

大阪湾の栄養塩低下と 直立構造物の潮間帯付着生物の分布変化

大谷 壮介¹・三好 順也²・吉村 直孝³・日下部 敬之⁴・上月 康則⁵

¹正会員 大阪府立大学工業高等専門学校准教授 (〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町26-12)

E-mail:otani@osaka-pct.ac.jp (Corresponding Author)

²正会員 一般社団法人地域資源研究センター (〒769-2101 香川県さぬき市志度5006-12)

³正会員 株式会社 総合水研究所 (〒590-0984 大阪府堺市堺区神南辺町1-4-6)

⁴大阪府立環境農林水産総合研究所 (〒583-0862 大阪府羽曳野市尺度442)

⁵正会員 徳島大学教授 環境防災研究センター (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1)

本研究は大阪湾沿岸の付着生物の調査を実施し、栄養塩低下と付着生物の分布の関連性を明らかにするために検討を行った。具体的には13年前に実施した調査地点を中心に調査を行った結果、生物相に大きな変化はなかったが、春季の海藻の種数は湾奥において増加しており、ワカメやクロフジツボ等の付着生物は環境勾配の変化に従って、湾奥に分布域を拡大していた。長期間のモニタリングデータを用いて大阪湾沿岸の水質変化を検討した結果、2000年からの栄養塩は減少していた。また、水質を用いて特徴的な生息分布を示した生物種に関し、Maxentを用いて分布に寄与する要因を解析した結果、栄養塩を主として透明度や塩分、護岸構造物の種類が寄与していると考えられた。大阪湾沿岸における栄養塩の低下は付着生物の分布に影響を及ぼしていることが示唆された。

Key Words: sessile organisms, Osaka Bay, water quality, distribution, Maxent

1. 所論

2015年に瀬戸内海環境保全特別措置法が改正された。この法律の改正では、瀬戸内海を「豊かな海」とする旨の基本理念が新設され、規制の措置のみならず、藻場・干潟の保全・再生等の措置を合わせて講ずることが記載されている。その瀬戸内海の一部である大阪湾の沿岸では、戦後の高度経済成長期に藻場・干潟が開発によって埋め立てられてきた。大阪湾のような閉鎖性海域では富栄養状態が続いており^{1,2)}、流域からの窒素・リンの汚濁負荷源や底泥からの溶出によって、慢性的な赤潮の発生、貧酸素化が起こってきた。

一方、近年では従来の流域からの栄養塩削減対策により、海域の貧栄養化が報告されている^{3,4)}。海域の栄養塩の低下によるノリ養殖への影響が報告され⁵⁾、これまで栄養塩の総量規制が実施されてきたが、陸域からの栄養塩の供給について議論されるようになってきた⁶⁾。また、諸外国における貧栄養化と沿岸生態系の関連性を示した研究事例では、長期モニタリングデータを使用して栄養塩の低下と栄養塩を直接的に利用する一次生産者の関連性について解析が行われており、栄養塩の低下に伴

うChl_a濃度の低下⁷⁾や植物プランクトン群集の組成の変化^{8,9)}、大型の水生植物の組成の変化に関する研究がある^{10,11)}。さらに、栄養塩の長期的な変動は底生動物や海鳥のバイオマスと関連性を示し、栄養塩の低下は大型の生物にも影響していた可能性の高いことを示す研究報告もある¹²⁾。また、国内においても貧栄養化と底生生物の関連性についての研究事例があり、栄養塩の低い地域におけるアサリの成長が小さいことや付着生物量はTNと正の相関関係があることが示されている¹³⁾。以上のように、貧栄養化と生物の関係についてはある地点の長期間のデータを用いて、時系列に解析を行っている事例は報告されているが、貧栄養化に伴う生物の内湾スケールでの分布の変化に及ぼす影響までは言及されていない。

大阪湾では、過去の富栄養化した状態から下水道の整備や栄養塩削減対策によって人為的に栄養塩の供給が低下してきた。その中で、水質や生態系についても変化してきていることが伺えるが、栄養塩の低下に伴う生態系への影響に関する研究事例は、養殖の海藻関連を除き、数少ない^{5,6)}。また、大阪湾の藻場・干潟における底生生物に関する研究は、水産有用種を中心に多数実施されているが、付着生物に関する研究は限られており^{14,15)}、

付着生物と周辺環境の長期変化を解析している事例は見当たらない。特に、付着生物は移動性に乏しく、水質の影響を大きく受けるために水質の変化に伴って、分布は変化していると考えられるが、広域的に大阪湾の付着生物の分布に関する継続的な報告事例はなく、分布要因についても検討されていない。

そこで、本研究では大阪湾沿岸の栄養塩の低下と付着生物の分布の変化に着目することで、富栄養海域であった大阪湾が低栄養化した際の生物分布を検討し、実際に栄養塩が低下した時の付着生物の分布の変化を現地調査により明らかにした。具体的には、大阪湾沿岸の付着生物の分布に関する調査を2004年、2005年に実施しており¹⁴⁾、それから13年後の状況を比較することで、分布の変化を把握した。さらに、解析にあたっては長期モニタリング調査のデータを使用して、栄養塩の低下を示すと共に、水質の変化が付着生物の分布に寄与する要因を明らかにした。

2. 研究方法

(1) 大阪湾沿岸の付着生物調査

大阪湾沿岸において2017年8月6日、2018年3月18日に船上より付着生物の出現状況の調査を実施した。10地点の調査地点は港内の停滞水域を避けて、大阪湾において沖側が閉ざされていない、沖向きの直立構造物を選定した(図-1)。調査方法は2004年9月11-12日と2005年5月4-5日に実施した内容¹⁴⁾と同様の方法であり、潮間帯の付着生物(付着植物および付着動物)を船上から目

