有明海の再生に向けた人工巣穴による底質及び生物生息環境改善効果

IMPROVEMENT TECHNOLOGIES OF SEDIMENT AND HABITAT ENVIRONMENT WITH SETTING UP "ARTIFICIAL NEST HOLE" TOWARDS REHABILITATION OF ARIAKE BAY

丸山繁[1]・滝川清[2]・増田龍哉[3]・森本剣太郎[4]
Shigeru MARUYAMA, Kiyoshi TAKIKAWA, Tatsuya MASUDA and Kentaro MORIMOTO

[1]正会員　熊本大学研究員　沿岸域環境科学教育研究センター（〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1）
[2]フェロー　工博　熊本大学教授　沿岸域環境科学教育研究センター（〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1）
[3]正会員　熊本大学研究員　沿岸域環境科学教育研究センター（〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1）
[4]正会員　博(工)　熊本大学研究員　沿岸域環境科学教育研究センター（〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1）

It is feared that Ariake Bay has recently fallen into a vicious cycle of rapid environmental degradation that includes changes in biota and decreases in its number and species, as well as water quality and sediment deterioration. In particular, sediment deterioration is one of the major factors causing hypoxia and other signs of environmental degradation. As a part of restoration technologies, we performed to restore the sediment with setting up some kinds of "artificial nest hole", which employs water level difference and tidal current and transports upper layer water into the sediment in the sea and tidal flat area. As a result, the sediment made better slightly, on the other hand, the habitat expected as environmental remediation of sediment had improved markedly.

Key Words : *Ariake Bay, artificial nest hole, sediment, benthos, diversity index, standing crop*

1．はじめに

有明海では，近年の生物相の変化と，その種と数の減少，赤潮の多発，水質・底質の悪化など，急激な環境悪化の悪循環に陥っているものと懸念されており，環境改善のための効果的な対策の実施が切望されている．ことに底質の泥化・嫌気化など，底質環境の悪化が著しいことに着目し，筆者らは，底質環境の改善技術の開発を目的として，約 10 年前より有明海の熊本県沿岸域で「耕耘による干潟の底質改善」，「人工潟湖干潟の創生」，「なぎさ線の回復」などの現地実証試験を実施してきた．

また，それらの一環として，有明海特有の潮汐の干満差による水位差や潮流を利用し，堆積物中に上層水を輸送する「人工巣穴」を考案し，約 2 年前より現地に設置することで，有機物分解の促進や底質を好気化することによる底質環境改善を図ると共に，人工巣穴設置による生物生息環境を再生する技術開発にも取り組んできた．

本研究では，一部継続調査中もあるが，これまで約 2 年間の人工巣穴設置による底質改善と生物生息環境改善効果について報告する．

2．人工巣穴の概念・形状

(1) 人工巣穴の概念

人工巣穴による底質改善とは，**図-1** に示すように土中部に多孔部を有する通水パイプ（巣穴）を人工的に再現し，干潮時に干出する干潟域では水位差，干出しない海域では潮流を利用し，底質内に上層水を輸送し人工巣穴周辺の底質を好気的環境へ改善する技術である．また，人工巣穴を設置することで底質環境の改善に伴い生物生息の場が復元され，これまで以上の多様な生物生息が実現すれば，生態系が有している自己再生機能(浄化機能)が期待できる．

