

# 尼崎港人工干潟におけるアサリ定着を目指した 順応的管理に関する実践的研究

ADAPTIVE MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE SETTLEMENT OF SHORT-NECKED CLAM ON A TIDAL FLAT CONSTRUCTED IN PORT OF AMAGASAKI

村上晴通<sup>1</sup>・中村由行<sup>2</sup>・細川真也<sup>3</sup>

Harumitsu MURAKAMI, Yoshiyuki NAKAMURA and Shinya HOSOKAWA

<sup>1</sup>正会員 修(工) 若築建設株式会社 技術研究所 (〒153-0064 東京都目黒区下目黒2-23-18)

<sup>2</sup>正会員 工博 (独) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>3</sup>正会員 修(工) (独) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

We report a series of adaptive management approach to a tidal flat constructed in Port of Amagasaki. The management goal setting was to realize a tidal flat rich in bivalve *Ruditapes philippinarum*. Continuous monitoring after the construction revealed that the achievement of the initial goal was violated by the mat formation of *Musculista senhousia*. Less turbulence was suggested to cause the mat formation, from the analysis based on the field monitoring and numeric calculation. Therefore, as the countermeasure, structures promoting the turbulence were set up on the sediment surface. It succeeded in a decline of the abundance of *M. senhousia* around the structures. However, the number of *Mytilus galloprovincialis* that favors hard substrate has increased around the structures, whereas the number of *R. philippinarum* was not necessarily increased. Simultaneous use of other techniques such as mechanical agitation of sediment might be necessary to increase the number of *R. philippinarum* in the future.

**Key Words** : Constructed tidal flat, adaptive management, ecological restoration, mat of *Musculista senhousia*, *Ruditapes philippinarum*

## 1. はじめに

環境修復を主目的として人工的に干潟を造成する事業が各地で展開されている。しかし、実状としては、計画的な事後管理が行われていないため、人工干潟の造成事業は必ずしも当初の設定目標を達成しているわけではない。今後の干潟造成に当たっては、自然環境の変化や不確実性の影響を考慮しつつ、造成以降においても必要に応じた手直しを行う必要があるであろう。このような人工干潟の管理方法を順応的管理と呼ぶ。なお、順応的管理の重要性は、自然再生推進法の中でも謳われている。

順応的管理は狭義と広義の概念で分類することが出来る。「狭義の順応的管理」の概念は、①事業実施以降の継続的な自然環境変化のモニタリング、②モニタリングデータを基にした評価・検討、③評価・検討結果の当該事業へのフィードバック、の3段階で構成される<sup>1)</sup>。この「狭義の順応的管理」の実践例としては、大阪南港野鳥園が先駆的事例として挙げられる。大阪南港野鳥園では、造成後に劣化した底質環境の改善を目的に海水導入

管を設置し、外海水との循環を促進するといった事後管理を実践している<sup>2)</sup>。

一方、「広義の順応的管理」の概念とは、科学的に未解明な環境条件の変動や社会的要請の変化等により変化する環境保全・再生の目的に対してどうやってアプローチするかという手段全体を指すものである。すなわち、「広義の順応的管理」は、単なる管理の一手法というよりは、事業全体の目標設定から計画・設計、施工及び事後管理までを含んだ包括的な一連の取り組みとして捉えられ<sup>3)</sup>、今後自然修復をより確実に実現するために必要なシステムのアプローチと考えられる。この「広義の順応的管理」の実践例としては、フランスのル・アーブル港環境修復事業<sup>3)</sup>やアメリカのソノマ・ベイランズにおける湿地修復事業<sup>1)</sup>など海外の事例が挙げられる。前者においては、事業の計画段階から地域住民やNGOらを含めた意見交換の場を設け、広い関係者間における合意形成のもとに事業の実施がなされている。後者においては、地形や生態系の安定には造成から10年以上かかるものと考え、計画的なモニタリングにより地形、水理、生物遷

表-1 本研究の構成要素とその実施期間

年	本研究における順応的管理手法の構成要素							
	①		②		③		④	
	目標の設定	計画・設計	施工	モニタリング	評価	問題点の検討	フィードバック	
2001	■	■						
2002			■	■				
2003					■	■		
2004							■	
2005								■