視観測により記録した。具体的には、作業船を用いて海上移動し、調査地点において可能な限り基盤面に近寄り、船上から肉眼または双眼鏡を使い、海面上および海面下(概ねDL+1.5mから0.0mまでの範囲)に分布している生物の種類を確認し、種類の判別が困難な生物は分類群を記録した。2018年3月の調査においては消波ブロックに関する調査は実施せず、直立構造物だけの調査とし、泉佐野の調査地点は時間の都合上、調査を実施することができなかった。付着生物の表記については、目より上位の分類単位に属する海藻の分類群の名称および配列は、吉田ら(2015)¹⁶⁾、付着動物は今原(2016)¹⁷⁾に従った。なお、以後、2004年と2005年の調査は前回調査、2017年と2018年の調査は今回調査と記載する。前回調査と今回調査では調査地点数が大きく異なるが、海藻と付着動物の種数や出現・非出現の比較は今回調査の10地点のデータを用いて行った。

(2) 大阪湾沿岸の水質の変化

水質の変化の解析について、前述の現地調査と関連し、調査地点より最も近いモニタリング地点の中で10地点を選定した(図-1、表-1)。調査・解析に使用した付着生物の調査地点と水質測定地点の対応を表-1に示す。水質データは大阪湾環境情報クリアリングハウスの水質測定結果について、2000年から2018年の水質データを用いた¹⁸⁾。使用した水質データに関して、公共用水域水質測定調査(兵庫県)と公共用水域水質測定調査(大阪府域)の水質調査は毎月、浅海定線調査の水質調査は年に

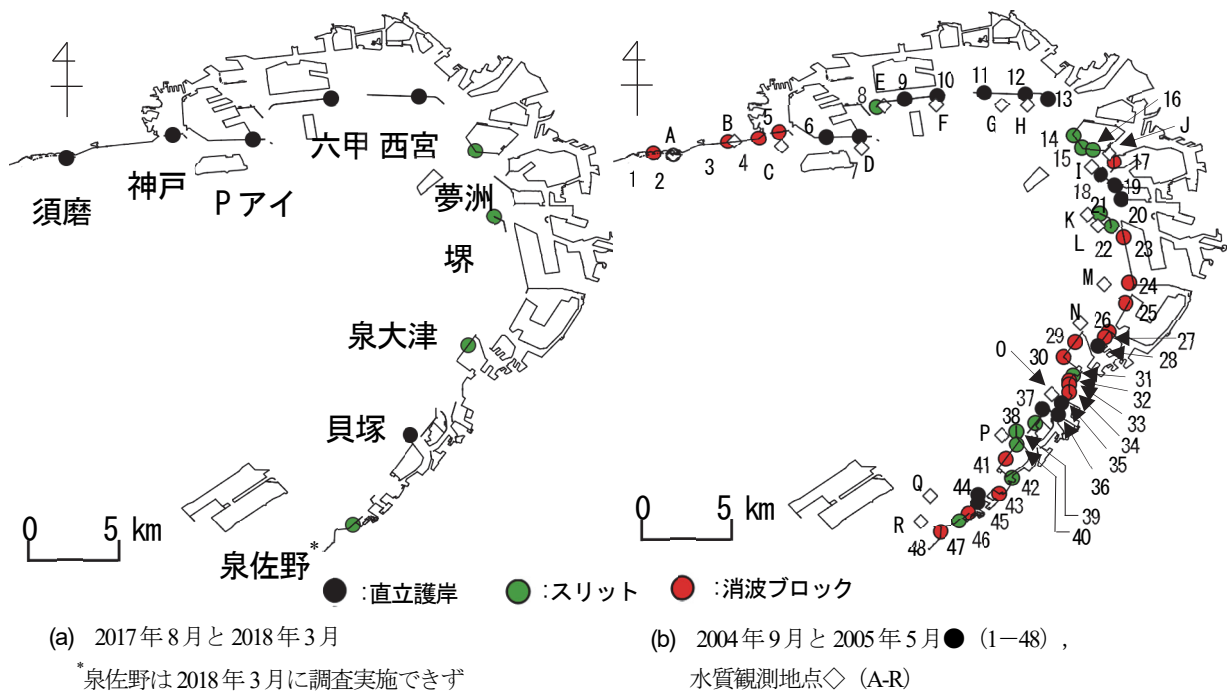


図-1 調査地点

表-1 調査地点と水質モニタリング測定地点の対応関係

調査地点名	水質測定地点		
	出典	観測地点名	図-1の調査地点
須磨	公共用水域水質測定調査(兵庫県)	須磨港西防波堤	A
神戸	公共用水域水質測定調査(兵庫県)	第1防波堤南沖合	C
ポートアイランド(Pアイ)	公共用水域水質測定調査(兵庫県)	ポートアイランド南沖合(1)	D
六甲	公共用水域水質測定調査(兵庫県)	六甲アイランド南沖合(3)	F
西宮	浅海定線調査	18	G
夢洲	公共用水域水質測定調査(大阪府域)	C-3	J
堺	浅海定線調査	17	K
泉大津	浅海定線調査	13	N
貝塚	浅海定線調査	19	P
泉佐野	浅海定線調査	11	R

4回の測定が実施されている。

解析に用いた水質項目は水温、塩分、透明度、COD、Chla、TN、DIN、NO₃、TP、PO₄³⁻である。なお、塩分は欠損が多かったが、塩素量が測定されている場合は海洋観測ガイドライン(2018)¹⁹⁾を参考に、塩分に換算した。水質を測定している行政機関によって採水の頻度が毎月もしくは四季調査と異なっているため、解析には各水質項目の年間の平均値を用いた。また、使用した水質データの採水深度に関して、公共用水域水質測定調査(兵庫県)の表層は海面下0.5m、もしくは表層(海面下0.5m)・中層(海面下2m)の混合、公共用水域水質測定調査(大阪府域)の表層は海面下1m、浅海定線調査の表層は海面下0mを採水している。各水質観測地点の平均水深は約12-16.4mであり、本研究では海面下0-2mを表層水と考へて、検討を行った。

