

人工干潟に浸入する貧酸素水塊の軽減 と生物相の保全に関する検討

STUDY ON PRESERVATION OF BIOTA TO ANOXIC SEAWATER MASS IN THE CONSTRUCTED TIDAL FLAT

木村賢史¹・木幡邦男²・市村 康³・樋渡武彦²・

法月怜子⁴・田中宏史⁵・森 光典⁶

Kenshi KIMURA, Kunio KOHATA, Yasushi ICHIMURA, Takehiko HIWATARI

Ryouko NORIDUKI, Hiroshi TANAKA, Mitunori MORI

- 1 正会員 工博 東海大学海洋学部海洋生物学科(〒424-8610 静岡市清水区折戸 3-20-1)
- 2 非会員 理博 (独)国立環境研究所水圏環境研究領域(〒305-8506 つくば市小野川 16-2)
- 3 正会員 工博 日本ミクニヤ株式会社事業本部(〒213-0001 川崎市高津区溝口 3-25-10)
- 4 非会員 株式会社建設環境研究所環境科学技術センター(〒331-0051 さいたま市櫛引町 1-268-1)
- 5 非会員 日鉄鉱業株式会社研究開発部(〒190-0182 西多摩郡日の出町平井 8-1)
- 6 非会員 株式会社森機械製作所(〒093-0502 北海道常呂郡佐呂間町字北)

Three types of micro-bubble aerators were set on a constructed tidal flat in the innermost part of Tokyo Bay for A.D. 2003-2005, to reduce the baneful effect of the surrounding hypoxic seawater on benthic animals and to preserve innate functions of tidal-flat ecosystems. The improvement in dissolved oxygen (DO) was observed; especially, DO was increased by the aeration system when the water-mass remained on the constructed flat during the falling tide and was enclosed by a stone wall. This suggests that enclosures like containment boom can enhance the effect of aerators. Although survival of cultured bivalves were improved by the aerators, the effect on benthic animals has not clearly been confirmed on the constructed flat. Benthic animals suffered from not only hypoxic seawater but environmental conditions of sediment and freshet. A long-term monitoring is needed for evaluating the effect of aerator on benthic animals.

Key Words: *constructed tidal flat, dissolved oxygen, micro-bubble aerator, macrobenthos*

1. はじめに

干潟等の浅海域は、多様な生物の生育の場あるいは、高い水質浄化機能を有する場として注目を集めている。干潟や海浜等の浅海域の存在は当該水域の各種生物個体群の維持と、それらの生物活動に基づく生態系機能維持に極めて重要な役割を担っており、各地で環境修復を目的として人工的に干潟や海浜を創出する動きが見られる。

しかし、東京湾などの閉鎖性水域では陸域から供給される大量の有機物や湾内で発生したプランクトン等の堆積により、水温の上昇する夏季には海底の底層水が貧酸素化して青潮等の発生を促し、海洋生物の斃死をもたらしている。貧酸素水塊は、潮の干満や気象条件により、干潟等の浅海域に浸入し、干潟等の底生生物や魚類が著しくダメージを受け、生態系の貧弱化を招く。特に、アサリやバカガイの大量斃死とともに、ハゼ等の底生性の魚類への被害も大きく、沿岸域の水産業に与える影響は甚大である。

1985年に千葉県の上総では、青潮によりアサリが3万トン大量斃死したことは、その例といえる。貧酸素状態が持続した場合、底質の無酸素状態とそれに伴う硫化物の発生を促し、生物の連鎖的な大量斃死による腐敗と更なる酸素消費などの水質悪化により被害を拡大している。その改善策として、微細気泡による水環境の改善が検討¹⁾²⁾されているが、いずれも短期間の実験であり、生物の面からは長期的な視点での検討が必要と考えた。

そこで、本研究では人工干潟に微細気泡発生装置を設置し、干潟等の浅海域に部分的に貧酸素水塊を解消する区域を設け、最低限その域のアサリ等の底生生物の生存を確保し、全滅を防ぐとともに、ハゼ等の底生性魚類の一時避難区域を形成する。これにより、魚介類の種の保存を図り再生産の基を維持していく。また、当該水域への生物学的ダメージの軽減により物質循環を維持し水環境の改善と生物種の多様性の向上に寄与することを目的に3年間にわたり検討した³⁾⁶⁾。