注) ■:実施期間

移などの検証を行っている。この様に海外の事例はいくつか見られるが、現在までのところ、我が国沿岸域における明示的な順応的管理の実践例は見あたらない。

以上のような背景から、本研究では尼崎港内に造成された干潟実験施設（以降、尼崎港人工干潟と記す）を対象に、干潟の目標設定段階から「広義の順応的管理」を取り入れ、その適用性や問題点を検討することとした。表-1に、本研究における順応的管理手法の構成要素とそれらの実施期間を示す。本研究は、「広義の順応的管理」の一連の手順と考え方を踏まえ、①干潟の目標設定と設計・施工、②モニタリング・評価、③問題点の検討、④フィードバック、の4つの枠組みから構成されている。

## 2. 尼崎港人工干潟の目標設定と設計・施工

尼崎港は大阪湾の奥部に位置する極めて閉鎖的な海域である。このような尼崎港において、港内の環境修復を目的とした各種技術の実証実験が行われ、それら各要素技術の最適な組合せとその環境修復効果を検証するプロジェクトが2001～2003年度に実施された<sup>4)</sup>。尼崎港人工干潟は、このプロジェクトにおいては港内の水質浄化を担う場として位置づけられ、2002年3月に造成された。一般に、干潟における水質浄化機能の主要な担い手として二枚貝が挙げられる。また、尼崎港西隣の西宮港地区に整備された人工海浜ではアサリなどの有用二枚貝の生息が確認され、富栄養化が進行した大阪湾奥部においてもアサリの加入・定着が期待された。そこで、尼崎港人工干潟の造成目標は、アサリなどの有用二枚貝が安定して生息する干潟とし、設計・施工はアサリの安定的な定着・生息を考慮して実施された。

図-1に尼崎港人工干潟の位置図と平面図を示す。尼崎港人工干潟の造成位置は、港内の西南隅隅角部とした。干潟勾配は、砂村の式<sup>5)</sup>から地形の侵食・堆積の検討を行い、1/46に決定した。造成材はアサリの生息を考慮し、中央粒径0.56mm、泥分0.8%の砂質土とし、また、地盤高は干潟面積の約1/3が潮下帯になるように設定した。

## 3. 底質環境とマクロベントスの出現特性(モニタリング・評価)

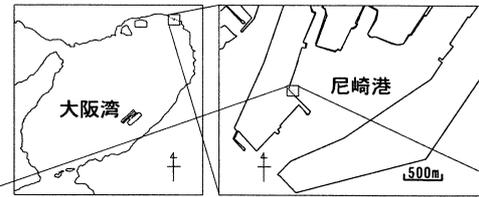


図-1 尼崎港人工干潟の位置図と平面図

表-2 定期調査の項目と実施日

項目		実施日
地盤高		2002年3,4,5,7,8,11月, 2003年4,6,10,12月, 2004年2月
底質	粒度	粒度は2002年4,5,7,8,9,10,11,12月, 2003年1,2,11月, 2005年10月. 強熱減量, TOC及びAVSは2002年5,8,11月, 2003年2,11月, 2005年10月(AVSの測定を除く).
	強熱減量	
	全有機炭素量TOC	
	酸揮発性硫化物AVS	
マクロベントス	種類数, 個体数, 湿重量	2002年4,5,8,11月, 2003年11月, 2004年2月, 2005年7月

### (1) 現地調査方法

現地調査として、造成当初からの継続的な定期調査と2003年8月における集中調査を行った。定期調査においては、造成からの地形、底質およびマクロベントスの変遷に注意して表-2に示す調査項目を実施した。集中調査においては、定期調査の項目に加え、イガイ科のマット化の平面分布調査と石膏球を用いた底面付近の流況調査を実施した。各調査項目の調査地点を図-1中に示す。

### (2) 現地調査結果

図-2に、C測線上における地盤高の経時変化を示す。潜堤から約0～6mの範囲と潜堤から約21～27mの範囲では、造成直後の2002年3月から同年5月にかけて10～20cm程度の侵食が発生したが、それ以降は2004年2月までほとんど変化せず安定している。潜堤から9～18mの範囲では、ほぼ変化が認められない。

