

尼崎運河における護岸付帯式浅場を用いた 砂浜性二枚貝の生息空間創出に関する現地実験

THE FIELD EXPERIMENT FOR CONSTRUCT BIVALVE HABITAT ATTACHED
ON SIDE WALL OF VERTICAL REVETMENTS IN AMAGASAKI CANAL

森紗綾香¹・山中亮一²・上月康則³・板東伸益⁴・高橋秀文⁵・上嶋英機⁶

Sayaka MORI, Ryoichi YAMANAKA, Yasunori KOZUKI,
Nobuyoshi BANDO, Hidefumi TAKAHASHI and Hideki UESHIMA

¹学生会員 修(工) 徳島大学大学院先端技術科学教育部博士後期課程
(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

²正会員 博(工) 徳島大学大学院講師 ソシオテクノサイエンス研究部 (同上)

³正会員 博(工) 徳島大学大学院教授 ソシオテクノサイエンス研究部 (同上)

⁴学生会員 徳島大学大学院先端技術科学教育部博士前期課程 (同上)

⁵正会員 兵庫県阪神南県民局県土整備部 (〒660-0083 兵庫県尼崎市道意町7-21)

⁶正会員 工博 広島工業大学大学院教授 環境学研究科 (〒731-5193 広島県広島市佐伯区三宅2-1-1)

The Amagasaki Canal is an enclosed waters, located in innermost recesses of Osaka Bay. In this area, we confirmed that the canal have been polluted because the canal is a sheltered waters with artificial vertical structures and is affected by waste water from factories. According to high primary production, it seems that filtration function of benthic bivalves is very useful to reduce suspended organic matter. Therefore, this study constructs a new experimental site in Amagasaki Canal which made up an artificial tidal flat attached on vertical revetments and evaluate an applicability for inhabitation of benthic bivalve. As a result, we find a suitable water depth and sand diameter of clam for prevent obstruction by *Xenostrobus securus*.

Key Words : Amagasaki Canal, Environmental restoration, Artificial tidal flat,
Ruditapes philippinarum, *Xenostrobus securus*

1. 目的

尼崎運河は大阪湾の最奥部に位置し(図-1), 閘門・水門と直立護岸に囲まれた閉鎖性水域である。全水深は図-1 に示す調査地点で約 3.7m であり, 年間を通じて水深 1.5~2.0m 付近に密度躍層が形成されている。本運河は後背地が海拔 0メートル (O.P. +1.3m) 以下であるため, 水門により運河内水位が O.P. +1.1m 以下になるように管理されている。そのため, 潮汐による海水交換は潮位が管理水位より低い時間帯にのみ行われている(図-2)。本運河の水環境は, 周辺に隣接する事業所などからの流入負荷を受けているため, 現在も富栄養化や貧酸素化, 有機汚泥の堆積などが顕在化しており, 著しく劣化している。このため「尼崎シーブルー事業」として本運河の水環境改善と利活用についての検討が進められている。これまで筆者らは, この事業において様々な改善手法を効果的に組み合わせた環境再生技術の構築(技術のベストミックス)を行っており^{1), 2)},