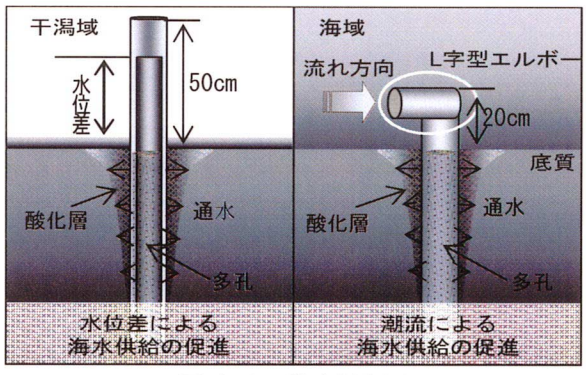

図-1 人工巣穴概念図

(2) 人工巣穴の形状

a) 平成 18 年設置の人工巣穴の形状

人工巣穴を平成 18 年と平成 19 年の 2 回に分けて現地に設置した.平成 18 年に設置した人工巣穴の形状及び大きさは,現地への設置の容易さ等を考慮し,**写真-1** に示すように直径5cmの塩ビ管を50cm×50cmの正方形に組み,底質埋め込み部(L=50cm・写真上中)を 4 本連結させる形状とした．また，材質の違いによる底質改善効果を把握するために，底質埋め込み部の材質には既製品のドレーン管を 2 種類採用した.これらの形状やドレーン管から，「ドレーンタイプ」（以下，ドレーン)，「MAX ドレーンタイプ」（以下，MAX ドレーン)， MAX ドレーン管をU字型（U 字部分の埋め込み深さ約 20cm）に連結して横方向に上層水を送り込む「U 字タイプ」（以下，U 字）の 3 タイプを製作した.

ドレーン管の底質内へ埋め込む部分（L=50cm）の多孔面は，写真（左上）に示すように 1mm×8mm の通水口を約 250 個有し，その通水口より上層水が水圧・潮流によって底質内へ通水される．また，干潮時に干出する干潟域では**図-1** に示すように，上部に長さ 50cm の嵩上げパイプを取り付け,干出しない海域では潮流などの流れを利用するためにL字型のエルボーを取り付けた.

b) 平成 19 年設置の人工巣穴の形状

平成18年設置の2タイプが台風によって一部破損を受けたこともあり，平成 19 年は**写真-2** に示す形状の異なる「単管塩ビタイプ」(以下,単管塩ビ)・「単管ドレーンタイプ」(以下，単管ドレーン)・「多孔性巣穴 A・B タイプ」(以下，多孔性 A・多孔性 B)・「ポールタイプ」(以下，ポール）のシンプルな 4 種 5 タイプを新たに製作し，底質改善と生物生息環境改善効果を調べた.各人工巣穴の形状等を以下に示す.

①単管塩ビタイプ

直径 5cm，長さ 100cm の塩ビ管．半分の 50 cm を底質部に挿入し，引き潮時に管内に残された上層水が，**図-1** に示すように管内外の水位差で底質部へ輸送される.

②単管ドレーンタイプ

平成 18 年設置のドレーンタイプ（4 本組）を単管化したもの．直径 5cm，長さ 100cm で上部はエルボー付きの塩ビ管（50cm)，下部はドレーン管（50cm)で，その部分を底質に挿入し，干潮時の水位差，及び満潮時の潮流により上層水を底質へ輸送させる．なお，管内での浮泥堆積を防ぐため，当初より粗砂を管内に充填して設置した.

③多孔性巣穴 A・B タイプ

多孔性巣穴は悪化した水質を多孔内に生息する微生物で浄化する機能を有しているとされ，その機能を利用し巣穴内と周辺の底質・海水の浄化を促進させる．A タイプは 6 号砕石（5～13mm)，B タイプは 7 号砕石(2.5～5mm)を主材としたコンクリート製品．空隙率 20%，質量 20kg，全長 40cm(頭部直径 24cm ・長さ 15cm，中央部直径 20cm・長さ 15cm，下部円錐部直径 20cm・長さ 10cm）で構成．底質には上部の約 10cm を残し，それより下部を底質に挿入した.

④ポールタイプ

園芸用ポールを利用したもので，直径 4mm，長さ 125cm．底質には約 75cm 部分を挿入し，上部 50cm の部分が満潮時に潮流，干潮時には風により揺れが生じ,その揺れでポールと底質間に隙間を発生させ,底質内へ海水を流入させ底質の浄化を期待する.

3．現地実証試験方法

(1) 人工巣穴の設置

人工巣穴は**図-2** に示す坪井川河口の百貫港西側の干潟域，海域は，その沖合約 1km に設置した．平成 18 年設置（2 月 15 日）の人工巣穴は**図-3**，**4** に示すように，干潟域（**写真-3**)・海域ともにドレーン・MAX ドレーンを 50cm 間隔で 16 基,U 字も同じ間隔で 8 基設置した．また，平成 19 年設置（5 月 14 日）の干潟域（**写真-4**）では，**図-3** に示すように単管塩ビ・単管ドレーンを 100cm 間隔で各 16 本，多孔性Ａ・多孔性Ｂを 100cm 間隔で各 8 個,ポールは 20cm 間隔で