図-3は、St. 2, 4におけるマクロベントスの個体数の経時変化を示したものである。この図から、二枚貝は造成から5ヶ月目の2002年8月に初めて出現し、以降は優占していることが分かる。しかし、その多くはホトトギスガイを中心としたイガイ科であり、2002年および2003年の夏季にホトトギスガイを中心としたイガイ科のマット化の発生が確認された。ホトトギスガイは高密度に生息すると底表面をマット状に覆うため、アサリなどの有用二枚貝の生息を阻害することがある<sup>6)</sup>。

図-4に、2003年8月におけるイガイ科とアサリの湿重

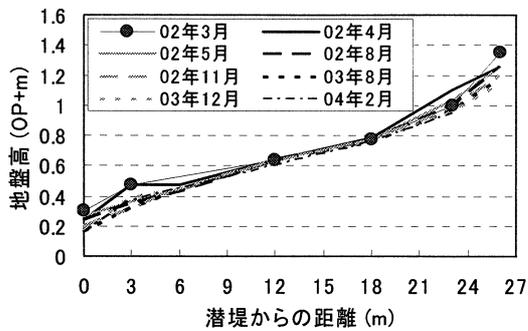


図-2 地盤高の経時変化

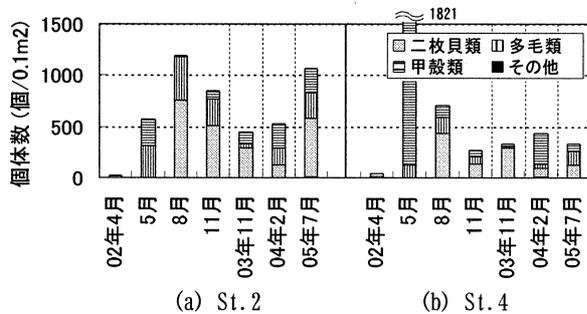


図-3 マクロベントスの個体数の経時変化

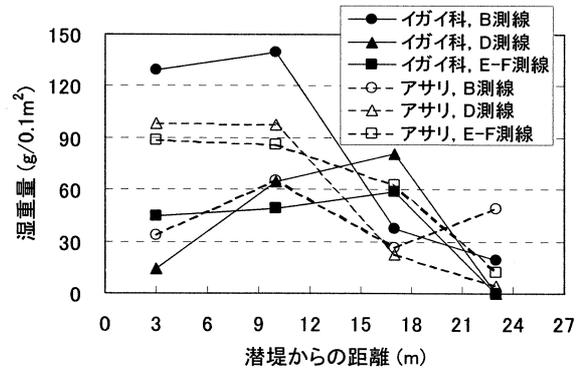


図-4 イガイ科とアサリの湿重量の関係<sup>7)</sup>

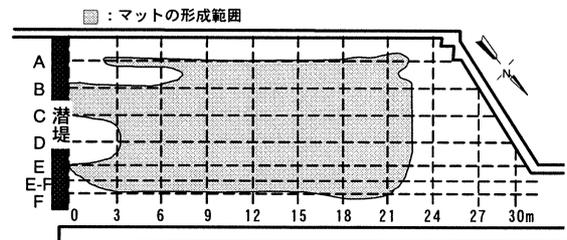


図-5 マット化の平面分布<sup>7)</sup>

量の関係を示す<sup>7)</sup>. この図をみると、イガイ科の湿重量は、潜堤から3, 10m地点におけるB測線上で特に大きい。一方、アサリ湿重量は、同じ3, 10mにおいて、D, E-F測線上よりもB測線上で小さく、イガイ科が高密度に生息する場所で、アサリの湿重量は減少する傾向を示した。また、イガイ科湿重量の分布は酸揮発性硫化物 (AVS) の分布と相関性が良いことが分かった<sup>7)</sup>. イガイ科湿重量が最大値を持つ地点でのAVSは、水産用水基準によるベントスの生息に影響を与えると考えられる0.2mg/gを超えていた。

図-5に、イガイ科のマット化の平面分布調査の結果を示す<sup>7)</sup>. マットは干潟のほぼ全域で形成されているものの、潜堤背後の一部と潜堤から約23mより岸側の領域では形成されていない。また、石膏球を用いた底面付近の流況調査から、これら潜堤背後と岸側の領域では相対的に物理的攪乱が強いことが確認された<sup>7)</sup>.

