

I 課題名

水産基盤整備調査委託事業 漁場整備の効果原単位等開発

II 実施機関名、部局名及び担当者名

一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所
第2調査研究部
伊藤 靖、松本 卓也、三浦 浩

III 実施年度

平成24年度～平成26年度

IV 緒言

1. 目的

大規模な漁場整備を実施していく上では、事業の効果範囲や効果の原単位を適切に設定していくことが必要である。

このうち水産環境整備事業では、環境基盤としての事業効果を検討するために、基礎生産の底辺である付着生物の状況とその要因となる海域環境を把握していくことが重要であると考えられる。

また、フロンティア整備事業で整備が進められている人工マウンド礁においては、湧昇効果のほか、人工マウンド礁本体への蛸集等による効果範囲を適切に把握することが重要である。

このため、本事業では、これらの大規模漁場整備を実施していく上で把握が必要となる諸係数（原単位等）について、現地観測調査等を踏まえて手法開発を行うものである。

2. 調査概要

本事業は、平成24年度から平成26年度までの3カ年実施した。主な調査項目は以下のとおりである。

(1) 水深別付着生物量と環境要因の把握

① 生物情報の把握

水深別の生物付着状況を明らかにするため、水深20m、40m、90mに設置された漁場施設にテストピースを設置し、生物の付着状況をモニタリングした。

また、付着生物の生産と関連深い生物情報（植物プランクトン、動物プランクトン、底生生物、魚類蛸集）も併せて収集した。

② 環境情報の把握

生物生産と環境条件の関係を把握するため、テストピースを設置した各水深帯において水温、塩分、流況、栄養塩類、底質について調査した。

③ 効果原単位の検討

①、②の結果を踏まえ、調査海域における水深帯別の漁場施設付着生物量の原単位について考察した。

(2) 構造物内部における生物付着状況

① 付着生物の分布調査