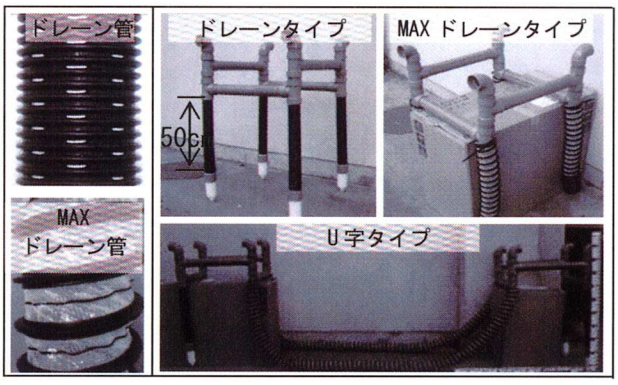

写真-1 平成 18 年設置人工巣穴

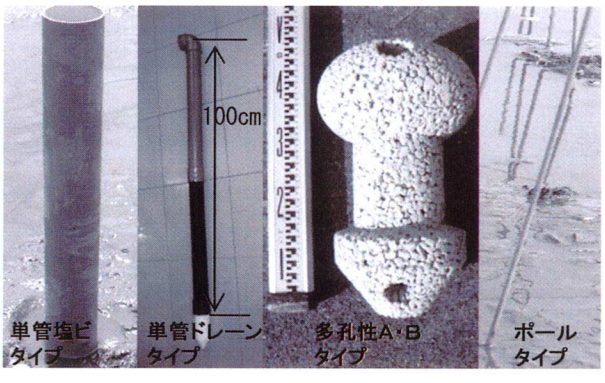

写真-2 平成 19 年設置人工巣穴

64本設置した．海域は**図-4**に示すように多孔性A・多孔性Bの2タイプのみを100cm間隔で各8個設置し，両域ともに巣穴設置点の脇に比較地点を設けた．

(2) 調査概要

a) 底質のサンプリング

干潟域の底質調査は直径7.5cmのステンレスサンプラー（2本），海域の底質調査は直径10cmのアクリルサンプラー（1本）を用い，約40cmの深さまで採泥した．採泥した試料は脱型後，表層（0～ 1cm）・上層（7～13cm）・中層（17～23cm）・下層（27～33cm）の4層に区分し各種の底質分析試料とした．

また，生物調査試料の採泥は，干潟域では25cm×25cmのコドラートで2回採泥(0.125m^2)，海域は15cm×15cmの港研式コドラートでダイバーを介し6回採泥（0.135 m^2）し，1mm目のフルイでふるい，フルイに残った底生生物を採取した．

各底質のサンプリング位置は比較地点も含め，**図-3，4**の図中に示す①～⑧の部分になる．平成18年設置の人工巣穴の場合，各タイプとも設置エリアの中心部で設置前の底質・生物用のサンプリングを行い，それ以降は図に示すように順次，巣穴と巣穴の間の約50cm部分でサンプリングを行った．平成19年も同様に，各タイプのエリアの中心部で設置前の採泥を行ったが，生物用の採泥は多孔性巣穴エリアで代表させ，それ以外のエリアは底質調査用試料のみとし，それ以降のサンプリングは図中の②～⑤の順番で行い，単管塩ビと単管ドレーンは人工巣穴4本の100cm×100cmの中心部，多孔性は巣穴間の約100cm部分でサンプリングを行った．

なお，人工巣穴設置後の調査日について**表-1**に調査順番の記号とともに示すが，平成18年設置の場合，設置4ヶ月後の6月と7ヶ月後の9月の台風の影響でMAXドレーンとU字の一部が破損したため，干潟域は6ヶ月後，海域は3ヶ月後で両タイプとも調査を中止しドレーンのみ継続調査した．しかし，ドレーンも平成19年7月と8月の台風の影響で一部が破損し，このため13ヶ月後までで調査を中止した．

b) 調査項目

各サンプラーで採取した底質は，物理特性として粒度組成・含水率，化学特性として硫化物・ＯＲＰ・ＣＯＤsed・強熱減量・ｐＨ・泥温，生物はマクロベントス種数・個体数・湿重量について調べた．