### (3) 調査結果の評価および考察

尼崎港人工干潟の地形は、一部で20cm程度の侵食が発生したものの、全体的に変化は小さく当初目標に適った地形条件が継続的に維持されている。生物の定着状況では、ホトトギスガイを中心としたイガイ科が干潟上をマット状に覆い、アサリの生息を阻害するという問題点が抽出された。そのため、「アサリなどの有用二枚貝が安定して生息する干潟」といった当初目標が一部で損なわれていた。

一方で、ホトトギスガイのマット化は、相対的に物理的攪乱が強い潜堤背後領域と岸側領域で抑制されていたことから、物理的攪乱を促進することでホトトギスガイのマット化を抑制できる可能性が示唆された。

## 4. 物理環境から見たホトトギスガイの生息環境についての検討(問題点の検討)

### (1) 尼崎港人工干潟に作用する主要な外力

尼崎港人工干潟に作用する主要な外力の検討として、入射波と潮位の現地観測を実施した。波浪観測から、尼崎港人工干潟は通常時静穏(有義波高 $H_{1/3}=4.5\text{cm}$ , 有義波周期 $T_{1/3}=1.8\text{s}$ )であるものの、船舶の往来があると、比較的波高の大きな航跡波が入射することが分かった。航跡波の波高は大きなもので20cm程度、周期は2~4s程度であった<sup>7)</sup>. また、測定した潮位の時系列データから干潟上で発生する潮流を計算したところ、流速は最大で0.2cm/s程度と非常に小さいことが分かった。

### (2) 潜堤背後領域における物理環境

潜堤背後領域を対象に流動場の数値計算を行った<sup>7)</sup>. 計算は、「CADMAS-SURF V4.0」<sup>8)</sup>を用いて、潜堤から10.5mまでの領域を対象に実施した。波浪条件は、航跡波の条件(波高20cm, 周期3s)とした。図-6に、摩擦速度 $U_*$ と渦度絶対値 $|\zeta|$ の最大値の計算結果を示す。この図より、 $U_*$ は、潜堤から約0~1mの領域では沖側に向けて増加傾向を示すが、この領域での $U_*$ の最大値は、潜堤から約10m地点での値と同等であることが分かる。一方、渦度は、潜堤背後の領域において、それより岸側の領域に比べ非常に大きな値を持つことが分かる。

### (3) 岸側領域における物理環境

航跡波の波浪条件(波高20cm, 周期3s)を用いて、月別平均水深での干潟内における砕波点を計算した<sup>7)</sup>. 砕波点は合田(1970)の砕波指標<sup>9)</sup>を用いて求めた。計算の結果、砕波点は月毎に変動するが、年間を通して潜堤か

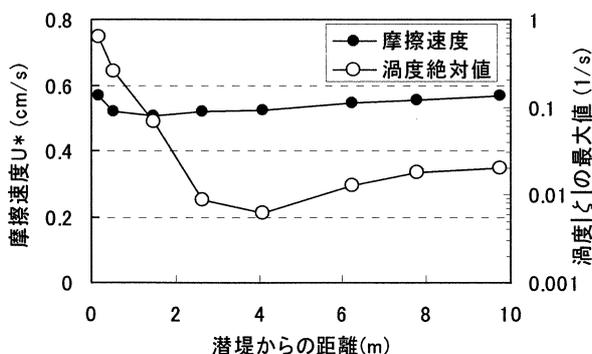


図-6 摩擦速度と渦度絶対値の最大値

ら約22~27mに位置することが分かった。

#### (4) 物理環境とホトギスガイのマット化について

航跡波の波浪条件で流動場の数値計算を行ったところ、渦度は潜堤背後の領域で特に大きな値を持つことが明らかとなった。そのため、潜堤背後領域でホトギスガイのマット化が抑制される一因として、渦による物理的攪乱の影響が示唆される。一方、航跡波の碎波帯はホトギスガイのマット化が抑制されている潜堤から約22~27mの岸側領域に位置していることが分かった。これより、碎波による物理的攪乱がホトギスガイのマット化を抑制する原因の一つとして考えられる。