(3) 付着生物の分布に寄与する要因解析

本研究では、付着生物の分布要因の解析に Maximum entropy modeling (Maxent)を用いた²⁰⁾。Maxentは、生物の分布データと環境データを用いることで、生物の分布予測ができるモデルである。モデルの評価には Area Under Curve (AUC)が用いられ、環境データとの関係は寄与率と応答曲線によって表される。要因解析はswd形式で実施し、付着生物のデータはこれまでに実施した前回調査の48地点のデータ¹⁹⁾に加えて今回調査の10地点の調査結果を用いた。各地点の水質は、水質測定地点間が海岸構造物で遮られておらず、その距離が約3km以内の場合のみ、隣接するモニタリング地点のデータを使用して、水質から付着生物の分布要因の解析を行った。

解析に用いた水質データは年間の平均値を用いた。また、データが揃っている水温、塩分、透明度、DO、pH、COD、NO₃、TPの水質データに加えて、護岸構造物3種類(直立護岸、スリット、ブロック)を追加して解析を行った。

表-2 調査時期別の潮間帯生物の確認状況、●：調査で確認された種類

種類	確認された種類			
	2004 09	2005 05	2017 08	2018 03
海藻				
アオサ属	●	●	●	●
アオサ属(旧アオノリ属)				●
シオグサ属		●		●
ハネモ属		●		
カヤモノリ				●
ワカメ		●		●
アマノリ属				●
マクサ		●		
フダラク		●		●
ムカデノリ属		●		
イギス目		●		●
紅藻綱	●	●	●	
付着動物				
ダイダイソカイメン	●		●	
普通海綿綱		●	●	
ウメボシイソギンチャク科	●	●	●	●
タテジマイソギンチャク	●	●	●	●
ウスヒザラガイ亜目	●	●	●	●
マツバガイ			●	●
カサガイ目	●	●	●	●
レイシガイ		●	●	
イボニシ	●	●	●	●
カラマツガイ		●		●
ムラサキガイ	●	●	●	●
ミドリイガイ		●		
マガキ	●		●	●
ケガキ		●	●	
ナミマガシワ		●		●
カンザシゴカイ科	●	●		●
カメノテ	●		●	●
クロフジツボ	●	●	●	●
アカフジツボ	●	●	●	
フナムシ	●		●	
イソガニ属	●	●	●	
フサコケムシ科	●	●	●	
イトマキヒトデ		●		
シロボヤ	●			
エボヤ		●		
ホヤ綱(群体性)		●		
海藻の種類数	2	9	2	8
付着動物の種類数	16	21	18	13

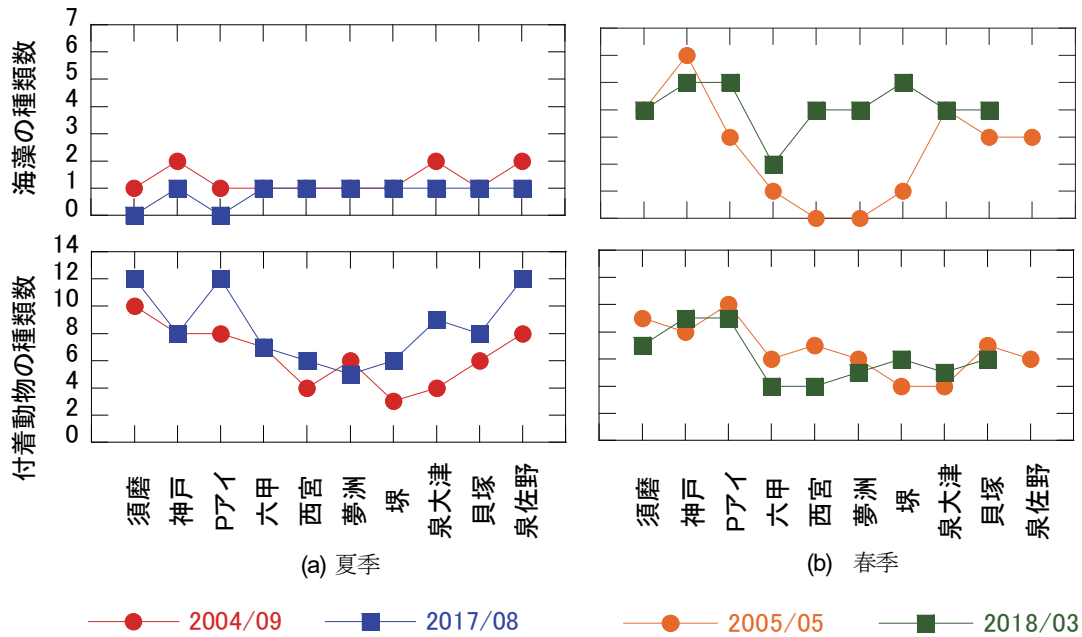


図-2 調査地点別の海藻と付着動物の出現種類数

3. 結果

(1) 大阪湾沿岸の付着生物

a) 付着生物相の変化

調査時期別の潮間帯生物の出現状況を表-2に示す。海藻は前回調査で出現していたハネモ属、マクサ、ムカデノリ属の3種類が今回調査において確認されなかった。一方、旧アオノリ属、カヤモノリ、アマノリ属の3種類が新たに前回調査より出現が確認された。両調査とも、夏季より春季に海藻の種類数が多かった。

付着動物は前回調査で出現していたミドリイガイ、イトマキヒトデ、シロボヤ、エボヤ、ホヤ綱(群体性)の5種類が今回調査において確認されなかった。また、マツバガイの1種類が新たに確認された。2004年9月と2017年8月の夏季の付着生物の種類数は同程度であったが、2018年3月の春季の付着動物の種類数は2005年5月よりも少なかった。

b) 付着生物の地点別の出現分布

調査地点別の海藻と付着動物の出現種類数を図-2に示す。10地点の海藻の出現種類数を比較すると、夏季の調査において海藻の出現はほとんど確認されず、調査年に大きな違いはなかった。春季の調査において全体的に2005年5月よりも2018年3月の方が海藻の種類数が多かった。