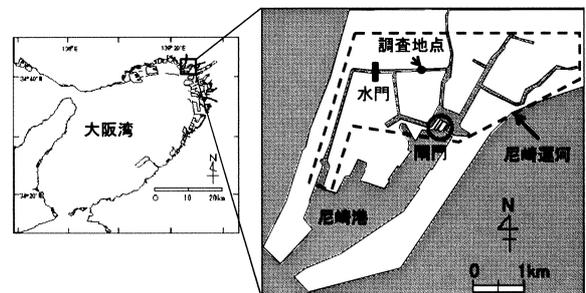


図-1 調査地点

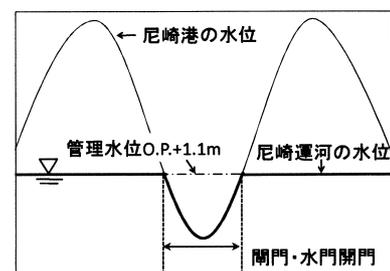


図-2 尼崎運河の潮位変化と閘門・水門の操作の関係

そのひとつとして浅場固有の自律的な生態系の形成による物質循環の創出を試みている。本運河では、年間を通じて表層において大量発生する植物プランクトンが沈降するため、底層環境が著しく悪化している。さらに水深 2.0m 以深では貧酸素化により生物が生息できず、このため懸濁物除去能を有する付着生物の生息域は限られている。そこで、運河に浅場を創出することによって砂浜性二枚貝の生息基盤を作る。これにより、二枚貝による懸濁物除去、底生微細藻類の一次生産などの浅場固有の自律的な生態系による新たな物質循環を利用した環境改善の技術化に向けた現地実証実験を行った。

本報では、著者らが提案しているエコシステム式工法を発展させ、直立護岸に棚式の浅場を水深を変えて設置した。干潟に生息する二枚貝の代表種として、アサリ (*Ruditapes philippinarum*) とヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) を選択し、生存率や底質からこれらの現地適応性の検討を行った。そして、これらの知見を基に、事業化に向けて本運河における浅場造成の設計要件を明らかにすることを目的とする。

2. 底質粒径および生息密度の選定

(1) 実験方法

現地実験におけるアサリの生息密度と、底質の粒径を決定するため、2007年9月14日～28日の期間において予備実験を行った。粒径、生息密度が異なる合計6種類の実験系(表-1)を設定し、生息状況により評価した。実験に用いたアサリは徳島県小松島港沖洲地区の干潟で採取した。各実験系のアサリの個体数は、兵庫県西宮市御前浜の人工干潟および自然干潟、神奈川県横浜市金沢八景のそれぞれの密度を参考に、現場に設置する際に用いる園芸用ポット(φ12cm, h10cm)に5個体、8個体、24個体とした。底質は実証実験で使用を検討している砂礫質である武庫川の浚渫土を用い、これを採取状態のまま用いた系(実験系1)、アサリの生息に適しているとされる粒径2mm以下に篩った系(実験系2)、実験方法に問題がないか検証するため、アサリ採取地の底質を用いる系(実験系3)を用意した。これらアサリの採取場所近くの海水かけ流し水路に静置し、生息状況や生存率の調査を行った。

(2) 実験結果

実験開始14日後のアサリの生存個体数を表-1に示す。実験系3のアサリ採取地の砂では死亡個体は見られなかったが、実験系1および2の武庫川の浚渫土では死亡個体がそれぞれ見られた。とくに実験系2では、潜砂が出来ていない個体が見られた。武庫川の浚渫土には礫や木片などが混ざっており、そのまま用いるとアサリの潜砂行動が阻害される可能性があることが分かった。潜砂した個体のほうが成長が良いとの報告³⁾があることから、本研究では潜

砂行動が可能な底質材を選択することとした。

以上の結果より、実証実験には武庫川の浚渫土を2mm以下に篩って使用することとし、生息密度はどの系でも死亡個体が見られなかった5ind./0.01m²とすることとした。シジミの実験についても同様の条件とした。

表-1 底質粒径と生息密度選定に関する実験結果

実験系	底質	粒径	生息密度 (ind./0.01m ²)	死亡個体 (ind.)
1	武庫川 浚渫土	自然状態	5	0
			8	2
			24	5
2	武庫川 浚渫土	2mm 以下	5	0
			8	2
			24	3
3	アサリ 採取地	自然状態	5	0
			8	0
			24	0

3. 現地適応性の実証実験

(1) 実験方法

実証実験系は2007年10月23日に尼崎運河内に設置し(図-1)、実験を開始した。護岸沿いに矢板を打ち込み、それに塩ビ製コンテナ(478×1024×320mm)を3つ並べて1セットとした棚を、水深0.5mから3.0mまで0.5m間隔で6セット設置した(図-3)。すべての棚に、アサリを5個体投入した底質入りの園芸用ポットを各水深の棚に36個ずつ設置した。シジミの系も同様に設置した。底質材のみの系は、各水深の棚に24個ずつ設置した。