2. 実験概要

本研究は東京都大田区の東京都立大井中央海浜公園内の大井人工干潟（図1）内に微細気泡発生装置を設置した。人工干潟は、公園内の地先にあり、波浪による浸食を防ぐために直径 30～80 cm の自然石の堤で囲まれている。実験は 2003 年から 2005 年の 6-10 月にわたり実施した。

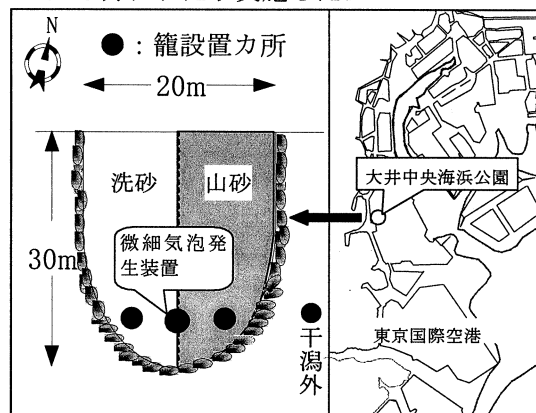


図1 大井人工干潟

微細気泡発生装置(図2)は、2003年：送気量 30ℓ/min, 散気管 2 本を設けた低圧微細気泡発生装置(森機械製作所製, 写真A) 1 台, 2004 年: 送気量 30ℓ/min (装置A) と送気量 80ℓ/min 散気管 1 本のサイクロン式エアレーター(日鉄鉱業株, 写真B) の 2 台, 2005 年には散気管を 4 本に改造した送気量 30ℓ/min 1 台(写真C) を設置した。装置の電源は公園内から供給した。同時に、アサリ、シオフキガイを 50-100 個体/籠(40×40

×20cm) の密度で干潟内の山砂・洗砂部と干潟外に籠半分を干潟埋めた状態で 1-2 個を設置し、生残率や成長率から効果をみた。また、干潟内外の DO, 塩分、水温 (Alec 電子製) の鉛直分布と定点での連続測定、底生動物調査 (種数・個体数・湿重量) も併せて行い、その変化からも考察した。

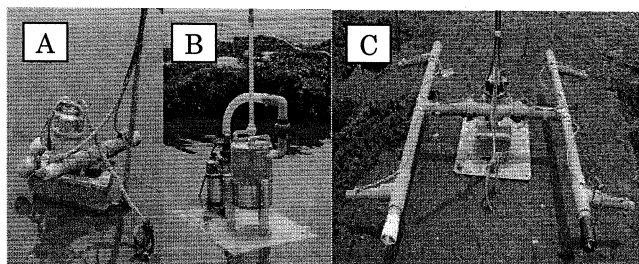


図2 微細気泡発生装置(写真 A: 森機械製作所, B: 日鉄鉱業, C: 改造型)

3 結果と考察

(1) 2003 年の実験

2003 年は装置 A を 1 台干潟内に設置し底生動物への影響と DO の変化について検討した。その結果、大井人工干潟では、水温が上昇する 6 月頃から沖の

京浜運河の貧酸素化した底層水が満ち潮とともに浸入し、アサリ等の底生動物の個体数や種数の減少を招いていることが調査結果から判明している³⁾。このことは、装置設置以前の 2001-2002 年に干潟で行った籠入りアサリの生残・成長率実験において、貧酸素水塊が頻繁に浸入する 8 月頃からアサリの斃死が始まり、10 月にはほぼ全滅したことからも推測できる⁴⁾。そこで、微細気泡発生装置 A を干潟内の潮下帯付近に設置し、装置の有無による効果を DO 濃度の変化から検証した結果(図3, 4), 干潟の岩堤の上面を越える潮位 120cm に至るまでは DO は上昇し、干潟外と比べて DO は約 2mg/ℓ高まるが、潮位が 120cm を超えると干潟外への拡散と沖合い運河部の貧酸素化した底層水⁷⁾ の大量浸入により、装置の効果は低下することがわかった^{3), 8)}。干潟内の底生動物では、前年に比べて個体数(図18)は特に