### 5. 順応的管理としてのホトギスガイのマット化対策(フィードバック)

#### (1) マット化対策メニューの検討

前章までの検討を踏まえて、ホトギスガイのマット化は物理的攪乱によって制御することとした。マット化の対策メニューとしては、①耕耘、②渦や乱れの発生を促進する構造物の設置、③碎波点の移動、の3点が考えられた。これらメニューについて、他生物への影響及び経済性の2項目について比較検討を行った。検討結果を表-3に示す。メニュー①の耕耘は、地盤を直接攪拌するため、ゴカイ等の他生物の生息にも悪影響を与える。メニュー②は干潟内に構造物を設置し、渦や乱れの発生を促す方法である。構造物周辺では流動環境が変化するため、ホトギスガイ以外にも生息阻害を受ける種が現れるものと懸念される。設置構造物は木杭など安価な材料が考えられ施工も容易であるため、対策費用は他メニューに比べ経済的である。メニュー③は、干潟内に潜堤を建設する等の地形改良を施し、碎波点を移動させる方法である。対策費用は比較的に高価となる。

以上より総合的に評価して、順応的管理としてのホトギスガイのマット化対策は、②の渦や乱れの発生を促進する構造物を干潟内に設置する方法で行うこととした。

#### (2) マット化対策の現地実験

##### a) 実験方法

ホトギスガイのマット化対策として、2004年6月に

表-3 対策メニューの検討結果

メニュー	検討項目		総合評価
	他生物に与える影響	経済性	
① 干潟耕耘	他生物の生息を阻害する。	× 比較的高価となる場合がある。	△ △
② 渦や乱れの発生を促進する構造物の設置	生息阻害を受ける生物種が現れるものと懸念される。	△ 経済的である。	○ ○
③ 碎波点の移動	生息阻害を受ける種が現れると懸念される。	△ 比較的高価になると考えられる。	× △

表-4 矩形構造物と円柱形構造物の寸法及び材質

	寸法 (mm)	材質
矩形構造物	W1800×D75×H75	鉄筋コンクリート
	W1800×D75×H150	ブロック
円柱形構造物	φ165×H400	塩化ビニル製管

表-5 各実験エリアの名称

名称	内容
LO	矩形構造物(高さ:75mm)エリア
HO	矩形構造物(高さ:150mm)エリア
C	円柱形構造物エリア
RO	矩形構造物エリアに対するリファレンスエリア
RC	円柱形構造物エリアに対するリファレンスエリア

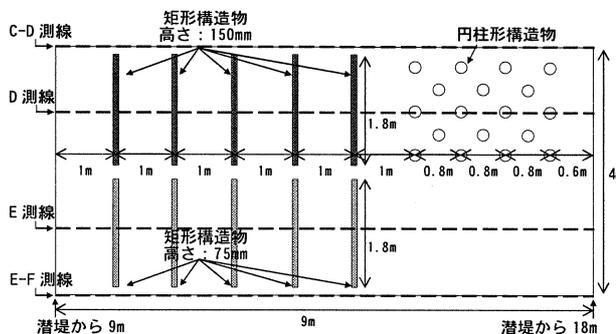


図-7 構造物の設置位置

実験的に干潟内へ構造物を設置した。設置する構造物の形状は矩形と円柱形の2種類とした。寸法及び材質は表-4の通りである。図-7に、構造物の設置位置を示す。矩形構造物と円柱形構造物は、潜堤から9~18m、C-D測線からE-F測線までのエリア内に設置した。また、それぞれの構造物設置エリアの既設護岸側には、リファレンスエリアを設けた(リファレンスエリア:潜堤から9~18m、B測線からC測線までのエリア)。なお、本論では、各エリアを表-5の記号で表す。