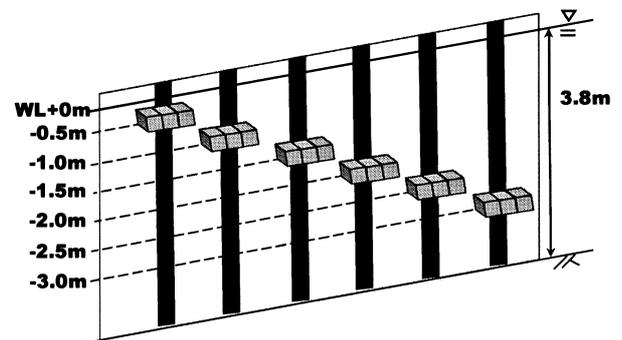


図-3 実証実験区模式図(コンテナ底部が水深の基準位置)

生息状況の調査は2007年11月～2008年10月まで毎月行った。毎月、各棚からアサリ用ポット3個、シジミ用ポット3個を引き上げ、二枚貝の生存率、加入生物の観察、表層から1cmの底質分析(AVS)を行った。AVSはAcid Volatile Sulfide(酸揮発性硫化物)の略称であり、還元性状態を知るうえで重要な環境項目の一つである。底質のみのポットは2008年2月から毎月2個ずつ引き上げ、加入生物や底質の悪化状況を観察した。一度引き上げたポットは再

設置せず、毎回異なるポットを試料とした。また、各棚の環境条件を把握するため、連続測定用ロガー計を各棚に設置した。塩分計(塩分:アレック電子株式会社製 MSD-CT)は水深 1.5m に、水温計(水温:Onset 社製 ストアウェイ ティドビット)は各棚の棚上に設置した。また、毎月の調査時に水質(水温, 塩分, DO)の鉛直プロファイルを多項目水質計(Hydrolab DS-5)を用いて計測した。

(2) 実験結果

各水深におけるアサリとシジミの生存率の経月変化を図-4 に示す。アサリは全水深において初期減耗がみられ、とくに水深 2.5, 3.0m では 2008 年 12 月(設置 2 ヶ月後)までにすべて斃死した。既往の知見によるアサリの生息条件(表-2)と各月の水質を比較すると、この期間における初期減耗が認められた水深の水温(図-5)・塩分(図-6)は生息範囲内であったが、DO(図-7)が 3.0mg/L に満たない日が継続していたことから、貧酸素化が原因で死亡したと考えられた。2008 年 3 月(設置後 5 ヶ月)の時点で、水深 2.0m 以浅では 51%以上が生存していたが、その後徐々に生存率は低下し、6月から7月(設置後 8~9 ヶ月)の間に急にすべて斃死した。

底質は、すべて斃死した水深 2.5m, 3.0m では設置後 1 ヶ月から AVS が約 0.3mg/g 上昇し(図-8)、これは死亡個体の分解に伴う酸素消費によるものと考えられた。また、4月から5月にかけて生存率が大きく低下しているが、このとき底質上にコウロエンカワヒバリガイ(*Xenostrobus securis*)のマット化が認められた(図-9)。コウロエンカワヒバリガイは足糸で他物に集団で付着する性質を持っている二枚貝である。塩分耐性は 0~30psu と広範囲であり、10psu 以上の塩分で活発に活動する種である⁵⁾。ここでマット化とは、付着性二枚貝が足糸を絡ませて個体群を形成し、底質上をマット状に覆う現象を指す。このとき、底質のみの系においても AVS が正常泥の値の範囲である 0.2mg/g を超える値まで上昇していた(図-10)。このことから、6月以降のアサリの大量斃死は、付着性二枚貝のマット化によって底質が悪化したことが主因であると考えた。以上より、アサリの大量斃死の一因として、コウロエンカワヒバリガイのマット化による底質表面の被覆による生息環境の悪化が考えられた。

シジミは 2008 年 12 月(設置 2 ヶ月後)までに、すべての水深帯において斃死した。シジミの生息条件(表-2)と各月の水質をみると、水温(図-5)は生息条件内であったが、実験開始後約 1 ヶ月間にわたりシジミの生息上限である 20psu を、事業所排水の影響で汽水となっている表層(水深 1.5m)においても上回っていた(図-6)ことが一因と考えられる。本運河の塩分には季節変化があり、冬季に高塩分(約 27psu)、夏季に低塩分(約 16psu)となる。これより、本運河においてシジミは表層では塩分、底層では塩分と DO が生息条件に不適であり、生息は困