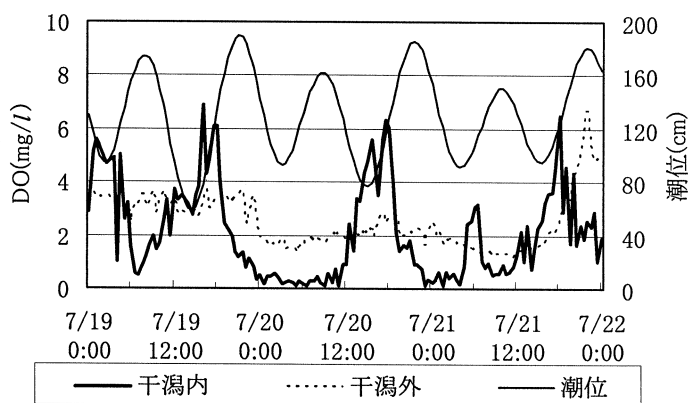


図3 DOと潮位の連続測定(2003年7月)

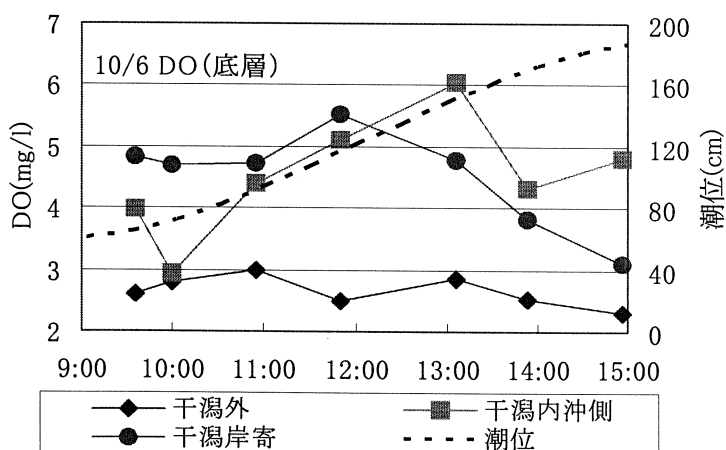


図4 DO(底層)の時系列変化(2003年10月6日)

変化が見られず、また、アサリの生残実験でも干潟内外で大きな差は確認できなかった²⁾。以上のことから、2003 年の実験では海水が石堤を超える潮時には、曝気の効果は弱まり、特に底層の DO は急激に低下しており、底生動物についても明確な改善効果は確認できなかった。

(2) 2004 年の実験

2003 年の実験結果から曝気の効果に限界があったため、装置 A と装置 B の 2 台（合計送気量 1100 /min）を干潟内の潮下帯付近に設置した。

a) DO の鉛直分布

装置の有無による効果を DO 濃度の鉛直分布変化から検証した結果（図 5, 6），装置停止時の DO は干潟内（微細気泡発生装置による酸素曝気を行っている人工干潟内を「干潟内」、行っていない干潟外を「干潟外」と記す。）に比べ干潟外で 0.8mg/l 程度高

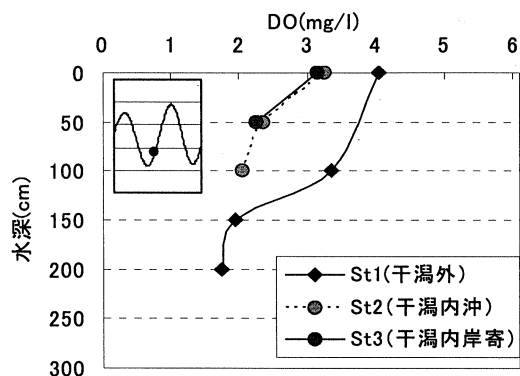


図5 微細気泡発生装置停止時のDOの鉛直分布(10/25 11:30)

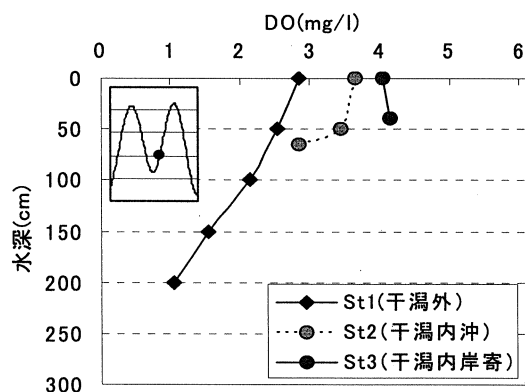


図6 微細気泡発生装置稼動時のDOの鉛直分布(10/15 13:30)

