

特集 「快適な都市環境をめざして」

都市臨海部の再生を目的とした干潟創出方法の研究

—大阪湾奥部の物理的攪乱と貧酸素水塊の影響を考慮した人工干潟仕様の選定—



石垣 衛



山本 縁

Research of Tidal Flat Creation for Water-Front Restoration

— Specification of Tidal Flat Considering Sediment Disturbance and Anoxic Water—

Mamoru Ishigaki Yukari Yamamoto

Abstract

Reclamation has been going on in the coastal zone of Osaka Bay during Japan's high-growth period, and has eliminated most of the tidal flats, creating an area in which the natural purifying effect has become insufficient. Restoration of the coastal environment in such areas obviously requires reduction of inflow load, but also necessitates purifying of the water and restoration of the biotic community and the functions of the tidal flats. In this study, with the ultimate objective of restoring the coastal environment of Osaka Bay, test tidal flats were built to evaluate the function of such areas. In the inner reaches of Osaka Bay, currents and waves and other means of physical disruption are minimal, so we focused on the effect that situation would have on our experimental tidal flats.

概要

大阪湾奥に『潮干狩りができる海』を再生することを目的に、西宮市御前浜を対象とした現地調査を行った。調査は、潮干狩りで人気のあるアサリを主な指標種とし、アサリの生息に適した干潟の環境条件を求めた。まず、アサリの生息環境に支配的な水質、底質について調査を行い、水質条件、底質条件とアサリの生息状況との関係を求めた。次に、底質の決定に寄与する波浪等の物理場に注目し、物理場と底質の連関から、物理的攪乱がアサリの生息環境におよぼす影響を評価した。その結果、海域の貧酸素化や物理的攪乱による底質の移動がアサリの生息環境に影響することを導き、アサリの好適な生息場を再生するにあたり、干潟の地盤高の選定および、干潟に作用する物理場を考慮することの重要性を示した。

1. 結論

大阪湾奥の沿岸域では、高度成長期以降の大規模な埋立により多くの浅海域が消失し、直立護岸で囲まれた閉鎖性の強い海域が多数出現した。このような海域では、停滞域が形成され、陸域からの流入負荷が蓄積されることや、浅海域が持つ自然浄化能が低下したことで、過栄養化の海域となっている。大阪湾奥に位置する御前浜は、西宮浜埋立や南芦屋浜埋立等の大規模な埋立が実施されたものの、その存在が市民によって守られ、湾奥に唯一残された貴重な自然海岸である。昨今の自然再生に対する社会動向において、当該海域でも劣化しつつある海浜・干潟の環境を保全・再生する関心が高まっており、多様な生物生息空間の創出や、親水空間の提供などが市民の切実なる願いとなっている。

そこで本研究では、当該海域の夙川河口に位置する干潟をモデルとして、大阪湾奥に『潮干狩りができる海』を再生することを目的とした現地調査を行った。調査に際し、潮干狩りで人気のあるアサリを主な生物指標とし、環境要因である水質および、底質との関係を求めた。さらに、底質の決定に大きな役割を果たす波浪等の物理場に注目し、底質と物理的攪乱の関係を数値解析にて求めることで、物