#### b) モニタリング方法

マット化の抑制効果を検証するため、マット化が進行する夏季を中心として、2004年は7~10月、2005年は6~10月に1回/月の頻度でイガイ科とアサリのサンプリングを実施した。LO、HOエリアでは構造物から10、20、50cmの地点、Cエリアでは構造物から10、30cmの地点を基準にサンプリングした。また、構造物による物理的攪乱の発生状況の調査として、2004年10月に流速測定を行った。流速は、HOエリア及びROエリアの底面上75mmの地点にお

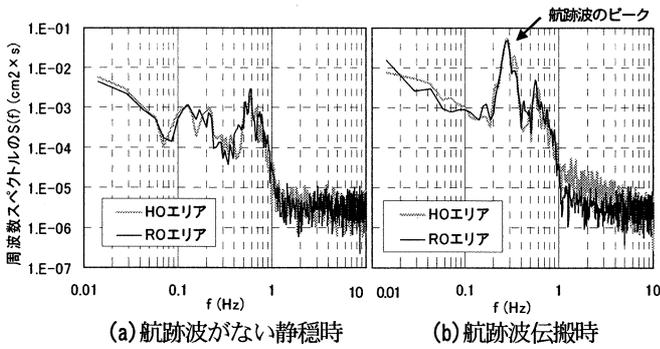


図-8 HOエリアとROエリアの周波数スペクトル

いて測定した。

### (3) モニタリング結果

#### a) 矩形構造物エリア (HO) における流況の特性

図-8に、HOエリアとROエリアにおける周波数スペクトル $S(f)$ の解析結果を示す。(a)は航跡波がない静穏時における $S(f)$ 、(b)は航跡波伝搬時における $S(f)$ である。これらの図から、静穏時の場合、HOエリアとROエリアにおける $S(f)$ はほぼ一致していることが分かる。一方、航跡波伝搬時では、 $f=0.3\text{Hz}$ 付近で航跡波に相当するスペクトルのピークが認められる。また、 $f=1\sim 4\text{Hz}$ 付近の高周波数帯において、HOエリアの $S(f)$ がROエリアの $S(f)$ よりも大きい。このエネルギーの差は、主に矩形構造物によって形成された渦や乱れに相当するものと考えられる。

#### b) 構造物エリアとリファレンスエリアにおけるイガイ科とアサリの個体数の比較

実験期間中にイガイ科はホトトギスガイの他にもムラサキガイとコウロエンカワヒバリガイが確認された。

図-9に、L0エリアにおけるこれらイガイ科3種とアサリの個体数の結果をROエリアでの結果と併せて示す。

ホトトギスガイは、実験が開始した2004年においてはそれまでの年に比べ個体数が少なく、干潟上でも明確なマット化は確認できなかった。これは、2004年においては例年になく台風が多く近畿地方へ来襲したことが影響しているものと考えられる。2005年6、7月では、実験開始前と同程度の個体数が確認され、マット化の進行も確認された。2005年7月において、L0エリアとROエリアにおけるホトトギスガイの個体数を比較すると、L0エリアの方が少ない。2005年7月以降においては、干潟全域で二枚貝の大量死が発生し、これに伴いホトトギスガイの個体数は大きく減少した。次に、ムラサキガイは、2002年、2003年ではほとんど確認されていなかったが、2004年から認められるようになり、2005年6、7月では非常に多くの個体数が確認された。この期間では、ROエリアよりもL0エリアで多い。また、L0エリアにおける個体数は、他のイガイ科の個体数に比べて非常に多い。2005年7月以降においては、ホトトギスガイと同様に、個体数は大きく減少した。コウロエンカワヒバリガイは、ホトトギスガイとムラサキガイと異なり、2005年7月以