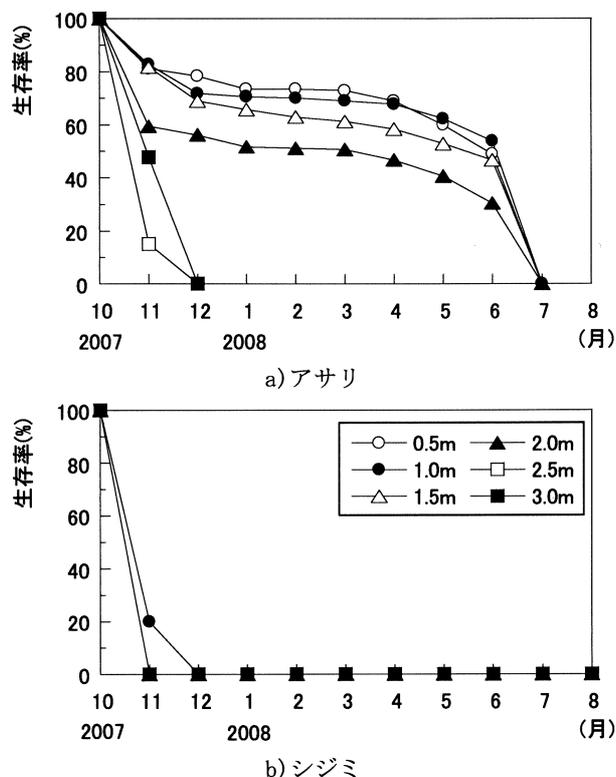


図-4 各水深における生存率の経月変化

表-2 アサリ・シジミの生息条件^{3),4)}

生物種	水温(°C)	塩分(psu)
アサリ	10~30	20以上
シジミ	10~32	20以下

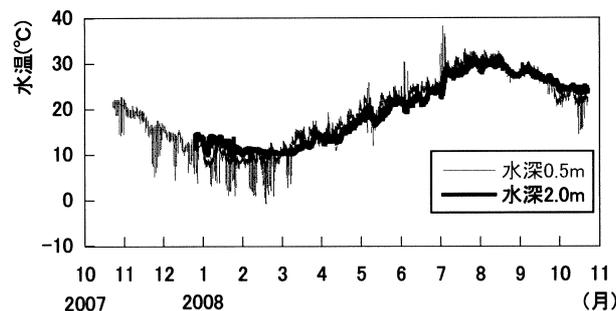


図-5 水深 0.5m および 2.0m における水温の経月変化

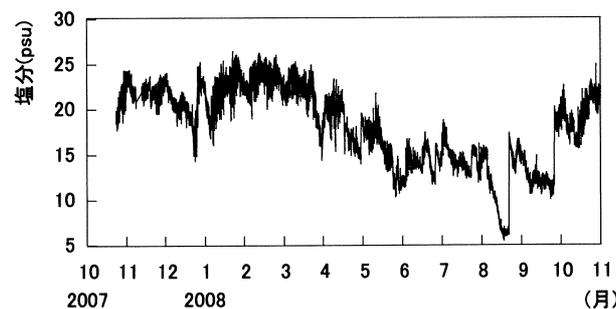


図-6 水深 1.5m における塩分の経月変化

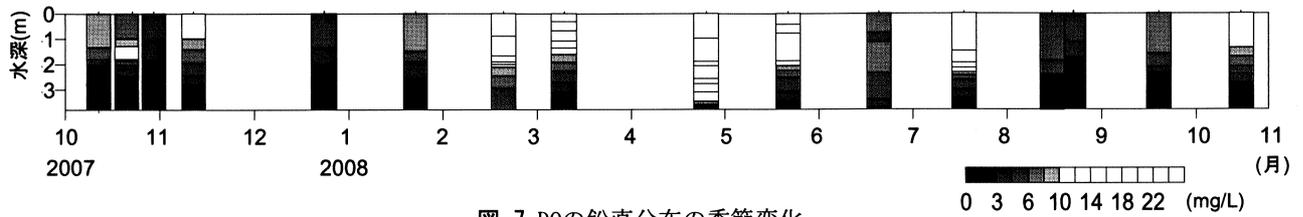
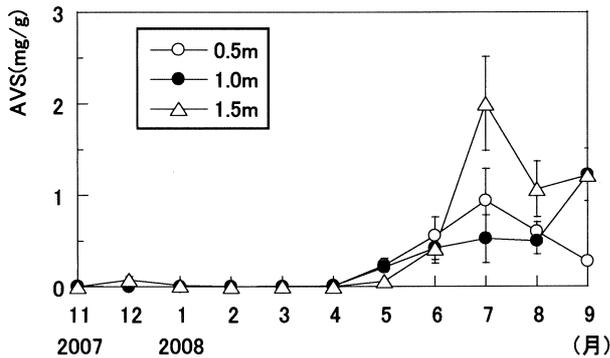


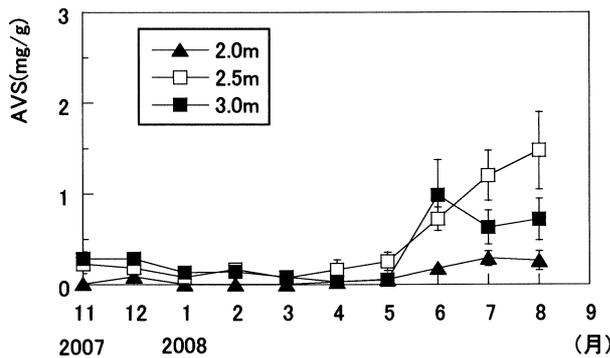