理場がアサリの生息場におよぼす影響を評価した。更に、評価の結果から大阪湾奥に造成する干潟の最適な仕様を提言した。

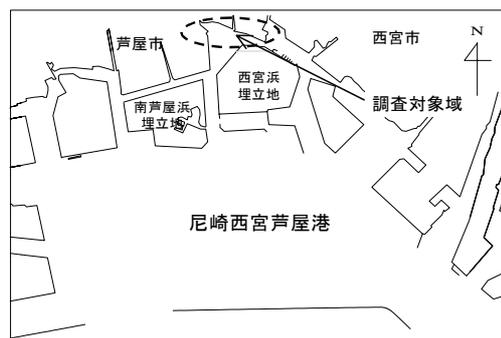


Fig. 1 御前浜における調査地点
Observation Point in Omaehama

2. 現地調査

2.1 御前浜の概要

調査対象域に選定した西宮市御前浜海域をFig. 1に示す。当該域は、尼崎西宮芦屋港（以下、尼西芦港と表現）の奥部に位置しており、周辺を西宮浜埋立地および、南芦屋浜埋立地の2つの埋立地に囲まれることで閉鎖性水域が形成され、過栄養化となる場所である。海域の北側中央部から夙川が流入し、河口の東側に御前浜、西側に香櫨園浜が位置している。また、夙川河口には約4haの砂泥質の干潟が存在する。当該干潟には、砂泥質の干潟における代表的な底生生物のひとつであるアサリ等の二枚貝が生息しており、市民が潮干狩りを楽しむことができる場所となっている。

2.2 調査方法

夙川河口干潟における生物生息環境の把握を目的に、Fig. 1に示す21ヶ所の調査地点にて、地形測量、底質調査および、生物定量調査を実施した。調査時期は、平成15年10月22日～10月24日の3日間とし、底質および生物調査は、Table1に示す項目について分析を行った。

2.2.1 調査地点の選定 調査地点の選定には、まず、当該海浜・干潟域に20m格子間隔で127ヶ所の調査地点を設定した。次に、各地点に対して、山中式土壤硬度計を用いて貫入抵抗値を計測した。ここで、合理的に生物調査地点を選定すべく、計測した貫入抵抗値を用いて、上田ら¹⁾が提唱する『貫入抵抗値を用いた簡便的な干潟底生生物調査地点の選定手法』により、調査地点をFig. 1に示す21ヶ所に絞り込んだ。選定した調査地点は、海浜域と干潟域に区分され、海浜域は調査地点1～4および、調査地点19～21とし、干潟域は調査地点5～18とした。

2.2.2 地形測量 地形測量は、まず、夙川河口干潟域に対して10m格子間隔の120測点を設置し、各測点にて水準測量を実施することで地盤高を求めた。次に、御前浜について、Fig. 1に示す調査地点の2, 3, 4, 19, 20, 21の6地点を測点とし、水準測量を実施することで地盤高を求めた。ここで、基準面は、尼西芦港における潮位観測結果をもとに大阪港工事基準とした。

2.2.3 底質調査 底質調査は、φ15mmのコアサンプラーを用いて各調査地点を採泥し、室内分析によって底質性状を求めた。分析項目のうち、Chl. a, Pheo. について、表層から深さ5mmの試料を用いた。含水比、粒度分布、強熱減量、T-N, TOCについて、表層から深さ5cmの試料を用いて分析した。酸化還元電位は、現地において酸化還元電位計（東亜電波工業株式会社 RM-12P型）を深さ4cmの位置に差込んで計測した。

2.2.4 生物定量調査 生物定量調査は、30cm×30cmのコドラードを用いて、各地点において深さ30cmまで試料採取を行い、1mmの篩をかけたあとに底生生物の定量評価を行った。定量評価に際し、採取した試料を表層下0cm～10cm、表層下10cm～20cm、表層下20cm～30cmの3層に分け、各層について出現種、個体数、湿重量を計数・計量した。

Table 1 調査・分析項目
Survey and Analysis items

調査項目	分析項目
地形測量	夙川河口干潟の地盤高 御前浜、香櫨園浜の地盤高
底質調査	貫入抵抗値, Chl. a, Pheo. 含水比, 粒度分布, 強熱減量, T-N, TOC 酸化還元電位
生物定量調査	出現種, 個体数, 湿重量



Fig. 2 夙川河口干潟の地形形状
Topography of Tidal Flat Syukugawa

3. 調査結果および考察

3.1 夙川河口干潟の地形形状

地形測量から得た夙川河口干潟の形状をFig. 2に示す。図より、当該干潟には夙川中心線から南南西方向に向かう滞筋が存在する。当該滞筋を中心に東側では、最も高い地盤高がOP+0.9mであり、南南東方向に約1/100の勾配で広がる地形を形成していた。一方、滞筋より西側では、最も高い地盤高がOP+1.3mであり、南西方向に約1/25の勾配で広がる地形を形成していた。ここで、測量結果に示すように、現地で確認された干潟の最深部OP-0.74mまでを当該干潟域とすると、尼西芦港の平均朔望干潮面（OP+0.487）において、当該干潟の約1/2の面積が干出することとなる。