10地点の付着動物の出現種類数を比較すると、夏季の調査において堺以南で出現種類数が増えている傾向にある。一方、春季の調査において全体的に2005年5月と2018年3月の種類数に大きな違いはなく、須磨、神戸、

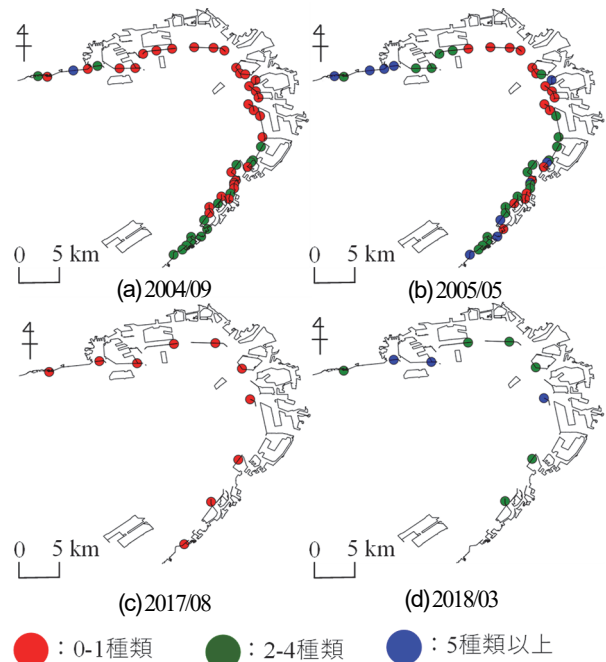


図-3 海藻の出現種類数の平面分布

ポートアイランドは他の地点よりも種類数が多い傾向にあった。

c) 付着生物の平面分布の変化

海藻の出現種類数の平面分布を図-3に示す。過去の平面分布との比較のため、前回調査の結果についても記載した。海藻の出現種類数の平面分布について、2004年9月の大阪湾湾奥では0-1種類の地点が多かったのに対して、ポートアイランド以西、堺以南において2-4種類の海藻が出現していた。2017年8月において10地点の全ての

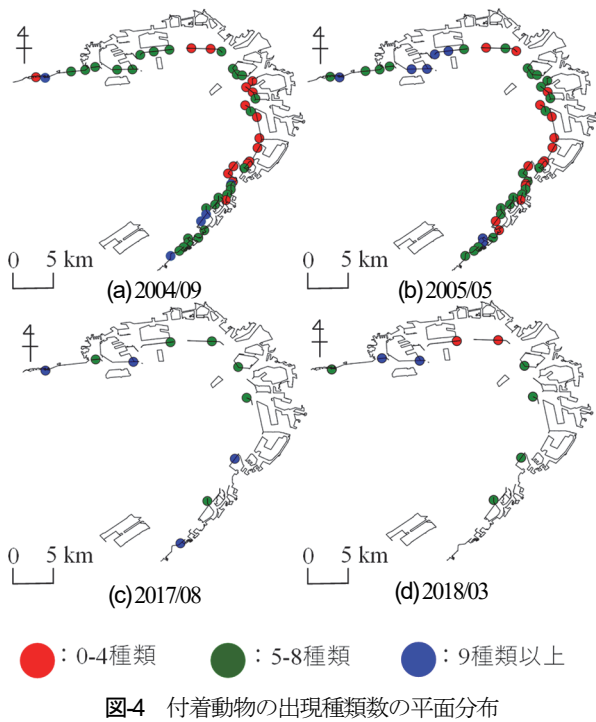


図4 付着動物の出現種類数の平面分布

地点で0-1種類のみ海藻の出現であった。また、春季の出現種数は2005年5月の調査では、2004年9月と同様に湾奥部では海藻の種類数は少ないが、ポートアイランド以西や泉大津以南で5種類以上の海藻が出現していた。2018年3月の海藻の種類数について、湾奥においても2-4種類の海藻が出現していた。

付着動物の出現種類数の平面分布を図4に示す。付着動物の出現種類数の平面分布について、2004年9月の調査において西宮から泉大津まで0-4種類の地点が多かったのに対して、貝塚以南では5種類以上の付着動物が出現した地点が多かった。2017年8月の調査では、調査した10地点において5種類以上の付着動物が出現しており、ポートアイランド以西、泉大津以南では付着動物が9種類以上であった地点があった。また、2005年5月の春季の出現種数は夏季と同様に、湾奥の西宮から貝塚周辺まで0-4種類の地点があった。2018年3月の付着動物の種類数について、六甲アイランドと夢洲では0-4種類の付着動物が出現しており、夢洲以南では4-8種類、神戸とポートアイランドでは9種以上の付着動物が出現していた。

平面分布に特徴のあった4種類の出現・非出現の地点の分布を図5に示す。ワカメ、クロフジツボ、ダイダイソカイメン、ウスヒザラガイ亜目の4種類の付着生物である。それぞれ2回ずつの調査で1回でも出現が確認された地点は出現とした。

これら4種類の生物の分布は前回調査と今回調査において、湾奥ではほぼ非出現であったが、今回調査において図中に示した出現境界線を示す破線は13年前よりも湾奥にシフトしている傾向にあった。特にクロフジツボは