い値が確認されたが、底層では干潟内外ともに 2mg/l 以下の貧酸素状態を示した。一方、装置稼動時では干潟内の DO は全層において 3mg/l 以上を示し、干潟外に比べて高い値を示したのに対して、干潟外の底層では 1mg/l の貧酸素状態を示した。以上のことから、人工干潟内における微細気泡発生装置による酸素供給は、人工干潟内の DO 濃度を高めるのに有効な手段といえる。

次に微細気泡装置稼動時における DO の時間的変化について検証した結果、特に干潟内の海水が流出する潮時では干潟内の DO が干潟外より高い値を示した(図 7)。しかし、自然石の堤防を越えて干潟外の海水が流入してくる満潮に近い潮時では、干潟内外での DO に大差はみられず、干潟内外の DO 値は表層で 4mg/l 以上であったのに対して、底層では 2mg/l 前後の貧酸素状態を示した(図 8)。さら

に、干潟内外の DO の時系列変化(図 9)をみると、満ち潮時に DO が 1-2mg/l 未満に急激に減少している時間帯があり、貧酸素水塊が発生したと考えられるが、この時の潮位は 100cm 以上であり、干潟内は干

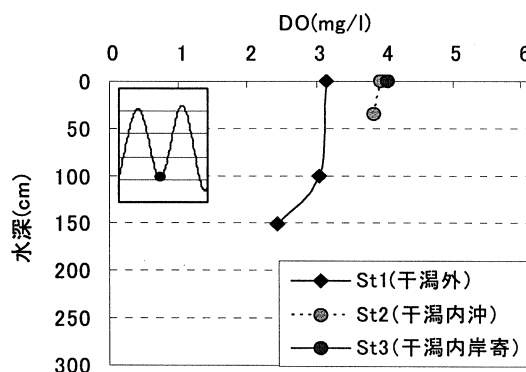


図7 干潮時付近のDOの鉛直分布(10/14 11:30)

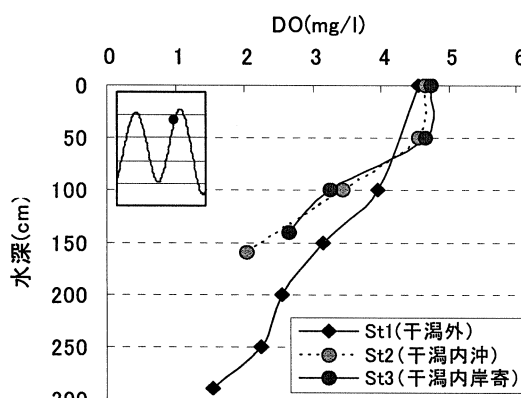


図8 満潮時付近のDOの鉛直分布(10/14 15:30)

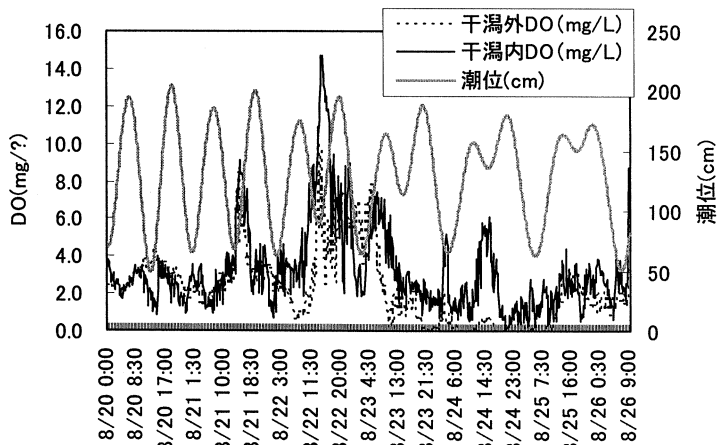


図9 干潟内外のDOの時系列変化(2004年)

潟外の海水の影響を受けやすい状態にあった。しかしながら、干潟内の DO は変動があるものの、全般的には干潟外の DO を上回っており、装置が DO の上昇に有効に機能していることを示唆している。