3.2 底質調査結果

各調査地点にて採取した底質の分析結果をFig. 3に示す。図は、主な底質分析結果として中央粒径、強熱減量、酸化還元電位、Chl. a濃度を示した。底質の粒径は、干潟域で中央粒径が概ね1mm以下の値であり、シルト・粘土分を含む中砂の砂泥質干潟であった。海浜域の中央粒径は、2mm以上となっており、粒径の粗い礫混じりの砂浜であった。底質の有機分は干潟域で、強熱減量の値が2～4%程度であり、最大でも6%程度に留まっている。海浜域は値が1%未満となっており、有機分をほとんど含まない底質である結果を得た。ここで、底質中のChl. a濃度に着目すると、海浜域では2μg/gと低い値であるものの、干潟域では最大で10μg/gであり、平均値でも約4μg/gと海浜域の2倍の値を示している。特に、干潟域のChl. a濃度が高い地点で強

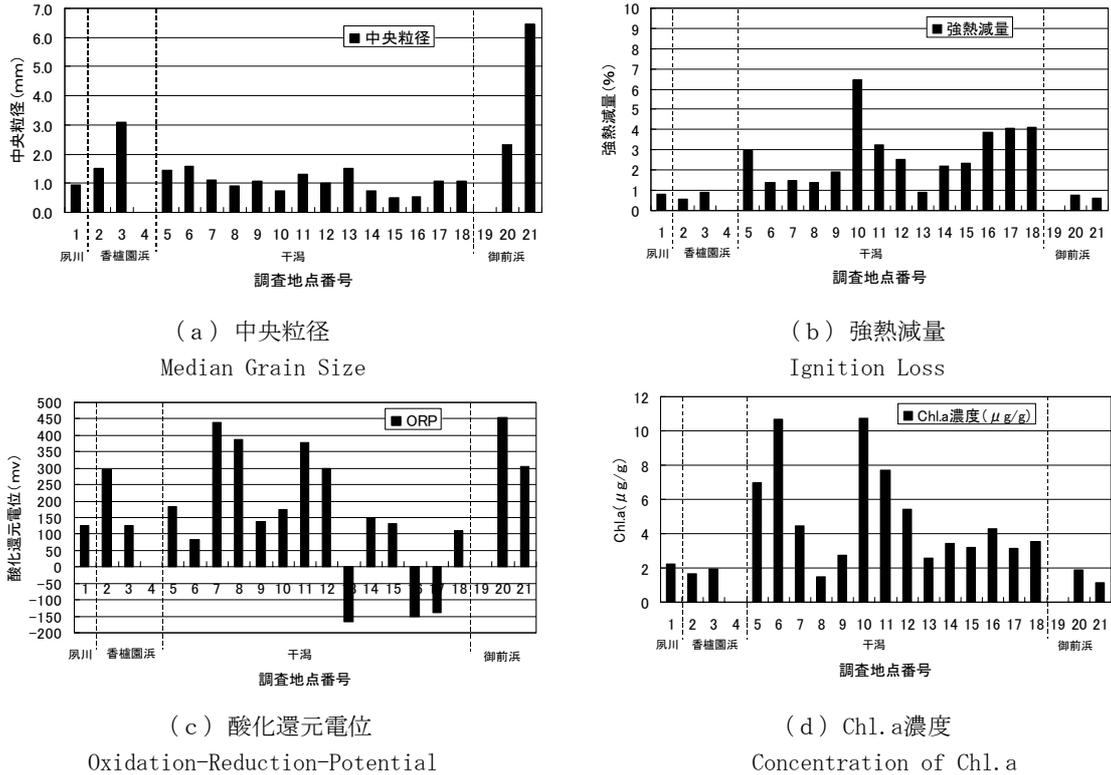
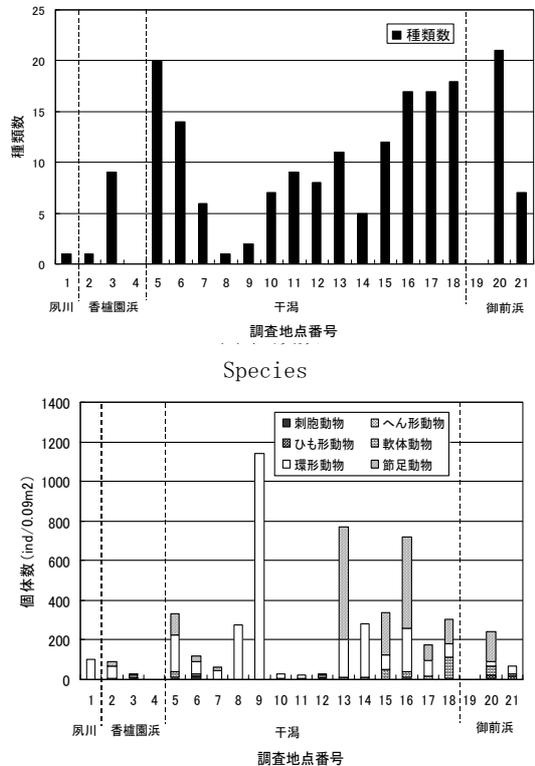