人工マウンド礁の間隙に見立てた塩化ビニール製のパイプ（以下；塩ビパイプ）を設置

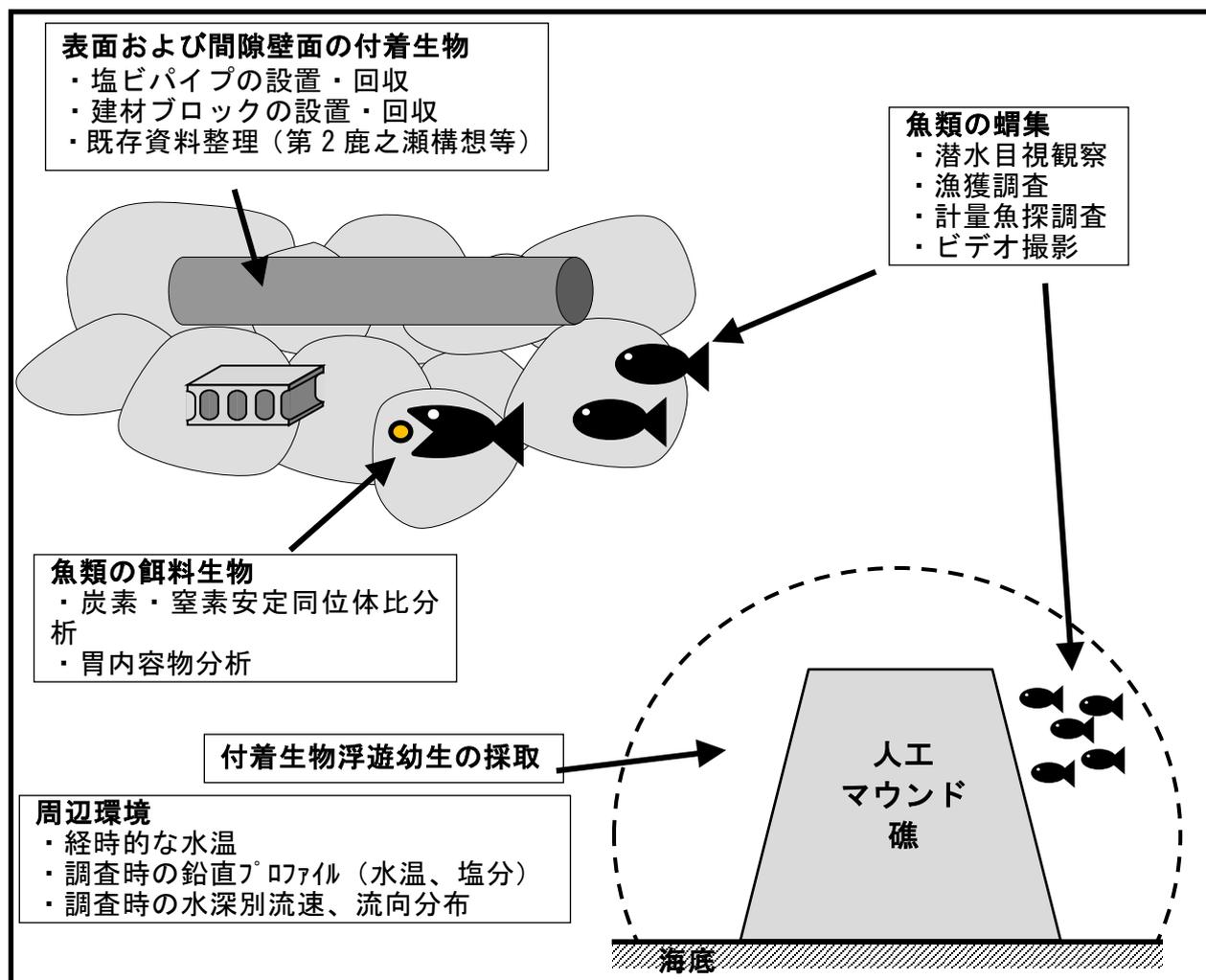
し、その内側及び外側壁面の付着生物の奥行に対する現存量と分布の変化を把握した。

② 魚礁効果調査

潜水目視観察、漁獲調査、計量魚探調査および人工マウンド礁間隙内側の定点ビデオ撮影を行い、人工マウンド礁に蛸集する魚類の種類を把握し、蛸集量を推定した。

③ 付着生物の餌料性の把握

人工マウンド礁に蛸集する魚類と付着生物による炭素と窒素の安定同位体比分析および魚類の胃内容物分析を実施し、魚類と付着生物の捕食-被捕食関係を把握した。



図IV.1 調査項目模式図

V 調査方法

V.1 水深別付着生物量と環境要因の把握

V.1.1 付着生物調査

平成 24 年 5 月に図 V.1.1 に示す対馬東海域の水深の異なる 3 箇所に付着板を設置した。

水深 90m 地点はマウンド礁直近、水深 40m 地点は人工魚礁上、水深 20m 地点は岩盤上に設置した。

水深 20m 地点も人工魚礁上に設置する計画であったが、予定の水域に人工魚礁を確認することができなかつたため、岩盤上に設置した。

各水深における付着板の設置・回収方法等は次のとおりである。

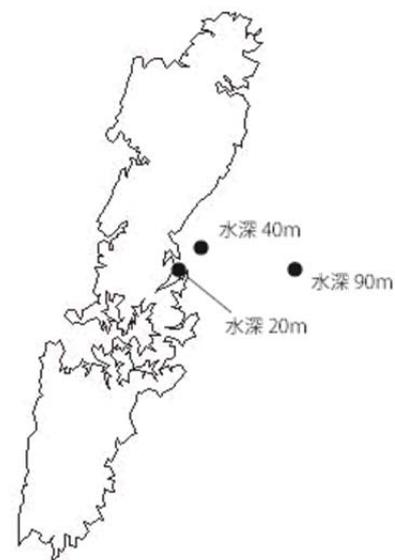


図 V.1.1 調査地点図

●水深 90m

20 cm×20 cm×20 cm のコンクリート製のテストピースを 80 cm 立方の枠に固定し、10 個をマウンド礁直近に船上より投入した。

付着板の回収は、設置から 5 ヶ月後の平成 24 年 10 月から半年毎に行った。

回収したテストピースは水平面と垂直面から 0.04 m² ずつ生物を剥ぎ取り、種の同定、種毎の個体数、湿重量について計測した（ただし、種レベルで同定が困難な種類は属以上の分類群に止めた。このことはプランクトン等の他の生物についても同様である）。