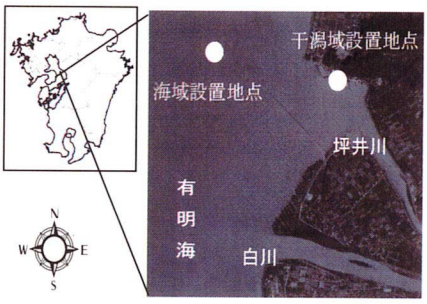

図-2 人工巣穴設置位置

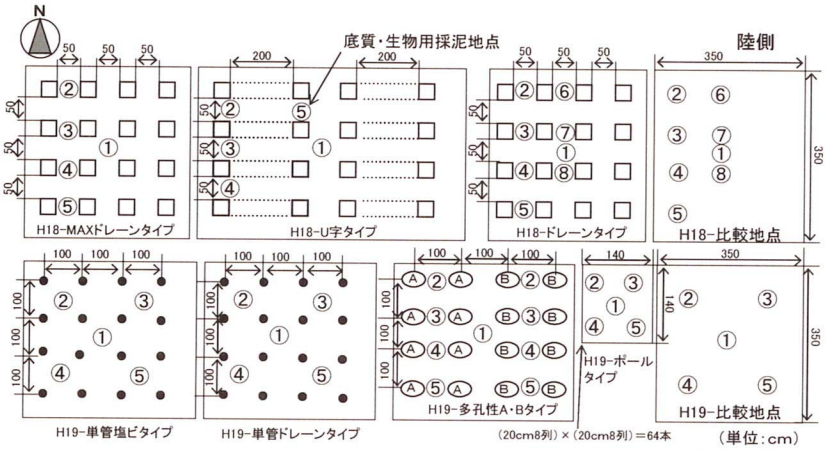

図-3 干潟域人工巣穴設置図

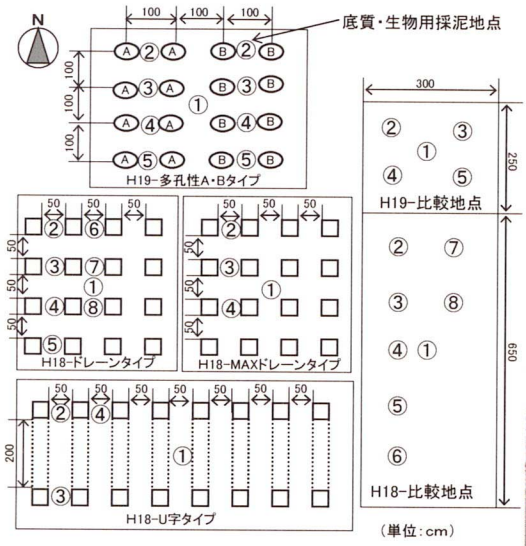

図-4 海域人工巣穴設置図

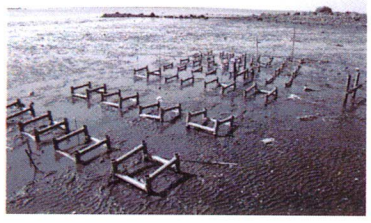

写真-3 H18干潟域設置人工巣穴

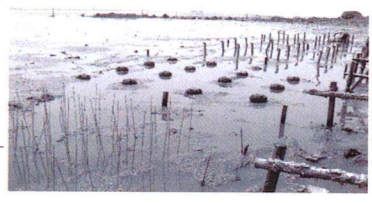

写真-4 H19干潟域設置人工巣穴

表-1 人工巣穴の調査日

記号	H18年設置調査日	記号	H19年設置調査日
①	設置前 H18/2/14	①	設置前 H19/5/14
②	1日後 2/16	②	2週間後 5/28
③	2週間後 2/27	③	3ヶ月後 8/10
④	3ヶ月後 5/25	④	6ヶ月後 11/7
⑤	6ヶ月後 8/25	⑤	9ヶ月後 H20/1/6
⑥	9ヶ月後 11/20		
⑦	12ヶ月後H19/2/2		
⑧	13ヶ月後 5/14		

4．現地実証試験結果

(1) 底質の含泥率

干潟域の粒度組成は，表層・上層ともにシルトを主体にした含泥率が 60～80%とバラツキがみられた．しかし，中層・下層の含泥率はほぼ 80%で下部の粒度組成は一定している．また，平成 18 年設置点と平成 19 年設置点の含泥率の差は少なかった．

