR0I（Social Return on Investment：社会的投資利益率）を求め、水質の長期変動傾向の知見を加え、今後の尼崎運河における市民活動と水質浄化活動のあり方に考察を行うことを目的とする。

2. 研究方法

SR0Iの算出は、既往の知見を参考に、表1に示す手順に従い行った。水質変動特性は、公表データと著者が取得したデータをもとに水質GISデータベースを作成し、主に栄養塩類の長期変化を把握した。

表1 SR0Iを算出する手順

Step No.	内容
1	評価の目的の明確化、評価のスコーピング
2	事業のインプット、活動、アウトプット、アウトカムの因果関係の整理、ロジックモデルの作成
3	評価対象とするアウトカムを選択する
4	指標、測定方法を定める。
5	データ収集
6	社会的インパクト、SR0Iの算出

3. 結果と考察

(1) 尼崎運河における市民活動

尼崎運河における市民活動の詳細を把握するため、アクションリサーチ手法に基づき、活動に関与しつつ、個々の活動の詳細に関する情報収集を行った。表2に示すのはステークホルダーと関係する団体の対応関係を示している。本結果と活動への参加

頻度などを考慮し、「尼崎ネイチャークラブ」，「NPO 尼崎 21 世紀の森」，「Amagasaki Canal SUP」，「あまん樹」，「NPO 人と自然とまちづくりと」の 5 団体を選び，各団体のアウトカムの把握のためヒアリング調査を行った．対象者は，各団体から主催者の 1 名とし，「NPO 尼崎 21 世紀の森」と「Amagasaki Canal SUP」からは活動を多面的に把握するためさらに 1 名の参加を依頼した．

（２）ロジックモデル

ヒアリングでは，社会的インパクト評価の一般的な手法に倣い，図 1 に示すようなロジックモデルの作成のための質問を行った．例えば，図 1 に示す「尼崎ネイチャークラブ」であれば，様々な活動を主催，もしくは活動に参画し，その成果を取りまとめて，全国レベルの活動報告会で発表し，高い評価（林野庁長官賞）を受けたことがアウトプットとなり，アウトカムとして生徒の自己肯定感の高まりがあり，直接的因果関係の証明はまだであるものの経験として生徒の生活改善などに繋がり，最終的には“最終アウトカム”として記載の成果を得られるという構造を持っていることがわかった．このようなロジックモデルをヒアリング対象者ごとに作成し，アウトカムをカテゴリーにわけて整理したところ，「環境」「まちづくり」「教育」「健康」に関するものに分類分けすることができた．

表 2 主催もしくは企画を担当している団体と該当するイベント名

団体名	主催，企画事業
NPO法人 人と自然とまちづくりと	脱出ゲーム，環境学習会
徳島大学(上月・山中研)	オープンキャナルデイ，環境学習会，水質浄化活動，干潟づくり活動，ボサかご生物観察，水質浄化研究，オープンキャナルフェスティバル
尼崎ネイチャークラブ(立花中，成良中，南武庫之荘中)	干潟づくり活動，ジュンカン畑（花壇）づくり
尼崎小田高等学校	干潟づくり活動
あまん樹	脱出ゲーム
Amagasaki Canal SUP	パドルボート体験（水面清掃含）
尼崎キャナルガイドの会	キャナルウォーク，環境学習会，干潟づくり活動，ジュンカン畑（花壇）づくり
NPO法人 尼崎21世紀の森	運河博覧会（うんぱく）
一般社団法人 リディラバ	環境学習会，キャナルウォーク，キャナルガイド養成講座
日建工学株式会社	水質浄化研究
五洋建設株式会社	ボサかご生物観察
尼崎市(公園計画・21世紀の森担当課)	環境学習会，キャナルウォーク，キャナルガイド養成講座，脱出ゲーム
兵庫県(尼崎港管理事務所)	施設維持管理，水質浄化研究，オープンキャナルフェスティバル

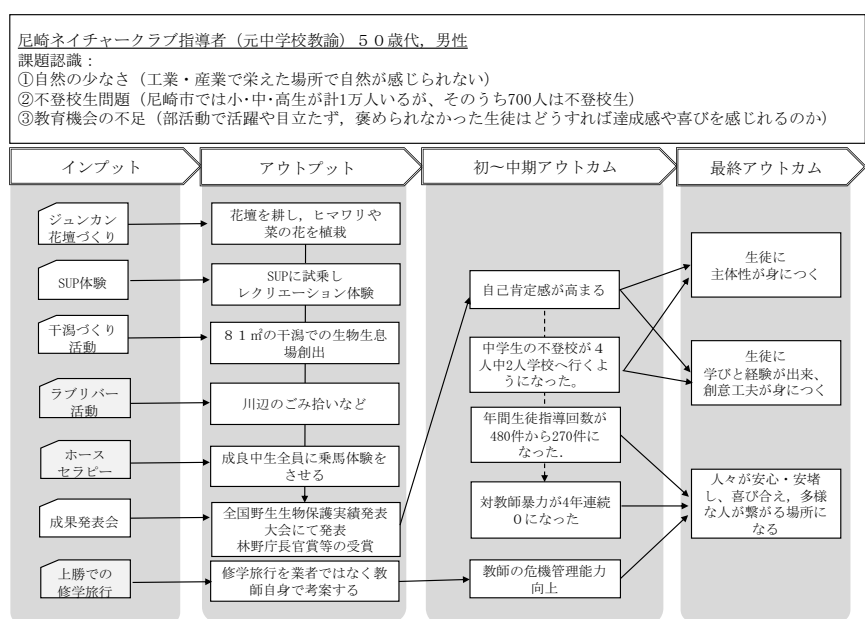


図1 ロジックモデルの一例（「尼崎ネイチャークラブ」指導者）

（3）SROIの算定

社会的価値につながるアウトカムの貨幣価値換算の手法を検討するため、「環境」、「まちづくり」、「教育」、「健康」分野に関する先行事例を調査した。その結果、事例は多くないものの、本事例でも適用可能と思われる換算手法、例えば環境イベントの価値をスタッフの想定給与の額で代替するといった手法を援用し、先行事例のないものについては、ヒアリング対象者に等価な別の事象に置き換えてもらうというプロセスを経て、総便益を算出した。代替手法については、定まった方法がなく、本研究で試行錯誤の末に決めたものであるが、主観的な要素が存在するなど課題があるものとは認識している。図2に、便益の算定結果を示す。