以上のことから、2003 年の実験と同様に本装置は

干潟外から海水が堤を越える潮時は底層の DO 上昇には不十分な面があったが、2003 年に比べると DO 供給面では改善されていることがわかる。

b) シオフキガイ・アサリへの効果

籠にいったシオフキガイの 6-8 月までの成長実験では、干潟外に比べ、干潟内の山砂、洗砂では殻付き湿重量(図 10)、殻高、殻幅ともに高い成長が見られた。殻長は干潟内の洗砂で、6 月から 7 月に最も成長率が小さく、実験期間を通してても最も成長が低かったが、山砂はいずれの時期も干潟外より高い成長量が見られた(図 11)。これは貧酸素水塊が発生した 7 月以降に微細気泡発生装置の酸素供給の効

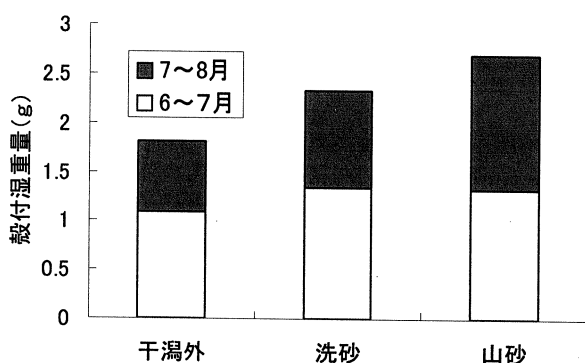


図10シオフキガイの殻付湿重量成長(2004)

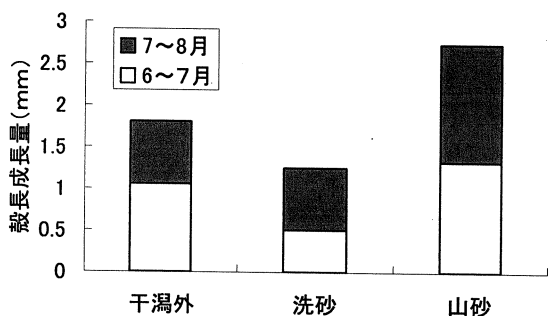


図 11 シオフキガイの殻長の変化(2004)

果によって貧酸素状態が改善されたためと考えられるが、洗砂の成長状況から判断すると、DO 以外の要因による影響も考えられる。そこで、6 月の干出時の底質中(表層~10cm)の含水率を調べると、山砂(中央粒径 0.17mm)では 28.7%を保持していたのに対して、洗砂(中央粒径 0.5mm)では 26.1%と洗砂で 2.6%低く、それに伴い地温も山砂 22.8℃、洗砂 24.1℃と洗砂で 1.3℃高い。この違いは、砂泥中に生息する二枚貝の生理的活性を高めエネルギーの消費率を上昇させるが、干出時には新鮮な海水を取り込んで酸素を補給することができない。このような状況は、気温がさらに上昇する夏季にはより顕著に現れることが推測される。以上のような要因も加わり洗砂での成長に差が生じたと推測される。アサリについて成長率の時系列変化を木幡⁹⁾が考案した式(1)(2)より求めた。

アサリの体積 (V, cm^3) が殻長(a, cm)、殻高(b, cm)、

殻幅(c, cm)の積に比例するとした場合、

$$V = kabc \quad \dots (1)$$

この時、体積増加率としての成長率(G, month^{-1})は次式であら得られる。

$$G = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial a}{\partial t} + \frac{1}{b} \cdot \frac{\partial b}{\partial t} + \frac{1}{c} \cdot \frac{\partial c}{\partial t} \quad \dots (2)$$