図-7 D0の鉛直分布の季節変化

難であることが分かった。

加入生物は、スピオ科の多毛類が 2008 年 11 月（設置 1 ヶ月後）には確認されはじめ、泥巣を形成していた。その他、水深が浅い棚でヨコエビ類、カニ類、エビ類、ハゼ科の魚類も観察され、浅場としての他の生物種の新たな生息場としての機能を果たしていることが明らかとなった。しかし、水深 2.5m 以深では、生物種の出現は確認されなかった。



a) 水深 0.5m~1.5m



b) 水深 2.0m~3.0m

図-8 各水深におけるアサリ用ポットの AVS 経月変化 (平均±標準誤差)

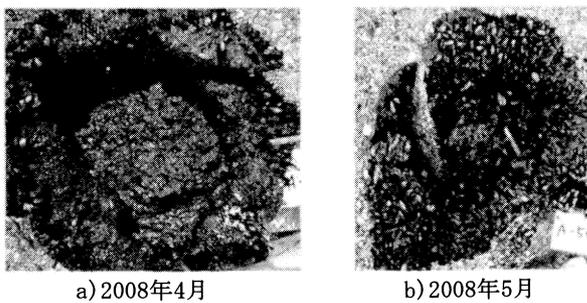
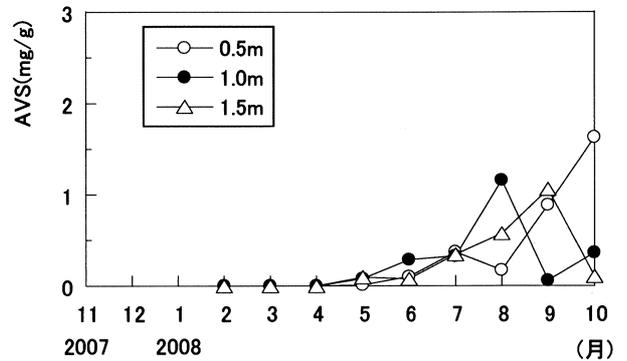
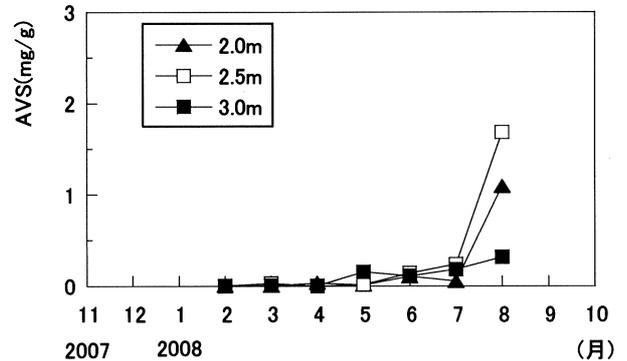