一方，海域はシルトを主体にして，**図-5** に示すように表層・上層の含泥率は 50～80%，中層・下層は 60%～80%とバラツキがみられた．特に，表層・上層のバラツキの幅が大きく，海域の方は坪井川からの流入土砂や，潮流による堆積土砂で構成されているためか 30cm 程度の深度でも複雑な粒度組成を示している．なお，海域の含泥率は干潟域と比較して全体的に約 10%低い．

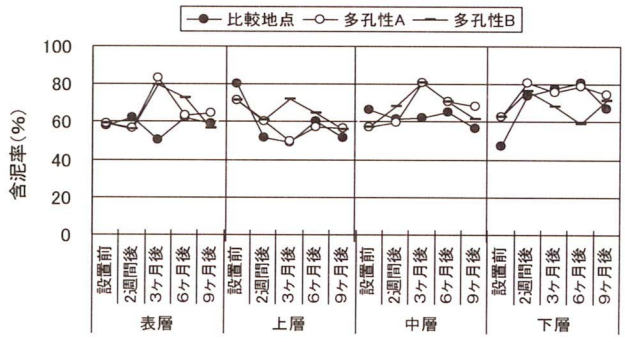

図-5 海域の含泥率変化（平成 19 年設置点）

(2) 底質の化学特性変化

a) 硫化物の変化

平成 18 年設置の干潟域では比較地点との差は余りみられなかったが，**図-6** に示すように海域で硫化物が設置 3 ヶ月後に比較地点の表層・上層で増加したが，ドレーンの設置地点で硫化物の増加が抑えられた．これは，人工巣穴による上層水の輸送で好気的な環境が維持されていたためと考えられる．

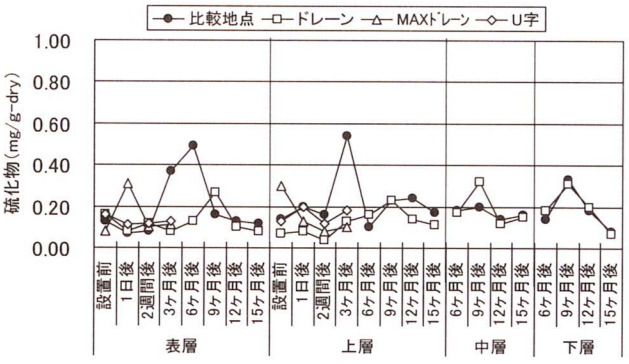

図-6 海域の硫化物変化（平成 18 年設置点）

平成 19 年に設置した人工巣穴では，**図-7** に示すように干潟域の硫化物は比較地点と巣穴設置点で明確な差はみられなかった．また，海域は多孔性の 2 タイプしか設置していないが同様な結果を示した．これは前年の 3 タイプの方が一時的ではあるが通水性に優れていたためと考えられる．

なお，平成 18 年設置の両域は，全体的に水産基準[1)]の 0.20mg/g-dry 以下の値を示し，良好な底質環境だが，平成 19 年設置点は逆に両域ともに水産基準を上回り，下部ほど環境が悪化している．

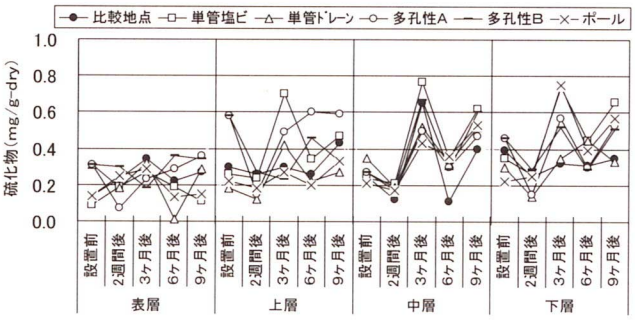

図-7 干潟域の硫化物変化（平成 19 年設置点）

b) ＯＲＰの変化

ＯＲＰは白金電極で測定したので全て水素電極値に換算した．その結果，平成 18 年設置の干潟域は各層で経過日数に伴い-100～-200mV で一定した．海域は**図-8** に示すように表層で嫌気的な傾向を示したが，上層・中層・下層ともに設置前で-100mV が経過日数に伴い 0～100 mV と好気的な環境へ変化しているが，各層ともに比較地点と巣穴設置点とのＯＲＰ値の差はなく，硫化物量のように一時的な効果は表れなかった．干潟域も同じような結果であった．また，平成 19 年設置の両域も同様な結果で，海域の表層で経過日数に伴い-150 mV が 100 mV へ好気化したが，各層とも比較地点と巣穴設置点とのＯＲＰ値の差はなかった．