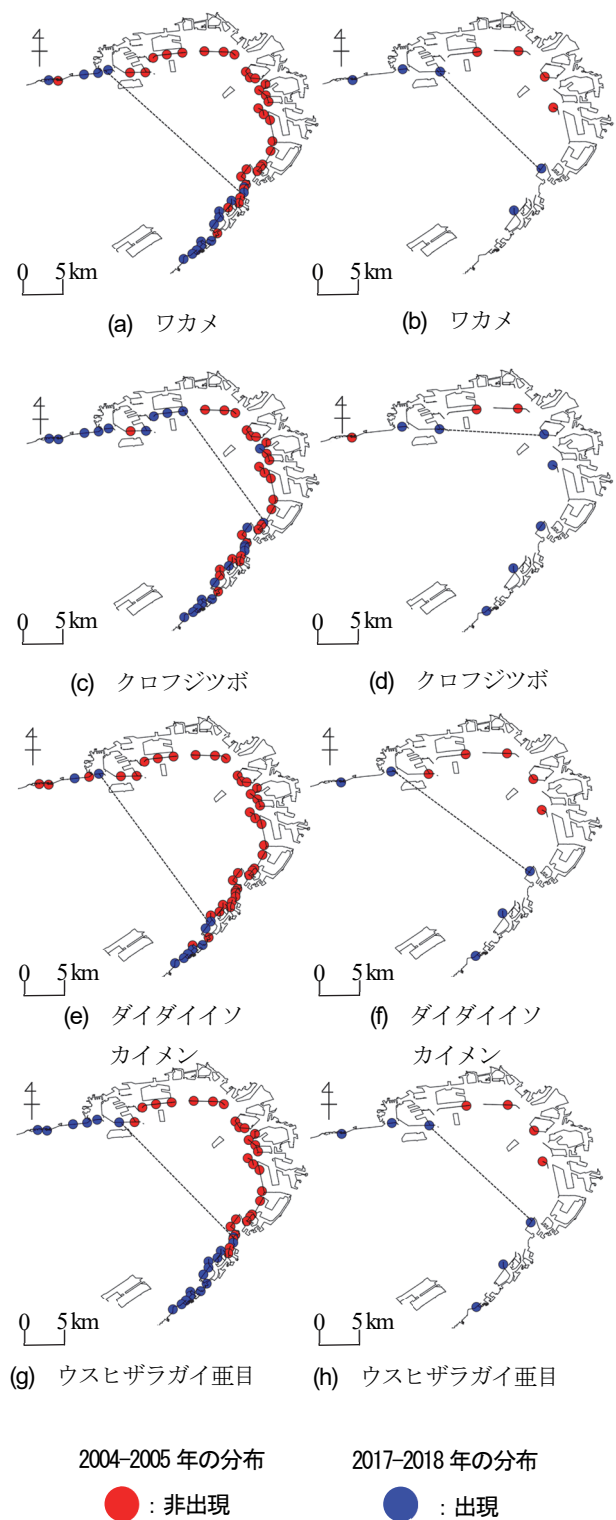
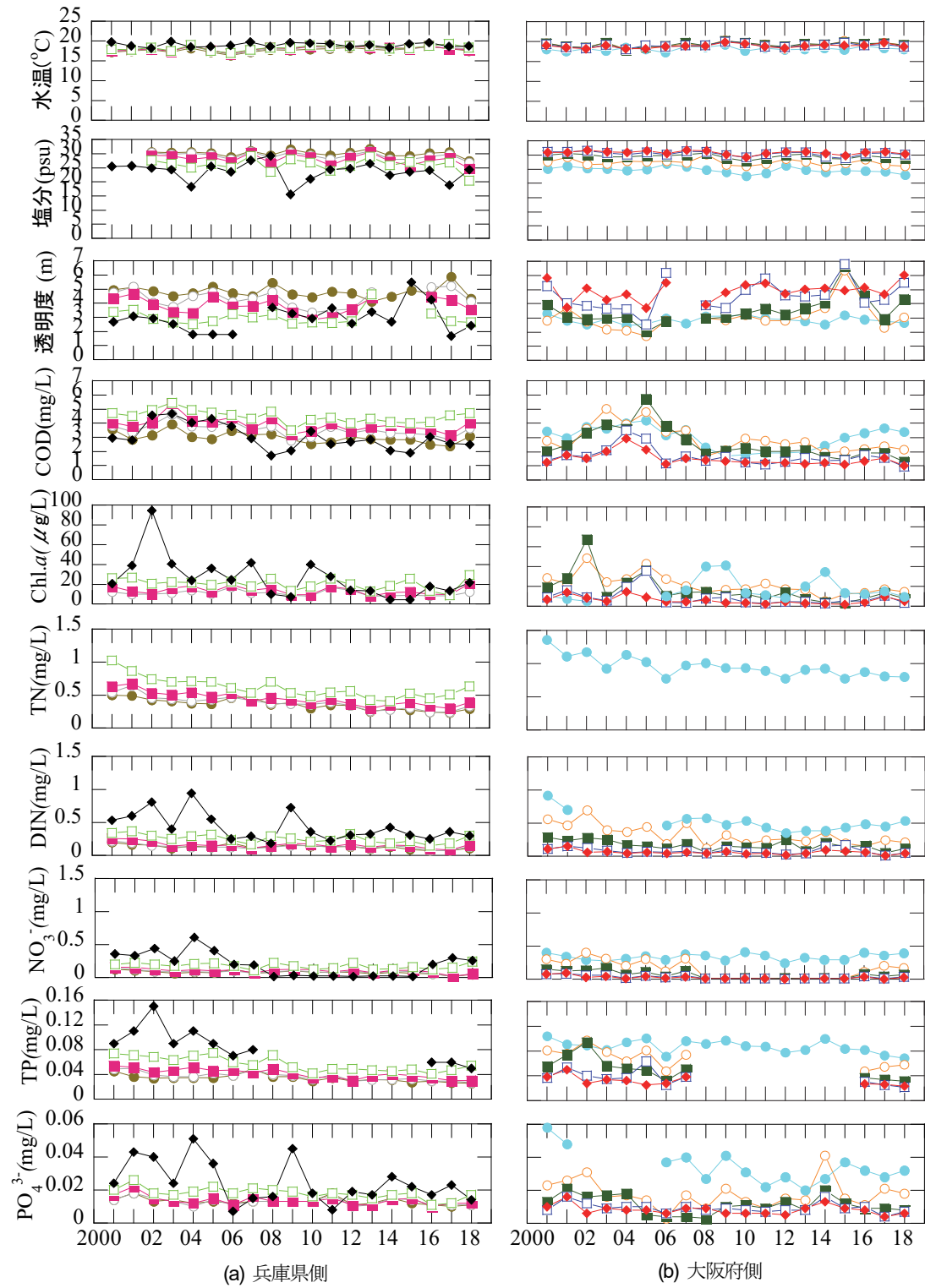