図-9 コウロエンカワヒバリガイのマット化の様子 (園芸用ポット上部より撮影)



a) 水深 0.5m~1.5m



b) 水深 2.0m~3.0m

図-10 各水深における底質のみポットの AVS 経月変化

4. コウロエンカワヒバリガイのマット化抑制を考慮した新規実験

(1) 実験方法

前述の実験結果より、本運河において浅場を創出する際に、コウロエンカワヒバリガイのマット化がアサリの生息を阻害することが明らかとなった。このような状況はいくつかの人工海浜においても発生しており、例えば尼崎運河の前面に位置する尼崎港に造成された人工干潟では、ホトトギスガイなどのイガイ科によるマット化により、アサリの生息が阻害されていた⁶⁾。中村ら⁶⁾は、物理的攪乱を促進する構造物を設置することで、その構造物周辺でホトトギスガイの付着を抑制する効果があると報告している。しかし、本運河は静穏なため流れや波浪の影響を受けにくく、物理的な攪乱を利用した抑制方法は応用できない。本運河のような静穏で海水移動が少ない海域における抑制方法を検討していた際に、他の実験目的のためにさらに浅い水深帯に併設して

いた実験系では、コウロエンカワヒバリガイによるマット化の影響が顕著ではないことに気が付いた。これは、本運河では前述のとおり、低潮時の間のみ水位変化が生じ、このときに干出す水深帯においては生物の生息水深の選択性により、出現種が変化するためであると考えた。そこで、マット化抑制効果を検証するため、干出時間がより長い、浅い水深帯において新たに実験系を設置し、同様の実験を開始することとした。

2008年8月23日に新たに実験系を設置し、実験を開始した。新たな実験系の模式図を図-11に示す。底質表面が管理水位からみて水深0.0m, 0.15m, 0.3mになるように、プラスチックコンテナ(450×168×150mm)を各棚に4つずつ設置した。コンテナは中央を板で区切り、アサリを5個体投入した系としない系を設け、底質の変化を調査した。11月を除き毎月1つずつコンテナを引き上げ、投入したアサリの生存率、加入生物の観察、表層から1cmの底質分析(AVS)を行った。一度引き上げたコンテナは再設置せず、毎回異なるコンテナを試料とした。

ここで、予測潮位より算出した各棚の干出時間を図-12に示す。潮位は夏季に高く、冬季に低くなるという季節変化と管理水位との関係から、夏季には干出時間が短くなる。実験を開始した8月では、水深0.0m, 0.15m, 0.3mの系ではそれぞれ1ヶ月間に82.1時間、41.4時間、9.1時間干出した。その後、9月に水深0.3m以深では干出しなかったが、潮位が最も低くなる2月に水深0.0mにおいては400時間を超え、8月の干出時間の4.9倍程度になることがわかった。アサリが生息する干潟の干出時間は1日に1~5時間であることが多く、1日に3~5時間干出する場所では生育に影響が出るとされている³⁾。これより干出時間が30~90h/monthの間が適しているとみなした場合、本運河における干出時間から見たアサリの生息に適している水深は、8月に0.0m~0.15m, 2月は0.5mとなる。

(2) 実験結果

アサリの生存率の経月変化を図-13に示す。前述の実験のような初期減耗はなく、2009年1月(設置後5ヶ月)における生存率は最も深い水深0.3mにおいても60%以上を維持していた。AVS(図-14)も期間を通して正常泥の値の範囲である0.2mg/g以下であり、良好な環境が維持できていた。これは実験系の設置時期が前述の実験と異なることが一因ではないかと考えたが、新たに設置した系のコンテナ壁面に新規加入によるコウロエンカワヒバリガイの付着が認められ、その量は上段ほど少なかった。各系の底質表面の差はあまりなく、いずれもマット化は認められなかった。しかし、図-13に示す生存率は水深0.0mの系では2009年1月において90%、それより深い0.15m, 0.3mの系では60%, 70%と差が生じていた。この要因としては、水深0.15m, 0.3mでは、底質を5~10cm掘り返すと黒く嫌気化しており、こ