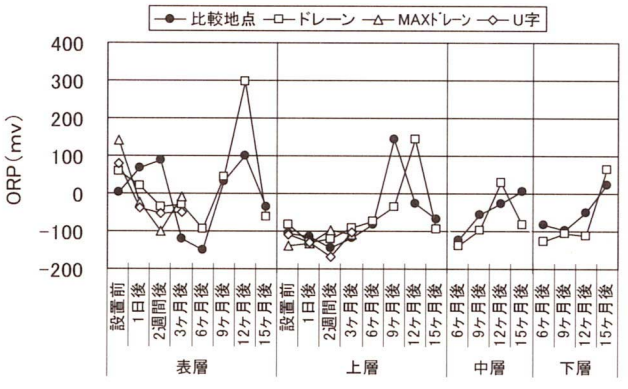

図-8 海域のＯＲＰ変化（平成 18 年設置点）

c) ＣＯＤsedの変化

ＣＯＤsedの測定結果の一例として平成19年設置の干潟域の変化を**図-9** に示すが，ほぼ 10～20mg/g-dryの値を示し，比較地点との明確な違いはみられず，海域は全体的に5～15 mg/g-dryの範囲で推移し，比較地点との差はみられなかった．

また，平成 18 年設置の両域で設置 6 ヶ月後の 8 月付近でＣＯＤsed の急激な上昇が現れている．しかし，比較地点のＣＯＤsed と余り変化がない．なお，一部で20mg/g-dry以上を示すが，両域とも全体的にＣＯＤsedは水産基準20mg/g-dry以下で，悪化は少ない底質である．

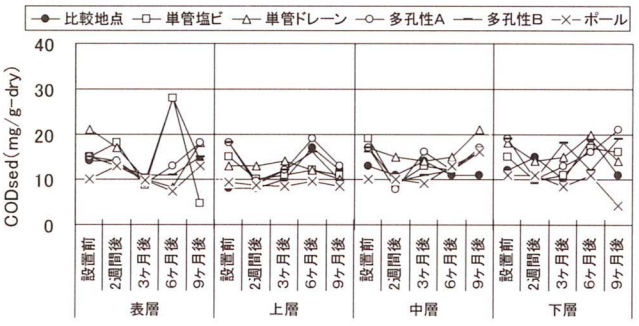

図-9 干潟域のＣＯＤsed変化（平成19年設置）

(3) 生物生息の変化

a) 生物の多様度指数変化

人工巣穴設置後の底生生物の生息状況を把握するために種数・個体数で多様度指数の変化を調べた．平成 18 年設置の人工巣穴設置による干潟域の多様度指数(H')を**図-10** に示し，同じく干潟域の平成 19 年設置の多様度指数の変化を**図-11** に示す．

図-10 に示すように平成18年設置干潟域のドレーンの多様度指数は，設置3ヶ月後から6ヶ月後で比較地点を下回ったが，それ以外の期間では豊かな多様性を示している．**図-11** に示す平成 19 年設置は，8 月の 3 ヶ月後に生物生息数の減少により 3 地点で現存量がゼロ近くまで低下したが，その後，比較地点の多様度指数の付近まで回復した．一方，海域の平成18年設置点では干潟域と同じように9ヶ月後以降は，ドレーンの方が多様性に富んでいる．しかし，平成 19 年設置点人工巣穴では比較地点と多孔性 A・B との間に多様性の差はみられなかった．

なお，平成 18 年干潟域の比較地点の調査期間中の種数は表在性・内在性併せて 2～12 種，個体数は 3～63 個，ドレーン設置点は 2～12 種・4～40 個，海域の比較地点は 7～35 種・15～313 個．平成 19 年干潟域の比較地点は 2～8 種・2～63 個，各巣穴の平均が 1～16 種・7～144 個，海域の比較地点は 7～20 種・15～313 個，各巣穴の平均が 2～24 種・22～277 個で，この値からも人工巣穴設置点の優位がみられる．