また、平成 19 年に同地点に設置した付着板を平成 24 年 5 月、平成 25 年 10 月、平成 26 年 5 月に回収し、上記の分析を行った。

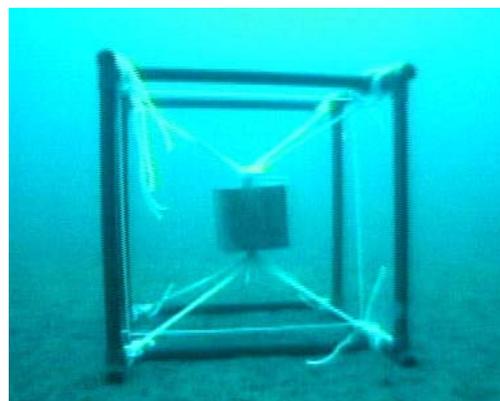


図 V.1.2 水深 90m の付着板

●水深 40m

20 cm×20 cm×10 cm のコンクリート製テストピースを潜水により、人工魚礁上に設置した。付着板の回収は、水深 90m 同様、平成 24 年 10 月から半年毎に行った。また、平成 25 年 6 月から、魚礁本体の付着生物のはぎ取りも行い、両者の生物相を比較した。

さらに、平成 25 年 6 月、10 月及び平成 26 年 5 月には、テストピースを布袋に入れて回収する方法とそうでない方法の 2 通りを採用し、匍匐性の生物の脱落具合を考察した。

●水深 20m

20 cm×20 cm×10 cm のコンクリート製テストピースを潜水により、岩盤上に設置した。水深が浅いため、波浪による転倒・移動防止のためクレモナロープで付着板を連結し、ロープの両端を岩に縛り付け固定した。

付着板の回収計画は基本的には他の水深帯と同様であるが、平成 25 年度は年 4 回の回収を行い、生物付着の状況変化をより細かくみることにした。

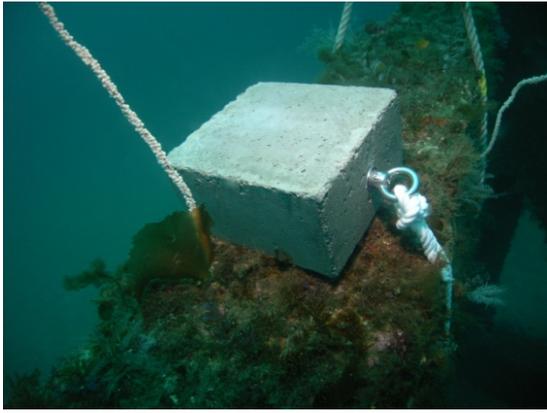


図 V.1.3 水深 40m の付着板



図 V.1.4 水深 20m の付着板

V.1.2 環境調査

漁場施設への生物付着に関連する諸環境について、以下の調査を実施した。

(1) 流況調査

付着生物幼生の供給に関与する流況を下記の方法で調査した。

平成24年8月の大潮期に曳航式ドップラ一流速計 (ADCP、Teledyne-RD Instruments 社製) を搭載した調査船で、測点を中心とした 500m 四方の水域を上げ潮時と下げ潮路の 2 回走航し、表層から底層までの流向・流速を測定した。また、海底地形を把握するため、GPS ソナー (HDS - 5、LOWRANCE 社製) による水深測定も行った。