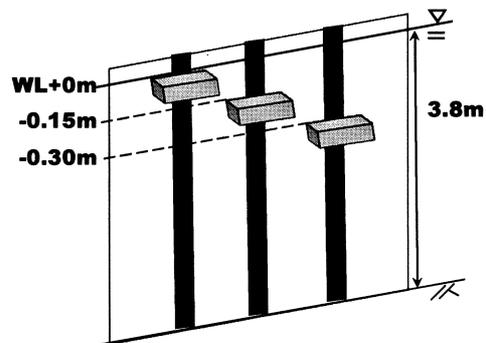


図-11 新規設置した実験系模式図
(底質表面が水深の基準位置)

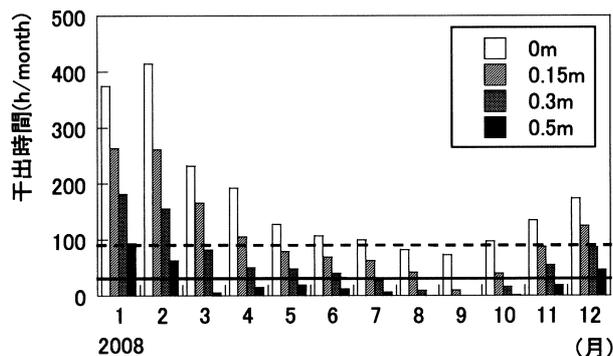


図-12 各水深における月間干出時間の経月変化
(実線: 30h/month, 波線: 90h/month)

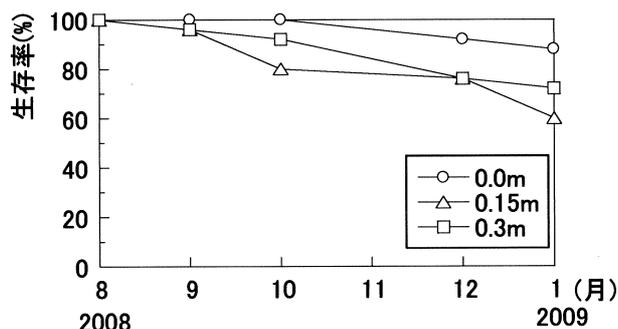


図-13 新規設置した実験系の各水深における生存率の経月変化

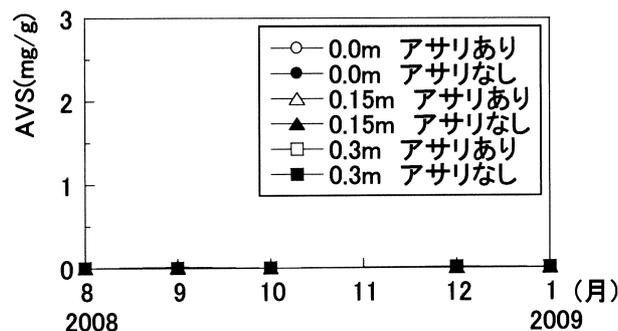


図-14 新規設置した実験系の各水深におけるAVSの経月変化

のことが一因と考えられた。

5. 尼崎運河における浅場の設計要件

本運河における浅場創出の設計要件は、前述の実験結果を取りまとめると、アサリに対しては底質材には粒径 2mm 以下のものを使用する必要があり、生息密度は 5ind./0.01m² (440ind./m²) 程度が適していた。水質からは、水温・DO より水深 0.0~2.0m が適していると判断された。しかし、現地実証実験ではコウロエンカワヒバリガイのマット化により生息が阻害された。このマット化対策として、浅い水深帯において生物の生息水深の選択性により出現種が変化することを利用し、干満の影響を受ける水深帯(水深 0.3m 以浅)に浅場を設置する必要があることが分かった。干出時間が 30~90h/month の間が適しているとみなした場合、本運河における干出時間から見たアサリの生息に適している水深は、予測潮位を用いて算出したところ 8 月に 0.0m~0.15m, 2 月は 0.5m となった。また、底質は還元的な状態になりやすく、これがアサリの生息と関係している。底質の状態を良好に保つためにも、干満の影響を受ける、なるべく浅い水深帯に設置する必要があることが分かった。夏季は低塩分化によってアサリの生息条件を満たさない環境になるが、実証実験の結果、低塩分が原因となるアサリの斃死は生じなかったため、本運河において塩分は主な制限因子とはならないと判断した。