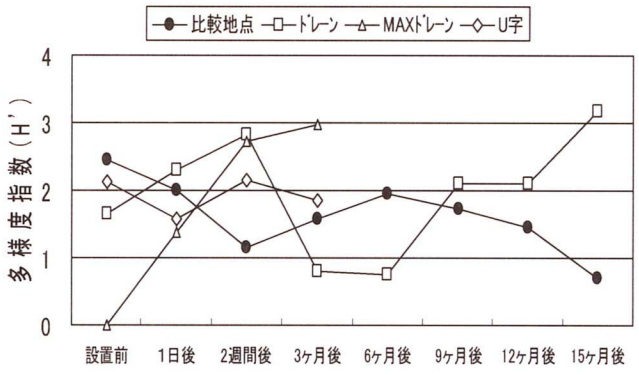

図-10 干潟域の多様度指数変化（平成 18 年設置）

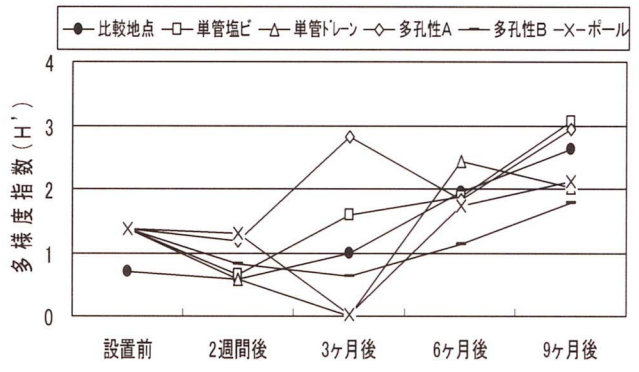

図-11 干潟域の多様度指数変化（平成 19 年設置）

b) 生物の現存量変化

図-12 に平成 18 年設置の干潟域，**図-13** に同じく干潟域の平成 19 年設置の単管ドレーンの堆積物食・懸濁物食別の現存量（湿重量 g/m²）を示す．**図-12** に示す干潟域のドレーンでは設置 6 ヶ月後（8 月）から，特に，懸濁物食のイタボガキ・コケガラス等の新たな出現に伴い現存量が増加した．海域は比較地点と巣穴設置点での現存量の差は小さく，干潟域と同じように 9 ヶ月後にサルボウガイやホトトギスガイの出現で，一時的に懸濁物食の現存量が 700 g/m² を越えたが，その後の 12 ヶ月後には他の巣穴や比較地点と同じ 40g/m² 付近に落ち着いた．

一方，平成 19 年設置の単管ドレーンでは，設置 6

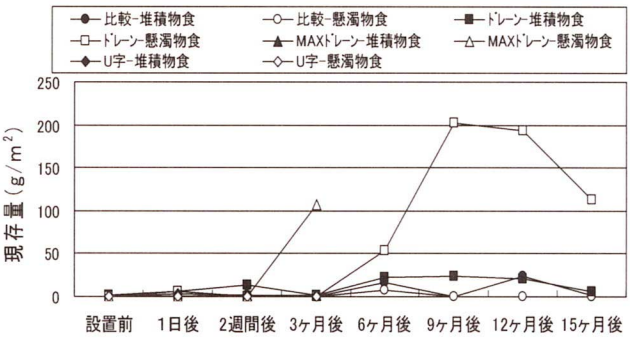

図-12 干潟域の現存量変化（平成 18 年設置）

ヶ月後（11 月）から堆積物食のマメコブシガニ・ケフサイソガニ・ヤマトオサガニ，懸濁物食のアサリ・アカフジツボが新たに出現し，現存量が比較地点より上回ってきた．他の巣穴でも単管ドレーンと同じような傾向がみられ，アサリ・イタボガキ・ドロフジツボなどの新たな出現で比較地点の懸濁物食の現存量を大きく上回っている．しかし，他の現存量は比較地点と差はない．