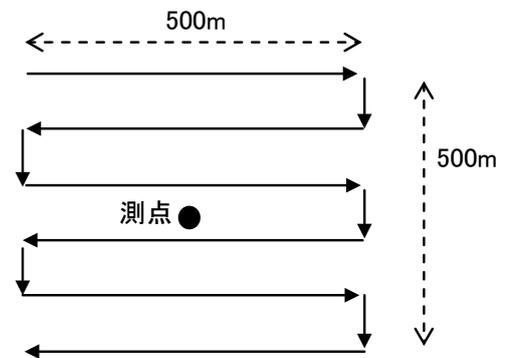


図 V.1.3 流況計測測線

(2) 水温調査

温度計測データロガー (TidbiTv2 Onset 社製) を付着板に取り付け、付着板設置期間中の水温を 3 時間間隔で測定した。

(3) 栄養塩類調査

栄養塩類は付着生物の餌料となる植物プランクトンの増殖因子である。

各測点の表層及び底層において、バンドーン採水器を用いて採水し、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、全窒素、全リンについて計測した。

(4) 植物プランクトン調査

各測点の表層及び底層において、バンドーン採水器を用いて海水 2L を採取し分析試料とした。分析項目は種類、種毎の細胞数とした。

(5) 動物プランクトン調査

付着生物の餌料であり、また、一部の種類が付着生物の幼生として出現する動物プランクトンを、閉鎖式プランクトンネットを用いて各測点の表層 (水深 10m ~ 海面)、底層 (海底 ~ 海底上 10m) を鉛直曳きし採集した。分析項目は種類、種毎の個体数とした。

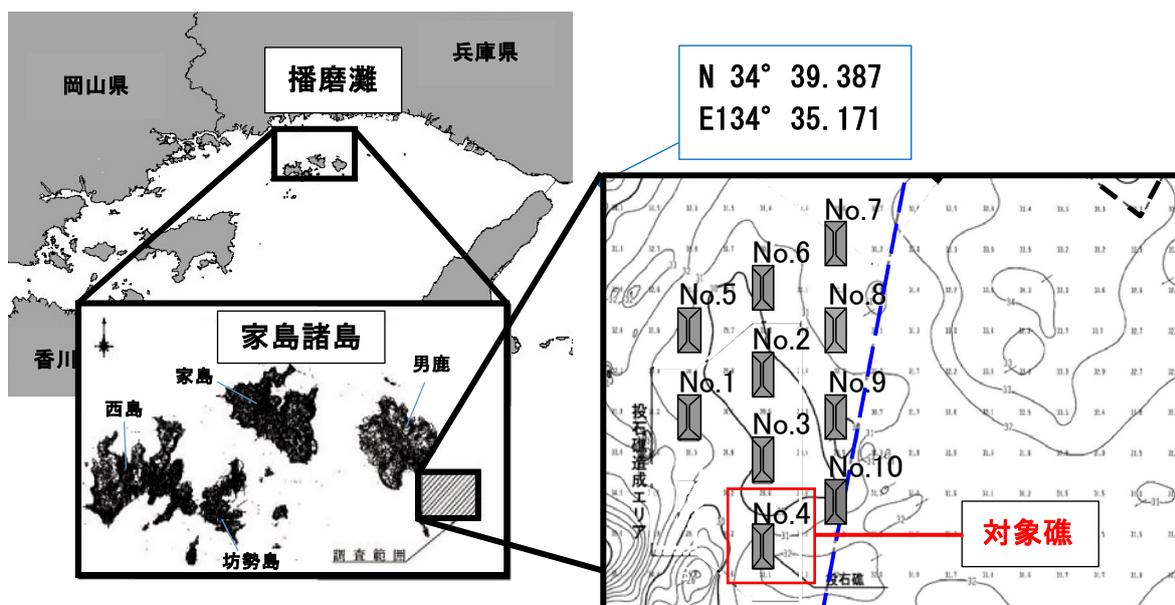
V.2 構造物内部における生物付着状況

V.2.1 付着生物の分布調査

(1) 調査場所

① 調査海域

調査は、瀬戸内海播磨灘北部の兵庫県姫路市家島町宮男鹿島地先の水深約 30 m の海域（以下；家島海域）に造成されている人工マウンド礁で行った（図 V.2.1）。人工マウンド礁は、家島海域に全 10 基設置されており、本調査は 2007 年に造成された人工マウンド礁 No. 4 を対象とした。