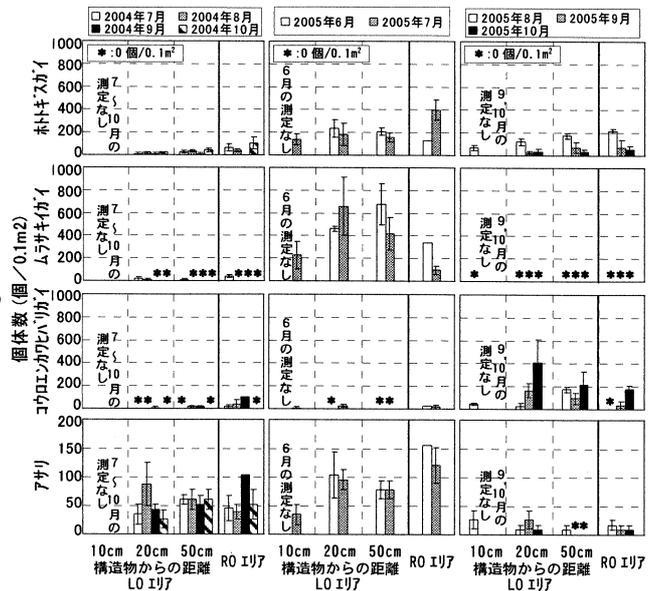


図-9 イガイ科とアサリの個体数 (エリア:L0)

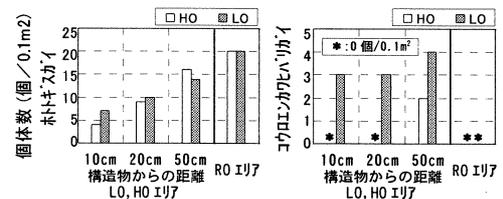


図-10 二枚貝大量死直後の新規加入群の個体数 (エリア:HO, LO)

降において多く出現した。この期間における個体数は、ROエリアよりもL0エリアで多い。アサリは、イガイ科のマット化が進行した2005年6、7月ではROエリアよりもむしろL0エリアで少ない。2005年7月以降においては、ホトトギスガイ、ムラサキガイと同様に、個体数が大きく減少した。以上のような、イガイ科3種とアサリのL0エリアとROエリアでの個体数の大小関係は、HOエリアとROエリアとの間でもほぼ同様に認められた。また、CエリアとRCエリアにおいても概ね同様の関係が確認された。

図-10は、二枚貝大量死直後に新規加入した個体群を対象として行ったL0、HOエリアとROエリアでの個体数の比較結果である。データは2005年8月を対象とした。二枚貝大量死直後に干潟へ速やかに加入したのはホトトギスガイとコウロエンカワヒバリガイのみであったため、解析はこれら2種を対象として行った。なお、新規加入個体群は、二枚貝大量死発生前後での殻長組成の変化から判定した。ホトトギスガイはROエリアよりもL0、HOエリアで少なく、コウロエンカワヒバリガイは逆にL0、HOエリアで多くなる傾向を示している。ホトトギスガイの傾向は、マット化が進行した2005年7月の全個体を対象とした傾向と同様である。

#### (4) 構造物の効果について

ムラサキガイとコウロエンカワヒバリガイは、構造物周辺で増加する傾向を示した。これらの種は、コンク

リート護岸などの硬質基盤で大量に生息することが知られているため<sup>10)11)</sup>、構造物の設置が結果として発生を促したものと考えられる。ムラサキイガイが優占化した2005年7月において、当初に問題視していたホトトギスガイは、構造物の周辺で減少する傾向を示した。また、二枚貝大量死直後の加入個体群を見ると、ホトトギスガイは構造物に近いほど個体数が少なかった。構造物周辺でのホトトギスガイの現存量は、他のイガイ科二枚貝の現存量に関わらず少なかったことから、構造物による物理的攪乱がホトトギスガイの生長に影響していること、特にその新規加入を抑制していることが示唆される。

アサリは、イガイ科のマット化が進行した2005年6、7月においては、リファレンスエリアよりも構造物エリアで少なくなった。この期間においては、ホトトギスガイは構造物周辺で減少傾向を示したものの、ムラサキイガイが構造物周辺で大量に発生したため、イガイ科全体の個体数は構造物周辺でリファレンスエリアよりも多くなった。そのため、アサリが構造物エリアで減少したのは、イガイ科による影響であると考えられる。

今後、アサリの安定した生息を目標とした干潟造成を行う場合、ムラサキイガイ等の硬質基盤を選好する種も考慮に入れた対策が求められる。これらは、波当たりの強い防波堤などにも高密度に生息しているため、物理的攪乱への耐性は強いと推測される。そのため、本章(1)節で検討したような別の手法で対策を講じる必要がある。