ここで、殻長、殻高、殻幅の成長率は一定であるとした。

曝気を開始した 6 月以降の成長率は(図 12)、6 月をピークに徐々に減少し、9 月に最低となりその後上昇するが、曝気していない干潟外(A5,6)と曝気し

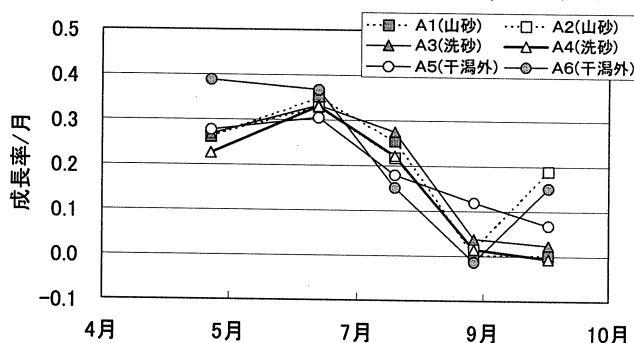


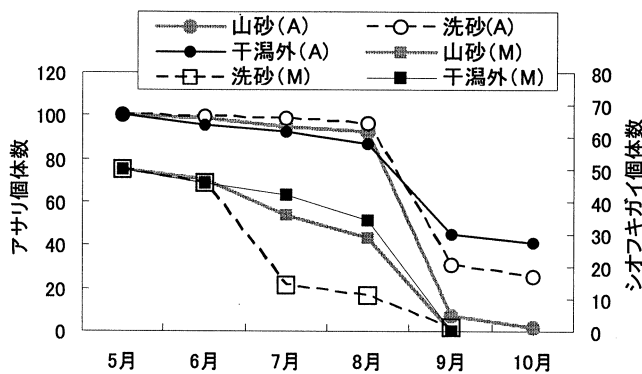
図12 アサリの成長率の時系列変化(2004年)

ている干潟内(A1-4)を比べると、干潟内であっても地点によりバラツキがみられる。特に、9 月以降では、曝気していない干潟外のほうが成長率がよい地点もあり、DO 以外の要因、例えば上述の底質の要因に加えて台風時の豪雨による淡水や汚濁物の大量流入による生息環境の一時的改変などの要因も影響したと考えられる。

また、シオフキガイの生残数についてアサリを比較対照に検討した結果、アサリは 8 月まで高い生残数を示したが、シオフキガイは 8 月中旬から 9 月中旬にかけて全滅した。また、アサリはシオフキガイに比べて生残数の減少が緩やかであった(図 13)。

この原因を検証するため室内実験を行った結果、シオフキガイの貧酸素耐性は低く、DO1mg/l未満で実験開始から 71 時間後に全滅したのに対して、アサリは約 7 割弱が生残していた(図 14)。一方、塩分耐性をみると、貧酸素耐性とは逆にシオフキガイのほうがアサリに比べて強いことがわかった(図 15)。

以上のことから、シオフキガイが全滅した原因は貧酸素水によるものと推測された。すなわち、送気量を 110l/min に増量しても、砂泥中に生息する二枚貝で貧酸素に弱い種には十分なものとはなっていないことを示している。この原因としては、微細気泡が海底の干潟面に十分に届いていないことが考えられた。ただし、干潟内の底生動物は、2003 年に比



(A)はアサリ、(M)はシオフキガイ
図13 生存個体数の時系列変化(2004年)

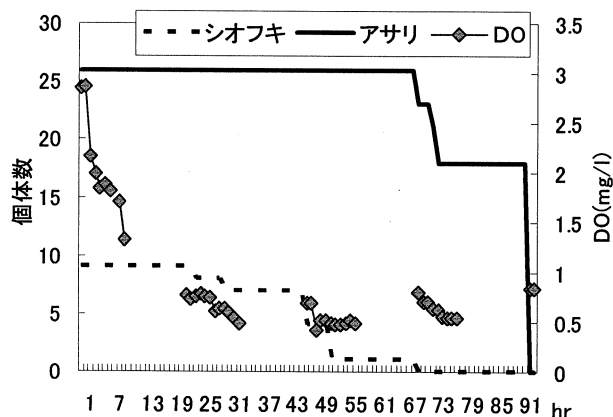


図14 シオフキガイ・アサリのDO耐性実験

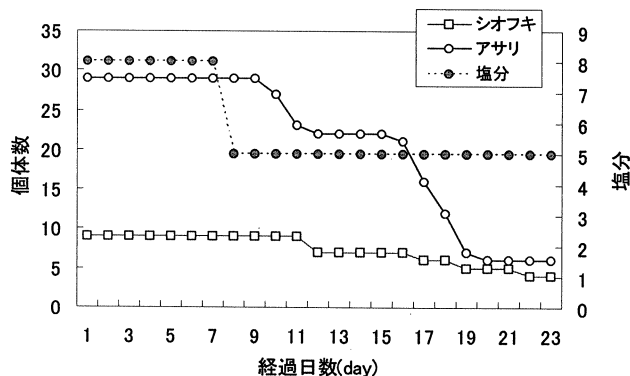


図15 アサリ・シオフキガイの塩分耐性実験

べて曝気している干潟内では確実に増加(図18)しており、底生動物全体としては装置の効果が発現したと判断できる。

(3) 2005 年の実験

2004 年の実験では、送気量を増加させたことにより底生動物全般の改善につながったが、砂泥中に生息する二枚貝への酸素供給には十分なものとなっていなかった。そこで、装置Aの散気管を4本にし、かつ散気管を下向きにして極力干潟面に放出された酸素が届くように工夫してアサリで実験を行った。