Fig. 3 底質調査結果
Result of Bottom Sediment Survey

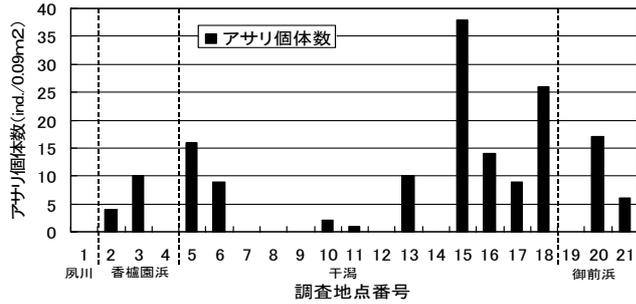
熱減量の値が高い傾向にあることから、当該域の底質に含まれる有機分は底質の藻類由来であると考えられる。このことは、干潟域は隣接する海浜域に比較して一次生産性が高く、有機物が蓄積される系となることで、餌場として生物生息域の形成に大きく寄与するものと推察される。また干潟の酸化還元電位は、調査地点13, 16, 17で還元的な傾向を示すものの、それ以外の地点では酸化しており、底質の劣化による生物生息環境の阻害は小さいと考える。

3.3 生物定量調査結果

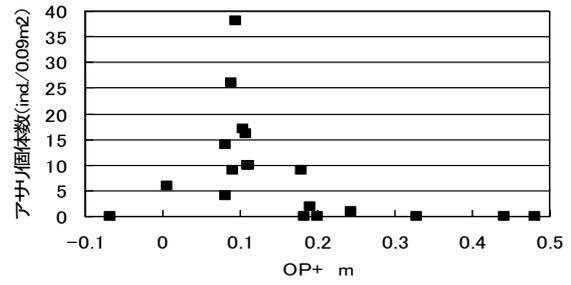
生物定量調査の結果をFig. 4に示す。図は、各調査地点における生物の種類数および、個体数を示したものである各調査地点の結果について、海浜域と干潟域を比較すると、種類数に明確な傾向は認められないものの、個体数では、干潟域が海浜域より比較的大きい値を得ている。これは、前節で示した干潟の底質中の有機物現存量が多く、底生生物の餌場として干潟が機能していることを反映した結果と考える。ここで、干潟域の生物相に着目すると、干潟端部の調査地点5~6, 15~18では、ヨコエビ類や二枚貝類等を中心に多様な生物相であるのに対し、干潟中央部の調査地点7~11ではゴカイ類が圧倒的に優占する単純な生物相となっている。これは、前掲のFig. 2で示した地形形状が示すように、干潟端部では干潟中央部に比較して地盤高の変化が複雑であり、それに応じて当該域に生息する生物も多様となるためと考える。このような地盤高の複雑な変化は、波浪等の物理的攪乱に起因することから、干潟域に作用する物理的攪乱と生物相の関係を評価することが、干潟