図5 4種類の出現・非出現の平面分布の変化
図中の破線は出現境界線を示す

夢洲や堺において出現が確認されるようになった。

(2) 大阪湾沿岸の水質の変化

各水質の変化を図6に示す。水温は2000年から地点内では大きな変動はなかった。塩分は西宮において15.5-29.2psuと変動が大きく、地点間の違いとして大阪



塩分:須磨, 神戸, Pアイ, 六甲_2000-2001年データなし
 透明度:神戸, Pアイ, 六甲_2013-2016年欠損, 西宮, 堺, 泉大津, 貝塚, 泉佐野_2007年欠損
 Chl. a:須磨_データなし
 TN:西宮, 堺, 泉大津, 貝塚, 泉佐野_データなし
 DIN(アンモニア):夢洲_2002-2005年欠損
 TP:西宮, 堺, 泉大津, 貝塚, 泉佐野_2008-2015年欠損,
 PO₄³⁻:夢洲_2002-2005年欠損

図-6 大阪湾沿岸の水質の変化

府側の夢洲から泉佐野へ向かって塩分は約25-30psuまで徐々に増加していた。透明度は各地点において増減を繰り返す変動があり、年平均の透明度は西宮において1.68mや貝塚において6.80mが観測されるなど、地点間の差は大きかったが、湾口より湾奥部の方が低い傾向にあった。CODは六甲アイランドやポートアイランドにおいて3mg/L以上と高い水準で変動していた。堺以南のCODは2000年代前半に一度増加するが、その後、減少していた。透明度とCODは地点間の差が大きく、貝塚と泉佐野の透明度は高く、CODは低かった。湾奥の地点は湾口近くの地点に比べてCODは高いが、湾奥・湾口ともに減少傾向にあった。

Chl_aは西宮や堺において2000年代前半より減少しており、夢洲のChl_aは2010年以降に減少傾向にあった。また、神戸から堺のChl_aは近年においても10µg/L以上を示すことがあり、植物プランクトン量が多かった。TNは主に兵庫県側の地点のデータであるが、2000年以降徐々に減少しており、2000年から2018年の間に須磨で0.21mg/L、夢洲で0.56mg/LのTNの減少が確認され、その他の地点も含めてTNは2000年から約40%が減少していた。また、DINは大阪湾湾奥の西宮、夢洲および堺の調査地点で2000年には0.50mg/Lより高く、2000年前半から減少していた。六甲のDINは2000年から変動しながら、それほど大きな減少はなかった。他の地点のDINは湾奥の地点と比べると減少量は小さいが、須磨から夢洲のDINは2000年から2018年まで約40%が減少しているのに対して、堺から泉佐野のDINは約60%が減少していた。須磨からポートアイランドと堺から泉佐野のNO₃⁻はDINと同様に、2000年から2018年まで約60%が減少しているのに対して、湾奥の六甲から夢洲のNO₃⁻は増減を繰り返して変動していた。TPは2008年からのデータが欠損している地点はあるが、全体的に各地点において減少していた。その中でも六甲、夢洲および堺のTPは2000年から2018年まで、それぞれ26%、34%および28%が減少していたのに対して、その他の地点のTPは約40%が減少していた。PO₄³⁻は夢洲や

西宮では2000年から2018年まで約40%が減少していたが、堺では増減を繰り返していた。また、六甲アイランド以西および泉大津以南のPO₄³⁻は低い水準で変動は小さかった。

以上のことから、2000年以降の大阪湾沿岸の水質について栄養塩は全体的に減少していることが窺える。

(3) Maxentによる生物分布の要因解析

上記の平面分布に特徴のあった4種について、生物分布予測モデルを作成し、分布に寄与するパラメータについて検討を行った。ウスヒザラガイ亜目に関してはヒザラガイのデータを用いて解析した。

生物分布予測モデルの精度と要因の寄与率を表-3に示す。各モデルの精度を示すAUCは0.70以上であった。ワカメは塩分、NO₃⁻および水温、ダイダイイソカイメンはTPとNO₃⁻、ウスヒザラガイ亜目は透明度、TPおよびNO₃⁻、クロフジツボはTPと護岸構造物の寄与率が高かった。各生物の分布要因として栄養塩が選択されており、これら栄養塩は分布要因としてマイナスに寄与していた。また、クロフジツボは護岸構造物の種類(ブロック)が他の生物に比べると高い寄与率である特徴があった。

4. 考察

本研究により、大阪湾沿岸の水質について、窒素・リンは2000年代前半から減少していることが明らかになった(図-6)。特に、DINは湾奥において2000年から約40%、堺から泉佐野までは約60%が減少していた。付着生物について、13年の経過によって夏季の海藻の種類数に大きな増減はないが、春季の海藻の種類数は、特に大阪湾湾奥において増加していた(図-2)。また、春季の付着動物の種類数に大きな増減はないが、夏季の付着動物の種類数は堺以南において増加していた(図-2)。このように季節によって、海藻と付着動物の種類数の増加が認められた。また、付着生物の分布範囲に関して、平面分布に特徴のあったワカメ、クロフジツボ、ダイダイイ