その結果、7~10 月間のアサリの生残数(図16)は、山砂で 50%、干潟外で 20%と山砂では干潟外の 2.5

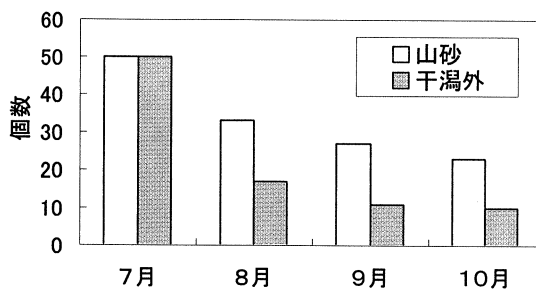


図16 干潟内と外でのアサリの生存個体数の月別変化(2005年)

倍の値を示した。この傾向は 2004 年(生残率は干潟外>洗砂>山砂の順)とは逆である。しかも、殻長や殻付き湿重量(図17)の成長量の順は、いずれも山砂>洗砂>干潟外であり 2004 年の結果と比べると、干潟内の生息環境は改善されていることがわかる。

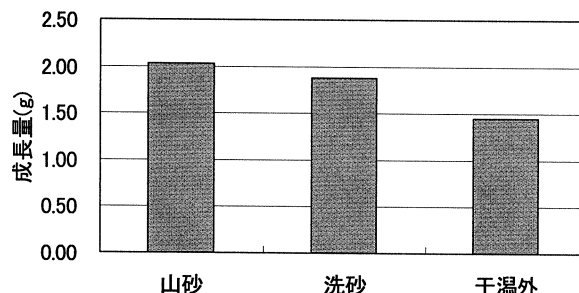


図17 7-10月間のアサリの平均成長量(g)(2005 年)

干潟内(山砂と洗砂)外における底生動物の生息状況を、装置設置以前の 2000 年から個体数の推移(図18)でみると、装置設置年には前年と比べてほとんど変化が見られなかったが、2 年目以降から明らかに干潟内で増加傾向を示していることがわかる。

これに対して干潟外の個体数は減少傾向であり、干潟内では曝気により貧酸素水が軽減され底生動物の増加につながったと推測される。生物の場合、ダメージへの影響は短期間で現れる場合が多いが、改善の傾向は短期間では、発現しにくく長期的な観察が必要と考えられる。また、生息環境は DO のみならず、複数の要因が絡み合っており、3 年間の実験結果のなかにも DO の変動だけでは説明できない変

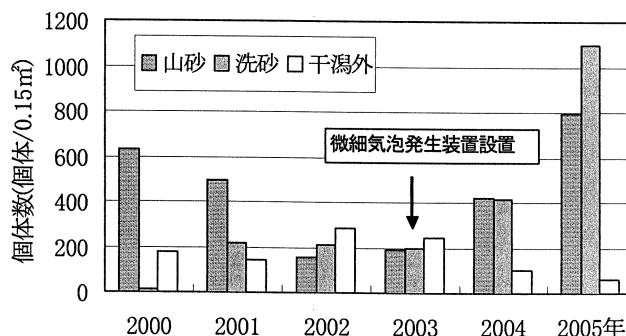


図18 装置設置前後の底生動物の経年変化(8月)

化が見られた。山砂は細砂(80%)が中心で透水性が悪いため還元的になり易いが、含水率が高いため干出時でも適度に水分が保たれ夏場の地温の上昇を抑えることができる。一方、洗砂は粗砂(80%)が中心で中央粒径 0.5mm と大きいため、透水性がよく、底質中は酸化的状態が維持されるが、干出時には水分を維持するのが難しく夏季には地温の上昇を招きやすいという特徴がある。また、アサリ・シオフキガイの生残・成長実験では、L40×W40×H20cm の金網製の籠に 50-100 個体という高密度で、かつ半地中式で設置し上部を金網の蓋で閉じるため、環境の変動に対応して自由な移動に制約が生じること、波浪による砂泥の移動により籠が砂泥に埋没する場合があることなどが生じるため、二枚貝にとってはストレスの発生する実験といえる。