(b) 個体数
Population
Fig. 4 生物調査結果
Ecological Survey



(a) 各調査地点におけるアサリの個体数
Population of Little-Clam at Observation Point



(b) 水深
Water Depth

Fig. 5 地形条件とアサリ個体数の関係

Inhabiting situation of Little-Clam Related to Landform

生態系の再生に大きく役立つものと考えた。

4. 干潟に作用する物理的攪乱の影響評価

夙川河口干潟に作用する物理的攪乱が干潟の生物生息におよぼす影響を評価する。ここで、代表的な物理的攪乱として、波浪による底質移動を考えた。また、当該海浜・干潟域の代表的な生物として、潮干狩り等で人気のあるアサリを選定し、物理的攪乱がアサリの生息環境におよぼす影響を評価した。

4.1 アサリの生息状況

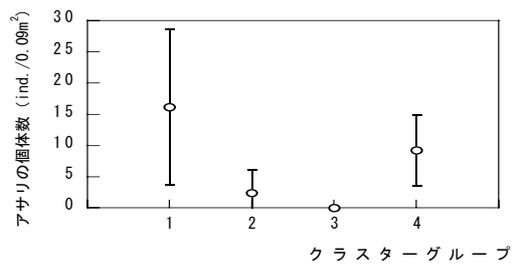
前章で示した底質調査結果および、生物定量調査結果より、当該域におけるアサリの生息と地形条件の関係を求めた。Fig. 5に各調査地点におけるアサリの個体数および、アサリの個体数と最も相関が高かった地盤高についてその結果を示す。干潟域のアサリの個体数は、前述の生物調査結果と同様の傾向を示し、調査地点15, 16, 18で多く、調査地点7~12および14について少ない結果を得た。特に、調査地点7~10, 14については生息が確認されなかった。地盤高とアサリの個体数の関係では、地盤高がOP+0.1m地点の付近にアサリの出現数が高いことが確認された。ここで、アサリの個対数が少ない調査地点について、調査地点8以外は、OP+0.1mより地盤高が高かった。また、調査地点8は滞筋に位置しており、地盤高がOP+0.1mよりも低いことに加え、夙川からの河川水の影響が加味されたと考える。以上の結果より、当該域では地盤高がアサリの生息環境に大きく寄与することが示された。

4.2 調査地点のクラスタ分類

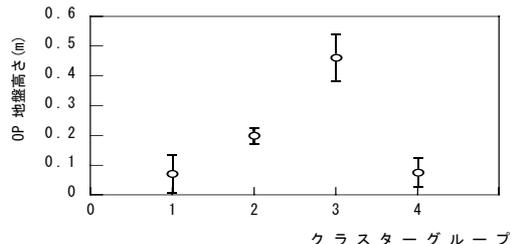
前章で選定した21ヶ所の調査地点をクラスタ分析にて分類した。ここで、波浪による底質移動に支配的な干潟地形を考慮し、クラスタ分析の変数として、『中央粒径』、『河口からの距離』、『地盤高』を選択した。クラスタ分析は、平方ユークリッド距離によるWard法を用い、その結果からTable2に示すGrp. 1~Grp. 4のクラスタグループを得た。ここで、Grp. 1~Grp. 3は干潟域に含まれ、Grp. 1が