さいごに、総便益(574 万円)を行政などからの助成金や事業費の総額(435 万円)で除することにより SROI を求めたところ、 $SROI \div 1.3$ となり、尼崎運河の市民活動の社会的価値は投資対効果の視点でみると B/C は1を超えていることがわかった。

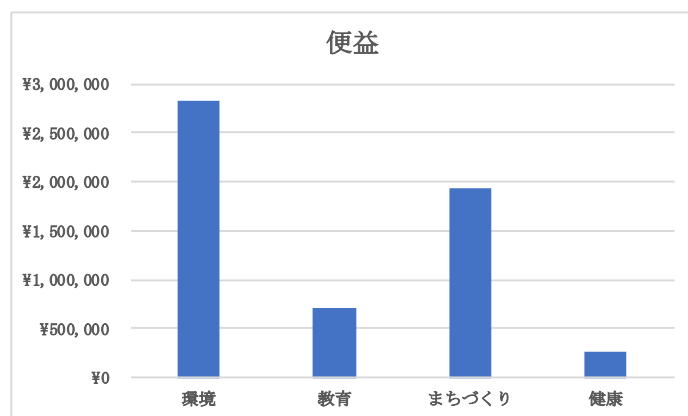


図2 尼崎運河における市民活動による分野別の便益（2017年）

(4) 市民活動の将来展望

ヒアリング調査の一つとして、将来的な水質状況の変化（改善，停滞，水質浄化施設の廃止）に対して，市民活動がどのようになるのかを尋ねるシナリオ評価実験を行った．表3に水質が改善したと想定した場合の結果を示す．この結果から，今まで通りと答えたD氏とG氏以外は，新たな活動を提案し，裏を返すと水質がこれらのニーズの障害となっていることがうかがえた．水質改善は，当地において新たな活動展開を呼び込む必要条件となっている．

そこで，最新の観測データを取り込んだ水質 GIS データベースから，尼崎運河とその周辺海域の栄養塩の長期変動特性を比較（図3）したところ，尼崎開門の北側海域では依然として高いDIN濃度を維持しているが，水質浄化施設がある北堀運河では，尼崎港のそれに近い値になりつつあることが初めてわかった．

表3 シナリオケース1への回答と関連分野

ケース1：水質が良好になったとしたら、どうしますか？		
	回答	関連分野
A氏	生物多様性の取り組みと親水性の取り組みをやっていく。あとは観光ビジネスにつなげていく。あとはスポーツですね。サップとかカヌーとかは可能だと思う。あとは賑わいの場ですね。お店が出てたりとか。あとは音楽とか自分の作品を作る人たちの拠点になっていけば面白いし。それ+教育もいれていく	環境 教育 まちづくり 健康
B1氏, B2氏	人が集まる状態になったら飲食とかしたい。後は遊びの施設。SUPがいつでもできる状態。簡単に乗れる環境も。釣りのできるような場所もつくりたい。デートスポットになる。クルージングも。	まちづくり
C氏	誰でもいつでも出られる桟橋を作って、生活のひとつにSUPが入る仕組みになったらいいなと思います。仕事にサップでいくみたいな、桟橋でカフェも経営したいです。	まちづくり
D氏	今まで通り。	教育 まちづくり 健康
E氏	近所の人を呼んで、憩いの場にする。お茶を飲む場所。	まちづくり
F氏	家族(子供)を連れてくる。世代間がかかわりたい場所になる。上勝くらいの川になったら泳ぎたいですね	まちづくり
G氏	今まで通り。	環境 教育 まちづくり

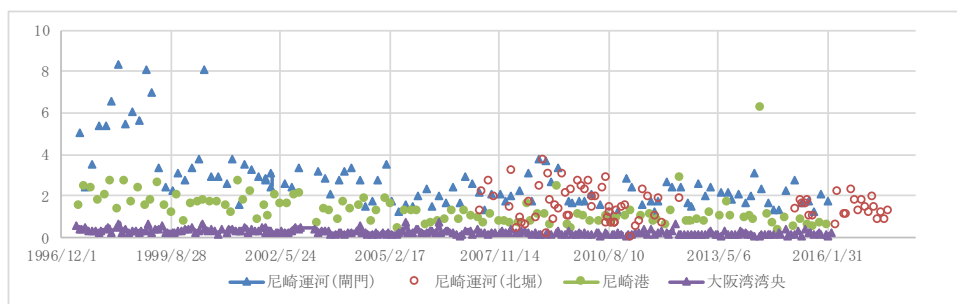


図3 水質の地点比較（DIN(mg/L)，表層）

4. 結論

尼崎運河北堀運河の栄養塩濃度は減少傾向であり，水質改善がなされれば新たな市民活動や利活用へのニーズが高まり，尼崎運河の活用がよりなされるようになると言える．そのためには水質改善の取り組みを継続し水質改善を実現する必要がある，また，SROIの結果は尼崎運河の環境改善活動に公的資金を投入することに関する一つの参考情報になるのではないかと考える．