## 6. おわりに

本研究は、尼崎港に造成された人工干潟を対象に、アサリなどの有用二枚貝が安定して生息する干潟の整備という目標の設定、目標に応じた設計と施工、継続的なモニタリング、目標からずれが生じた場合の手直し、といった一連の順応的管理手法を現地で実践し、その適用性や問題点を検討した。まず安定したアサリ生息場の実現という技術的な課題に対する結論は以下の通りである。

①干潟地形は早期にほぼ安定したものの、夏季にはホトトギスガイを中心としたイガイ科が干潟上をマット状に覆うことにより、アサリの定着といった当初目標が一部で損なわれていた。

②ホトトギスガイが優占化する条件を整理することにより、マット化を抑制する手法として、渦や碎波などによる物理的攪乱を促進することが考えられた。

③干潟内に物理的攪乱を促進する構造物を設置したところ、ホトトギスガイは構造物周辺で減少する傾向が得られた。一方で、硬質基盤を選好するムラサキイガイ、コウロエンカワヒバリガイが構造物周辺で多く確認されるようになった。そのため、必ずしもアサリの増加を招く効果は得られなかった。

④今後、アサリを増加させるためには、硬質基盤を選好する種も考慮に入れた別の対策が求められる。

順応的管理の適用性に関する部分では、以下のような

課題が抽出された。干潟の機能を担う底生生物の定着を目標とする場合には生物遷移過程の人為的制御を伴うことが多く、効果の検討やフィードバック行為の検証にかなりの時間が必要である。本研究で実施した約4年間のモニタリング期間は最低限のものであると考えられる。また、本研究では研究目的で造成された干潟を対象としたため、順応的管理における合意形成の部分については取り上げられなかった。今後予想される規模の大きな環境修復事業においては、合意形成するための一連の手続きや手法の整備が、重要な課題として残されている。

**謝辞：**本研究の一部は、(財)国際エメックスセンターが環境省から受託した研究プロジェクト「閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化」の一環として行われた。このプロジェクトで人工干潟を担当した他の研究グループ(兵庫県立健康環境科学研究所、(独)国立環境研究所、(株)大林組)には、干潟の設計、施工やモニタリングなど研究を遂行する際に情報提供や議論を通じてお世話になった。また本研究は第一著者が港湾空港技術研究所に依頼研修生として在籍していた際に行われたものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 海の自然再生ワーキンググループ：海の自然再生ハンドブック 第1巻 総論編, ぎょうせい, 107p, 2003.
- 2) 矢持進・柳川竜一・平井研・藤原俊介：生態系の変動を考慮した順応的管理—物質収支からみて—, 海洋開発論文集, 第21巻, pp. 77-82, 2005.
- 3) 古川恵太・小島治幸・加藤史訓：海洋環境施策における順応的管理の考え方, 海洋開発論文集, 第21巻, pp. 67-72, 2005.
- 4) 財団法人国際エメックスセンター：閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化研究開発成果報告書(平成16年3月), 292p, 2004.
- 5) 社団法人マリーナビーチ協会：ビーチ計画・設計マニュアル, 118p, 山海堂, 1992.
- 6) 千葉健治：ホトトギスガイの生態について, 海洋科学, 9, pp. 13-17, 1977.
- 7) 村上晴通・細川真也・中村由行・石垣衛：過栄養で静穏な港内の人工干潟における二枚貝の生息環境について, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1186-1190, 2004.
- 8) 数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会：数値波動水路の研究・開発, 財団法人沿岸開発技術研究センター, 296p, 2001.
- 9) 合田良実(1970)：碎波指標の整理について, 土木学会論文報告集No. 180, pp. 39-49, 1970.
- 10) 社団法人日本水産資源保護協会：水産生物の生活史と生態(続), pp. 219-224, 1986.
- 11) 小濱剛・門谷茂・梶原葉子・山田真知子：ムラサキイガイおよびコウロエンカワヒバリガイの個体群動態と過栄養海域における環境との関係, 日本水産学会誌, 第67巻, 第4号, pp. 664-671, 2001.