Table 2 クラスタ分析によって分類された調査地点
Distribution of Observation Point

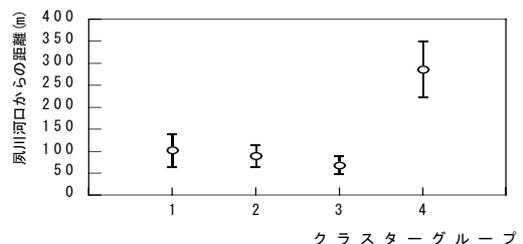
クラスタグループ	調査地点番号
Grp. 1 (干潟端部)	5, 6, 13, 17, 18, 15, 16
Grp. 2 (干潟中央部)	10, 14, 11, 12
Grp. 3 (河口部直近)	7, 8, 1, 9
Grp. 4 (海浜部)	3, 20, 2, 21



(a) アサリの個体数
Population of Little-Clam



(b) 水深
Water Depth



(c) 河口からの距離
Distance from river mouth

Fig. 6 クラスタ解析結果
Result of Cluster Analysis

干潟端部, Grp. 2が干潟中央部, Grp. 3が河口部直近に位置する結果を得た。また, Grp. 4は御前浜, 香櫛園浜の海浜域に位置する結果となった。

4.3 干潟地形に対する河川の影響

各クラスターグループとアサリの個体数および, 地盤高, 河口からの距離の関係をFig. 6に示す。アサリはGrp. 1で最も多く出現し, Grp. 3では出現が確認されなかった。干潟の地盤高は, Grp. 3で最も高く, 河口から離れるに従って地盤高は低くなる傾向にある。この結果から, 河口部からの距離に応じて底質の堆積過程が違ふことが推察され, アサリの生息に寄与する地盤高の形成に河川が大きく影響することが示唆される。

4.4 干潟に作用する波浪の影響

前述までの現地調査結果より, 当該域では地盤高がアサリの生息に大きく寄与する結果を得ている。ここで, 地盤高は波浪による底質の攪乱の大きさに高い相関を持つことから, 当該域の波浪による底質攪乱がアサリの生息に及ぼす影響を評価することが重要と考える。ここでは, 底質の移動を物理的攪乱の指標とし, その大きさとアサリの個体数の関係について数値解析を用いて評価した。解析に用いる波浪条件は, 全国港湾海洋波浪情報網より参照し, 神戸港にて年間計測されたデータ(2001年)の平均値を採用した。ここでは, 波高0.302m, 周期3.2秒を設定した。

波浪解析結果より, 当該海浜・干潟域に作用する攪乱の指標としてシールドズ数(Shields Number)を算出し, 各調査地点におけるアサリ個体数との相関をFig. 7に示した。図より, 当該干潟では, シールドズ数が0.05近傍をピークにアサリ個体数が最も大きな値となる結果を得た。ここで, Breusers²⁾らが実施したシールドズ数とレイノルズ数(Reynolds Number)の関係から底質の移動を定性的に求めた室内実験結果をFig. 8に示す。当該実験結果は, 底質の初期の移動現象を分類したもので, いわゆる初期移動限界～全面移動限界に至る底質の移動現象をやや詳細に求めた結果である。図中に示した●印は, 実験より求めたシールドズ数とレイノルズ数の相関を示したものであり, 図中の破線(……)で示したLine1～Line3は, 底質の移動現象について以下に示す定性的な意味を示している。

- Line1: 底質移動が数箇所で見られる
- Line2: 底質は, ほぼ全域で頻りに移動する
- Line3: 全般的な輸送状態

波浪解析で得た各調査地点のシールドズ数とレイノルズ数について, 先に示したクラスターグループごとに平均値を求め, 図中に描画したところ, Grp. 1は, Line 2上に位置する結果を得た。また, Grp. 2, Grp. 3は, Line 2以下に位置したことで, Grp. 1に比較して底質の動きは小さく, Grp. 4はLine 1以下にあることから底質はほとんど動かないと考えられる。この結果, 当該域の底質が動く大きさ・頻度について各グループ間でGrp. 1>Grp. 2≧Grp. 3の関係をj得た。このような底質の移動は, その大きさによって微少