このような要因が重なり、実験結果にバラツキが生じたと考えられるが、長期的にみた場合、本装置は貧酸素水の影響を軽減し、人工干潟の底生動物の生息に有効に機能したと考えられる。

4. まとめ

2003 年～2005 年の 3 ヶ年にわたる実証実験から以下のことが明らかとなった。

(1) 実験に供した微細気泡発生装置は干潟内の DO 濃度を上昇させ、干潟内の底生動物の保全に有効であったが、その効果にはバラツキがみられ、DO 以外の要因も大きく影響していることが推測された。

(2) 生物への影響実験は、短期間の実験では効果が顕著に現れにくく、その傾向を把握するためには数年程度の実験期間が必要となることが推測された。

(3) また、人工干潟に浸入する貧酸素水塊の影響を軽減し、魚介類の再生産機能を安定的・効果的に維持していくためには、①微細気泡発生装置の効果が及ぶ範囲を汚濁防止膜等で囲い、一定水域内の DO 濃度を最低でも 2mg/l 以上を安定的に確保すること、②気泡の発生する散気管は、できる限り面的に広い範囲でかつ底生性の魚介類にも効果的に酸素が供給されるような位置・形状とすることが必要となる。

今後は、省エネルギーの視点から小規模な DO 改善スポットを複数設け、ネットワーク化することにより干潟全面の生態系を維持できるようにするとともに、自然エネルギーを活用したシステムの開発により、低ランニングコストで効果的な酸素供給装置の開発が重要となる。

謝辞:本研究は、住友財団および日鉄鉱業株式会社の研究助成を得て実施したものである。微細気泡発生装置については、日鉄鉱業株式会社高木史男研究開発部長及び森機械製作所の森光典氏のご協力を得た。実験場所等については、東京都港湾局辰巳防災事務所緑地公園課の皆様、(財)東京港埠頭公社南部公園管理事務所施設整備係の鈴木健一係長様を始めとする皆様に多大な御協力をいただきました。また、東海大学海洋学部海洋科学科教授佐藤義夫先生には、分析等で多大なご協力をいただきました。謹んでお礼を申し上げます。

引用文献

- 1) 佐々木淳・小出摩耶子・長田正行・柴山知也・磯部雅彦：東京湾三番瀬における微細気泡発生装置を用いた青潮水改善効果の数値的検討，海岸工学論文集，第 50 巻，pp981-985，土木学会，2003。
- 2) 鯉淵幸生・磯部雅彦・佐々木淳・藤田昌史・五明美智男・栗原明夫・田中真史・Mohammad Islam・鈴木俊之：貧酸素水改善に向けた現地微細気泡実験，海岸工学論文集，第 51 巻，pp1156-1160，土木学会，2004。
- 3) 木幡邦男・樋渡武彦・市村康・村田憲要・木村賢史：人工干潟における微細気泡発生による二枚貝に与える影響，第 39 回日本水環境学会年会講演集，p106，2004。
- 4) 瀬尾亮平・市村康・木幡邦男・木村賢史・樋渡武彦・村田憲要・森光典・田中宏史：大井人工干潟における曝気の効果について，第 39 回日本水環境学会年会講演集，p105，2004。
- 5) 法月玲子・阿部和代・斎藤奈都子・木村賢史・木幡邦男・市村康・西村修・稲森悠平・須藤隆一・田中宏史・森光典，人工干潟における貧酸素水塊がシオフキガイに与える影響—微細気泡発生による効果—，第 39 回日本水環境学会年会講演集，p107，2004。
- 6) 木幡邦男・樋渡武彦・市村康・村田憲要・木村賢史・篠塚由美・渡辺正孝：干潟・人工干潟における二枚貝の成長と環境，第 7 回日本水環境学会シンポジウム講演集，pp51-52，2004。
- 7) 東京都環境局：公共用水域水質測定結果(資料編)，京浜運河勝島橋，平成 14 年度～平成 16 年度。
- 8) 木村賢史・市村康・坂巻隆史・西村修・稲森悠平・木幡邦男・須藤隆一：人工干潟における水質浄化機能に関する解析，海岸工学論文集，第 49 巻，pp1306-1310，2000。