表-3 Maxentによる生物分布予測モデルの精度と要因の寄与率。寄与率1%以上の()は、寄与の正(+), 負(-)および構造物の種類

種名	AUC	寄与率(%)								
		水温	塩分	透明度	DO	pH	COD	NO ₃ ⁻	TP	構造物の種類
ワカメ	0.876	10.2 (-)	40.4 (+)	0	0	2	5	41.6 (-)	0	0
ダイダイイソカイメン	0.759	0	4	0	0	0	0	38.6 (-)	56.7 (-)	1
ウスヒザラガイ亜目	0.866	9.7	0	61 (+)	0	0	2	11.8 (-)	15.8 (-)	0
クロフジツボ	0.832	7	4	1	6	0	2	0	58 (-)	21.7 (ブロック)

ソカイメンおよびウスヒザラガイ亜目の4種は湾奥方向に向かって、分布範囲を拡大していた(図-5)。大阪湾の付着生物の空間分布は徐々に変化しており、それまで非生息であった種が分布を拡大することで、水質の変化に伴って湾奥において種類数は増加している傾向にあると考えられる(図-3, 図-4)。このように、水質の環境勾配の変化に伴って、付着生物の分布域が変化しており、特に湾奥部において、その傾向が顕著である。

平面分布に特徴のあった4種の分布要因として、Maxentの解析によって栄養塩が寄与していることが示された(表-3)。特に、ワカメ、ダイタイイソカイメンおよびクロフジツボの分布要因に最も寄与している変数は栄養塩であり、ウスヒザラガイ亜目の分布要因は透明度であったが、栄養塩も寄与していた。また、大阪湾には直立護岸、スリットケーソンおよび消波ブロックが点在している(図-1)、種によってはクロフジツボのように護岸構造物の種類が分布に寄与していた(表-3)。

特にワカメに関して、成長に適した塩分は28–36 psuと報告されており²⁰⁾、Maxentによる分布要因解析において、塩分は分布に対してプラスに寄与していた(表-3)。一方で、大阪湾沿岸において、全体的に栄養塩は減少している(図-6)、ワカメに必要な栄養塩としてDINは $2\ \mu\text{mol/L}$ ($0.028\ \text{mg/L}$)^{21),22)}、DIPは $0.2\ \mu\text{mol/L}$ ($0.0062\ \text{mg/L}$)²¹⁾、もしくは $0.1\ \mu\text{mol/L}$ ($0.0031\ \text{mg/L}$)²³⁾であり、2018年の10地点のDINは $0.039\text{--}0.535\ \text{mg/L}$ 、 PO_4 は $0.006\text{--}0.032\ \text{mg/L}$ であった(図-6)。したがって、湾奥において栄養塩は不足していることはないが、今後さらに泉大津から泉佐野の栄養塩が減少することがあれば、ワカメにとって栄養塩不足となる懸念がある。また、栄養塩の減少によって、植物プランクトン量が減り、透明度は上昇することが考えられるが、貝塚や泉佐野では、栄養塩とChl a が低く、透明度が高い関連性が顕著である(図-6)。実際に、大阪湾沿岸のChl a は減少しており(図-6)、環境変化に伴って植物プランクトンの種組成は徐々に変化していることが示されていることから²⁴⁾、付着動物にとって餌資源量の減少と質の変化があり、栄養塩の減少は間接的に付着動物の空間分布に寄与していることが推察される。

さらに、生物の分布が変化する要因として、大阪湾湾奥の環境変化としては栄養塩だけでなく、流れの変化もある²⁵⁾。前回調査より、神戸空港島、神戸沖埋立処分場、大阪沖埋立処分場の建設によって大阪湾の埋め立てが進められ、15–20年間の間に大阪湾の地形や水質は変化していることが考えられる。

以上のように本研究では、付着生物の分布について13年経過前後の比較を行うことで、分布要因に水質と構造物の種類が寄与しており、水質の変化に伴って付着

生物の分布域は変化していることが考えられた。

5. 結論

大阪湾沿岸において13年経過前後の潮間帯付着生物の調査を行った。直立構造物の潮間帯付着生物の分布変化について、海藻の出現種数は湾奥に向けて増加傾向がみられ、付着動物の出現種類数は増加している傾向にあった。付着生物の中には、平面分布を湾奥に拡大している生物種が確認できた。長期間のモニタリングデータを用いて大阪湾沿岸の水質の変化を検討した結果、栄養塩は減少しており、付着生物の分布に影響を及ぼしていることが示唆された。

謝辞：本研究を進めるにあたり、生態系工学研究会の支援を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 城久：大阪湾における富栄養化の構造と富栄養化が漁業におよぼす影響について、大阪府水産試験場研究報告, No. 7, pp. 1-74, 1986.
- 2) 星加章, 谷本照己, 三島康史：大阪湾における富栄養化と内部生産有機物, 水環境学会誌, Vol. 21(11), pp. 765-771, 1998.
- 3) Yamamoto, T.: The Seto Inland Sea: Eutrophic or oligotrophic?, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 47, pp. 37-42, 2003.
- 4) 藤原建紀：瀬戸内海の貧栄養化, 水環境学会誌, Vol. 34(2), pp. 34-38, 2011.
- 5) 堀豊, 望月松寿, 島本信夫：播磨灘北部海域におけるノリ色落ちと漁場環境の変遷, 水産海洋研究, Vol. 72(2), pp. 107-112, 2008.
- 6) 原田和弘, 阿保勝之, 川崎周作, 竹迫史裕, 宮原一隆：港湾水および下水処理放流水に含まれる溶存態無機窒素が播磨灘北東部沿岸のノリ漁場に与える影響, 水産海洋研究, Vol. 82(1), pp. 26-35, 2018.
- 7) Mozetič, P., Solidoro, C., Cossarini, G., Solidoro, G., Precali, R., Francé, J., Bianchi, F., De Vittor, C., Smolaka, N. and Umani, S. F.: Recent trends towards oligotrophication of the Northern Adriatic: evidence from chlorophyll a time series, *Estuaries and Coasts*, Vol. 33, pp. 362-375, 2010.
- 8) Leruste, A., Malet, N., Munaron, D., Derolez, V., Hatey, E., Collos, Y., de Wit R. and Bec, B.: First steps of ecological restoration in Mediterranean lagoons: shifts in phytoplankton communities, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 180, pp. 190-203, 2016.
- 9) Derolez, V., Soudant, D., Malet, N., Chiantella, C., Richard, M., Abadie, Er., Aliaume, C. and Bec, B.: Two decades of oligotrophication: Evidence for a phytoplankton community shift in the coastal lagoon of Thau (Mediterranean Sea, France), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 241, 106810, 2020.
- 10) Pasqualini, V., Derolez, V., Garrido, M., Orsoni, V., Baldi, Y., Etourneau, S. and Leoni, V.: Spatiotemporal dynamics