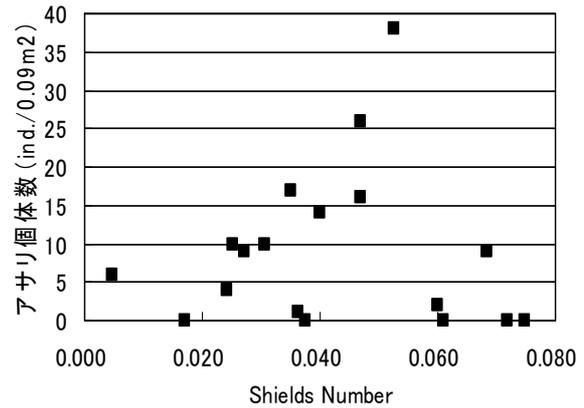


Fig. 7 シールドズ数とアサリ個体数の関係
Inhabiting situation of Little-Clam Related to Shields Number

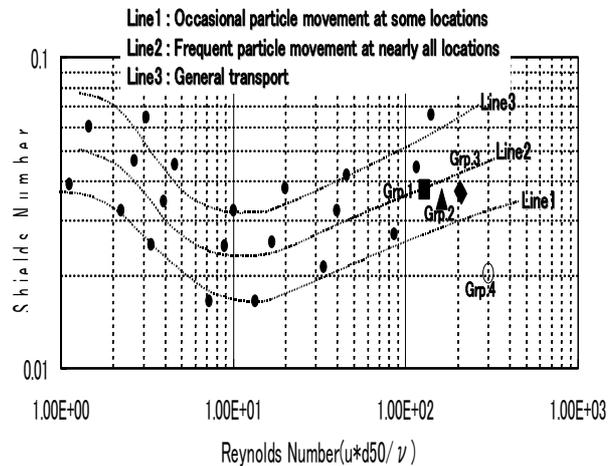


Fig. 8 底質の移動に関する定性的評価
Qualitative Estimate of Sediment Transport

地形変化を招き, 特定の生物種が優占することを防ぐことで, 生物多様性を高めることが知られている。前掲のFig. 4では, Grp. 1に属する調査地点15～18の種類数は大きい傾向にあり, 当該地点での攪乱の程度が生物生息場に適するものと考えられる。

5. 干潟に作用する貧酸素水塊の影響

御前浜を含む西芦港奥部は, 閉鎖性の強い海域であり, 夏場に底層の溶存酸素濃度が低下することにより, 貧酸素水塊が形成される場所となっている。このような, 貧酸素水塊の形成は, 海域の底生生物の生息環境を著しく破壊することで, 生物多様性を低下させる大きな要因となっている。ここでは, 貧酸素水塊の形成がアサリの生息場におよぼす影響を把握することを目的に, 当該域の貧酸素水塊の形成過程を連続調査によって確認し, 潮下帯におけるアサリ生息状況との関係を評価した。

5.1 調査方法

尼西芦港の海浜・干潟域における二枚貝の生息環境把握を目的に、Fig. 9に示す調査地点にて水質調査および、生物定量調査を実施した。

5.1.1 水質調査 水質調査は、Fig.9に示す▲の地点にて、水温・塩分・D0・Chl.aを水深方向に50cm間隔で機器計測した。調査期間は平成17年5月25日～11月30日まで、およそ1週間から2週間に1回の頻度で合計15回の観測を実施した。

5.1.2 アサリ定量調査 生物定量調査は、Fig. 9に示すLine Aの測線において、調査地点として4つの水深（OP+0.5m, OP±0.0m, OP-0.5m, OP-1.0m）を設けた。各調査地点において30cm×30cmのコドラードを用いて、30cmまで試料採取を行い、5mmの篩をかけた後に底生生物の定量評価を行った。ここで、試料採取は同一調査地点にて3検体を採取し、各検体について出現種、個体数、湿重量を計数・計量した後、平均値を求めた。調査期間は平成16年6月～11月とした。