また，海域の多孔性 A では設置 9 ヶ月後の懸濁物食の現存量がアラムシロ・ハシケタイラギなどの出現で約 400g/m^2 と，比較地点の約 8 倍になっている．しかし，多孔性 B では 6 ヶ月後で懸濁物食・堆積物食ともに比較地点が巣穴設置点を上回っていたが，9 ヶ月後の調査では両方ともに逆転し，巣穴設置点が比較地点の 2～3 倍の現存量になっている．

このように，人工巣穴設置で特に懸濁物食の現存量が顕著に増加しており，海水の自然浄化が期待できると思われる．しかし，底質の自然浄化が期待される堆積物食のゴカイ類も新たに出現したが，湿重量が小さいため現存量の増加には寄与しなかった．

c) 人工巣穴への生物の着床・着生

今回の人工巣穴設置による現地実証試験では，生物生息の復元は，巣穴を設置した底質のサンプリングにより 1mm 以上の生物を対象とし，多様度指数，および現存量で評価した．

しかし，今回の現地実証試験では両域に設置した人工巣穴自体にも様々な生物が着床・着生，または産卵場所となった．**写真-5** は海域に設置した MAX ドレーンに着床したサルボウガイである．海域ではこの他，ニシガイ・サンショウウニ・チンチロフサゴカイ・イシガニなどの生息が確認され，ドレーン管内で数匹のアナゴの生息も確認された．

また，干潟域では**写真-6** に示すように多孔性巣穴に多くのカキやドロフジツボの着床がみられる．多孔性巣穴以外のパイプの巣穴周辺にはカキが，ポールでは直径が 4mm と細いためドロフジツボが多く着床していることから，底質に生息する生物と併せて自然浄化が期待できると思われる．

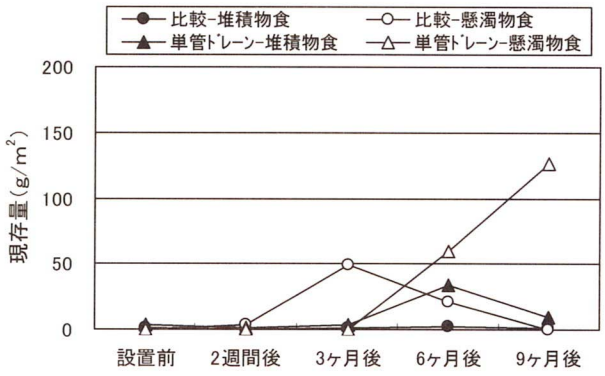

図-13 単管ドレーン現存量変化（平成 19 年設置）

写真-5 海域の MAX ドレーンに着床したサルボウガイ

写真-6 干潟域の多孔性巣穴に着床したカキ

5．おわりに

現地実証試験結果に示すように，人工巣穴設置による底質の化学的環境改善の効果は殆ど得られなかった．その要因として，巣穴の一部が途中で破損し上層水の輸送機能を果たさなかったことや，平成 19 年設置の形状の異なったものについては期待した機能を発揮しなかったためと考えられる．

その他に，パイプ系巣穴の上層水の底質内への 1 日当たりの輸送量（1 本あたり約 20 cm^3）を考慮すると，その効果は巣穴の極近い周辺だけと考えられ，巣穴と巣穴の設置間隔を，これまでより狭い 30cm 程度にしなければ化学特性の変化による底質改善効果は望めないと思われる．このため，特に平成 19 年設置点は間隔が 100cm としたことで，比較地点と巣穴設置点の化学特性に違いがみられなかったと思われる．

一方，生物生息環境の改善は，多様度指数や現存量の結果から，ある程度得られたと思われる．その要因として底質の環境改善からではなく，ある程度の生態系を有する干潟域・海域に，人工巣穴設置を設置することで，特に干潟域では底質表面の洗掘などによる水溜り，および巣穴そのものが新たな生物生息環境の場を提供できたと思われる．

以上の結果より，平成 19 年設置分については今後も調査を継続しつつ，巣穴の構造・設置間隔などを検討し，底質改善技術を確立していく予定である．

謝辞：本研究は，文部科学省技術振興調整費重要課題解決型研究等の推進「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験（平成 17 年～21 年度）」の補助によるものであり，記して謝意を表します．

参考文献

1) 社団法人日本水産資源保護協会：水産用水基準（2005 年版），pp. 5，2006.