シジミに対しては、塩分が生息条件に適しておらず、本運河には不適であることが分かった。

6. まとめ

本研究は予備実験と現地実証実験により、尼崎運河における浅場創出に向けた砂浜性二枚貝(アサリ、シジミ)の適応性について評価した。はじめに、底質の粒径と生息密度の条件を明らかにしたうえで、現地実験を約 1 年間行った。その結果、尼崎運河の水質は汚濁が進行し、水深 2.0m 以深では年間を通して貧酸素化しており、生物の生息可能範囲が水深方向に制限されていることが分かった。表層では水温と塩分の条件から、アサリには適していたがシジミには不適であることが分かった。しかし、現地実験を進めていくうちに自然加入したコウロエンカワヒバリガイが実験用ポットの周辺から付着し、最終的には底質上面を覆うようにマット化した。これが底質悪化を招き、アサリの斃死が生じた。本研究では、この問題の対応策として、干満の影響が及ぶ水深 0.3m 以浅の水深帯においては、マット化を抑制しうることを明らかにした。

以上より、水質の汚濁が進行した尼崎運河においても水位管理がなされていることを利用し、浅場

の設置水深帯を工夫すれば、砂浜性二枚貝であるアサリが生息可能な浅場を創出できる可能性を示した。ただし、本実験は 1 年間の結果であり、この再現性については今後の課題である。

また、浅場の創出後には、維持管理の問題が生じる。尼崎シーブルー事業では、地域と連携した環境改善を目指しており、すでに尼崎運河周辺の学校が本運河を環境学習の場として、NPO 団体がイベントの開催場として、住民の方が釣りや散歩をする場として利用している。今後、浅場の設計をするにあたり、本研究で明らかとなった設計要件に加えて、地域としてどのような利用を希望しているのかを把握し、設計に反映させることが重要であると考え。そして、新たに創出された浅場の生物の観察とともに、生息環境を維持する大切さを伝え、地域で守っていく仕組みづくりが必要であり、このための取り組みを開始している。

謝辞：本研究は「尼崎シーブルー事業推進委員会(兵庫県)」の一貫として行われたものであり、関係者の皆様からは多大なご協力をいただいた。ここに記して、深く謝意申し上げる。

参考文献

- 1) 中西敬, 上月康則, 森紗綾香, 川井浩史, 辻博和, 上嶋英機: 尼崎港内運河における環境修復の取組み開門・水門を利用した流況制御・水質改善実験, 海洋開発論文集, 第 23 巻, pp. 757-762, 2007.
- 2) 山中亮一, 上月康則, 森友佑, 森紗綾香, 板東伸益, 高谷和彦, 上嶋英機: 尼崎運河での水環境改善に向けた新しい曝気手法に関する現地実験, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp. 1246-1250, 2008.
- 3) (社)全国沿岸漁業振興開発協会: 増殖場造成計画指針—ヒラメ・アサリ編—(平成 8 年度版), pp. 131-141.
- 4) 中村幹雄, 品川明, 戸田顕史, 中尾繁: 宍道湖および中海産二枚貝 4 種の環境耐性, 水産増殖, 第 45 巻, 2 号, pp. 179-185, 1997.
- 5) 木村妙子, 角田出, 黒倉寿: 淡水および汽水域に生息するイガイ科カワヒバリガイ属の塩分耐性と浸透圧調節, 日本海水学会誌, 第 49 巻, 第 3 号, pp. 148-152, 1995.
- 6) 中村由行, 村上晴道, 細川真也: 尼崎港に造成された人工干潟における順応的管理手法の適用性に関する研究, 港湾空港技術研究所資料, No. 1127, pp. 1-32, 2006.