5.2 調査結果

5.2.1 アサリの生息状況 Fig. 10, にアサリの個体数の経時変化を示す。図より、御前浜におけるアサリの個体数は、6月～7月では各水深とも顕著な増減はなく横ばい状態であった。8月以降に各水深で大幅な減少傾向が見られ、10月には個体数で10 ind./0.1m²以下の値を得た。このように、アサリの個体数8月以降にOP-0.5m以深で減少傾向に転じており、当該域における夏場の底層の環境要因がアサリの生息に大きく影響を及ぼすことが示唆される。

5.2.2 海浜・干潟への貧酸素水塊の影響 Fig. 9にて示した調査地点で計測したD0鉛直分布の経時変化をFig. 11に示す。御前浜では、概ね調査期間を通じて底層域にD0濃度が3mg/l以下の貧酸素水塊が存在していた。10/4には、各地点でアサリの生息調査を行ったOP-1.0m以浅まで貧酸素化している結果を得ている。特に5/25, 6/14, 11/30にもOP-1.0m～OP±0.0mの範囲で貧酸素化しており、アサリの生息環境に対して貧酸素水塊の影響が最も強い時期であった。このことが、夏場以降にアサリの個体数・湿重量が大きく減少することに寄与していると考えられる。

6. 結論

大阪湾奥の海浜・干潟域を対象とした水質調査、底質調査および、生物定量調査を実施した。調査結果から、地形特性に由来する底質、貧酸素水塊と生物相の関係を明らかにした。特に、アサリの生息環境について、当該域ではアサリの個体数に対して地盤高が大きな環境要因であることが分かった。次に、当該干潟域に作用する代表的な物理場として波浪を選択し、波浪による物理的攪乱が海浜・干潟域の底質の移動におよぼす影響を評価した。その結果、底質がある程度移動する場所に生物の出現種が多くなる傾向が確認でき、アサリの個体数も大きくなる結果を得た。



Fig. 9 水質調査地点および生物調査地点
Observation Point of Water Quality
and Ecological Survey

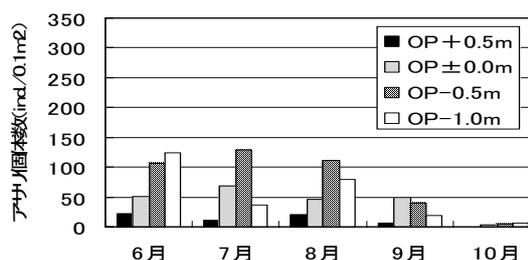


Fig. 10 アサリ個体数の経時変化
Time Series of Little-Cram Population

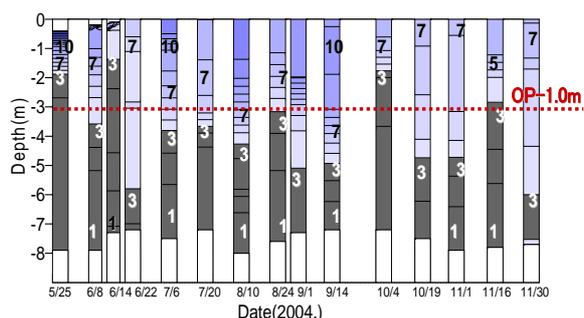


Fig. 11 干潟域のD0鉛直分布の経時変化
Vertical distribution of D0 Concentration

以上の結果から、湾奥におけるアサリの生息環境要因を整理し、今後の干潟の再生に際し、物理的攪乱や貧酸素水塊の影響を充分考慮することの必要性を導いた。ここでは、大阪湾奥の閉鎖性水域に干潟造成仕様として、地盤高がOP±0.0m～+0.1mの干潟面積を広く設定することで、貧酸素水塊の影響が小さく、二枚貝の生息に適した場が創出できる可能性を示した。

参考文献

- 1) 上田薫利・上月康則・倉田健悟・大谷壮介・桂 義教・東 和之・堅田哲司・村上仁士 (2003): 貫入抵抗値を用いた簡便的な干潟底生生物調査地点の選定手法に関する基礎的研究, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1056-1060
- 2) Breusers, H.N.C. and Schukking, W.H.P. (1979): Initiation of Motion of Bed Material (in Dutch), Delft Hydraulics Laboratory, Report S159-I