- of submerged macrophyte status and watershed exploitation in a Mediterranean coastal lagoon: understanding critical factors in ecosystem degradation and restoration, *Ecological Engineering*, Vol. 102, pp. 1-14, 2017.
- 11) Le Fur, I., de Wit, R., Plus, M., Oheix, J., Derolez, V., Simier, M., Malet, N. and Ouisse, V.: Re-oligotrophication trajectories of macrophyte assemblages in Mediterranean coastal lagoons studied from 17-years' time-series, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 608, pp. 13-32, 2019.
 - 12) Philippart, C. J. M., Beukema, J. J., Cadée, G. C., Dekker, R., Goedhart, P. W., van Iperen, J. M., Leopold, M. F. and Herman, P. M.: Impacts of nutrient reduction on coastal communities, *Ecosystems*, Vol. 10, pp. 96-119, 2007.
 - 13) 藤原建紀, 樋口和宏, 藤井智康: 海産生物の生育に必要な水質(全窒素・全リン濃度の下限値)の定量化: アサリおよび生物付着板を用いた現地調査, *水環境学会誌*, Vol. 43(6), pp. 175-182, 2020.
 - 14) 吉村直孝, 上月康則, 村上仁士: 潮間帯付着生物相による海域環境の定量評価指数の提案, *海岸工学論文集*, Vol. 53, pp. 1256-1260, 2006.
 - 15) 矢持進, 新開理絵: 大阪府港湾海域における付着生物の出現特性, *海岸工学論文集*, Vol. 53, pp. 971-975, 2006.
 - 16) 吉田忠生, 鈴木雅大, 吉永一男: 日本産海藻目録(2015年改訂版), *藻類*, Vol. 63, pp. 129-189, 2015.
 - 17) 今原幸光編著: 新装改訂 フィールド版 写真で分かる磯の生き物図鑑, トンボ出版, 279 pp., 2016.
 - 18) 国土交通省近畿地方整備局: 大阪湾環境データベース, 大阪湾環境情報クリアリングハウス, <http://kouwan.pa.kkr.mlit.go.jp/kankyo-db/clearinghouse/clearinghouse.aspx> (参照 2021-5-26)
 - 19) 日本海洋学会編: 海洋観測ガイドライン 第4版, 2018.
 - 20) 馬場将輔: 新潟県産ワカメの生育に及ぼす温度, 光量, 塩分の影響, *海洋生物環境研究所研究報告*, Vol. 11, pp. 7-15, 2008.
 - 21) 江藤拓也, 片山幸恵, 江崎恭志: 2008年から2010年における福岡湾でのノリ, ワカメ養殖の不作要因について, *福岡県水産海洋技術センター研究報告*, No. 22, pp. 33-40, 2012.
 - 22) 日本水産資源保護協会: 水産用水基準 第8版(2018年版), pp. 1-119, 2018.
 - 23) 後川龍男, 中本崇: DIP濃度がワカメ幼体の生長に及ぼす影響, *福岡県水産海洋技術センター研究報告*, No. 25, pp. 11-16, 2015.
 - 24) 山本圭吾: 大阪湾における植物プランクトンの長期変動と有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* の大増殖, *沿岸海洋研究*, Vol. 56(2), pp. 63-72, 2019.
 - 25) 中谷祐介, 西田修三: 大阪湾にみられる残差流系の現況と埋め立てによる流動・水質構造の変化, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 73, No. 2, pp. I_1225-I_1230, 2017.

(Received April 6, 2021)

(Accepted August 17, 2021)

CHANGES IN THE DISTRIBUTION OF INTERTIDAL ATTACHED ORGANISMS OF UPRIGHT STRUCTURES WITH DECREASING NUTRIENTS IN OSAKA BAY

Sosuke OTANI, Junya MIYOSHI, Naotaka YOSHIMURA,
Takayuki KUSAKABE and Yasunori KOZUKI

To clarify the relationship between attached organisms and decreasing nutrients, we investigated attached organisms in the coastal area of Osaka Bay. There was no significant change in the biota, but the number of species of seaweeds in the spring increased in the inner part of the bay, and the number of attached animals in the summer increased south of inner part in Osaka Bay. In addition, the number of attached animal species increased south of inner part at Osaka Bay in summer. Some of the attached organisms have expanded their spatial distribution to the inner part of the Osaka bay. Water quality changes in the coastal areas of Osaka Bay were examined using long-term monitoring data. The results showed that nutrients in the coastal areas of Osaka Bay have decreased since 2000. Distribution of some species that showed characteristic habitat distributions, were analyzed the factors contributing to the distributions, and the results indicated that nutrients contributed to the spring distribution. The results suggest that low nutrient levels in coastal areas of Osaka Bay affect the distribution of attached organisms.