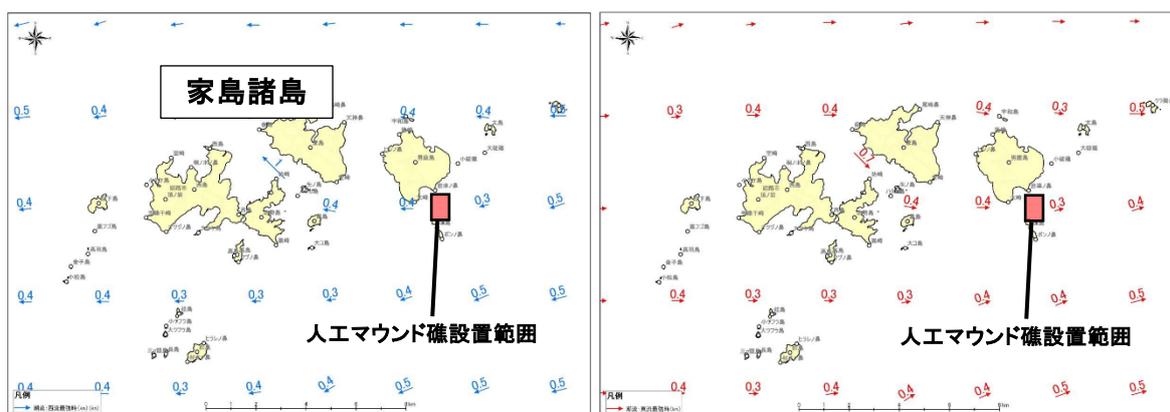


家島諸島海域（兵庫県姫路市家島町宮男鹿島地先）

図 V.2.1 調査位置図

② 調査海域の流れ

家島海域は、東西方向の潮流（0.3 kn）がある（図 V.2.2）。

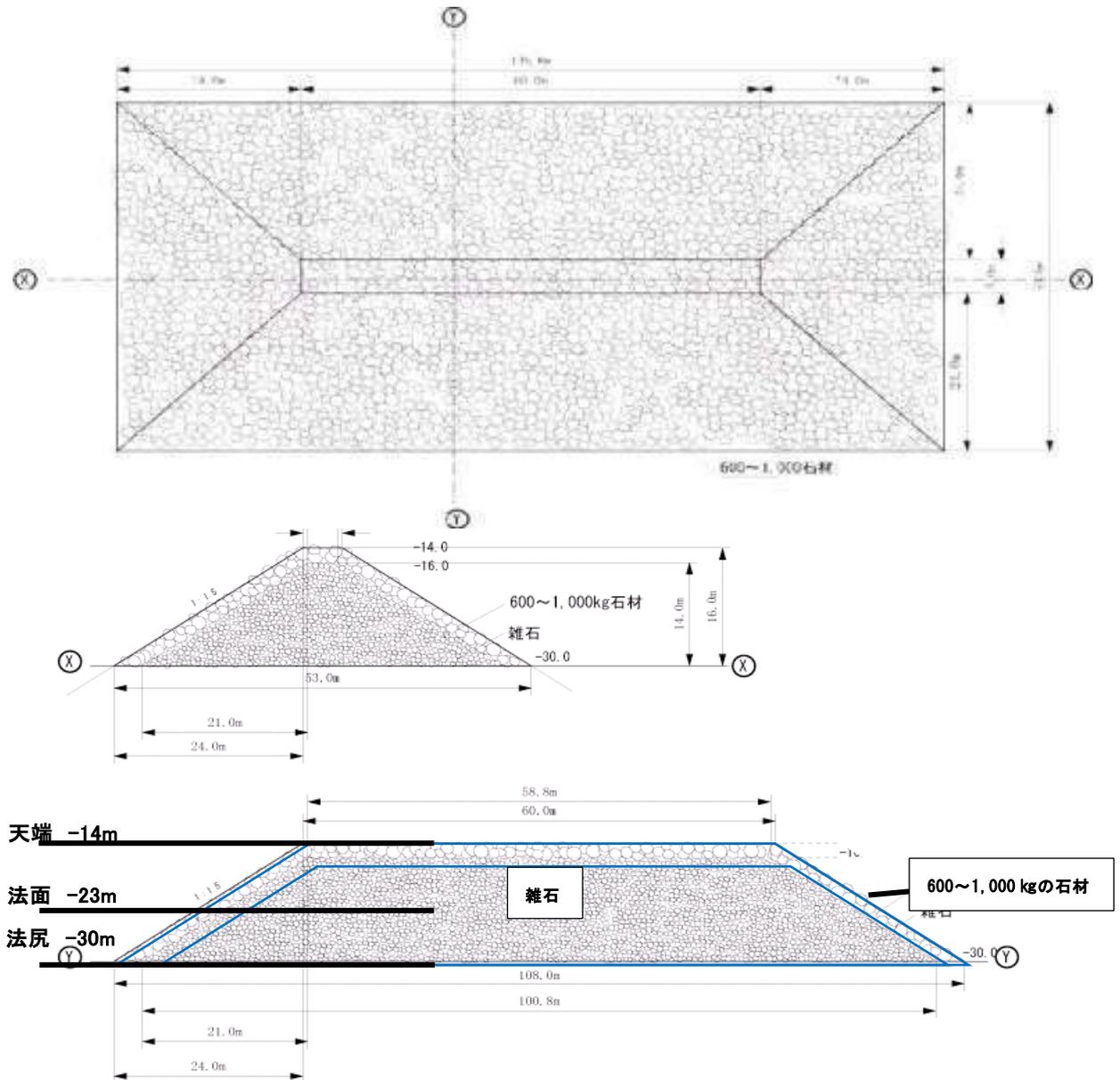


※ 平成 25 年度 第 2 の鹿ノ瀬構想の推進 報告書参照

図 V.2.2 事業候補海域の流況（左図：明石海峡西流最強時、右図：東流最強時）

③ 家島海域の人工マウンド礁の構造

人工マウンド礁1基の大きさは長さ108m×幅53m×高さ16mで、水深は天端が14m、法面が23m、法尻が30mとなっている。グラブ式ガット船を用いた船上からの投入により、人工マウンド礁の表面から厚さ2mは600~1,000kg（直径約1m）の石材で覆われ、それよりも内側は雑石が積まれている。そのため、石材と石材の間には間隙が形成されている（図V.2.3）。



人工マウンド礁（水深30m、長さ108m×幅53m×高さ16m）

図V.2.3 家島海域の人工マウンド礁模式図

(2) 塩ビパイプの設置、回収

人工マウンド礁の間隙に見立てた塩ビパイプを設置・回収し、付着生物量を把握した。

① 塩ビパイプ内側の付着生物

塩ビパイプの設置は、平成 22 年 8 月および平成 24 年 9 月の計 2 回行った。設置および回収の概要を以下に示す。

● 平成 22 年 8 月設置の塩ビパイプ

使用した塩ビパイプは全て長さ 3 m、透過率 0% であり、直径 20 cm もしくは 30 cm とし、天端（水深 15 m）、法面（水深 23 m）、法尻（水深 30 m）の 3 層に各 3 本ずつ平成 22 年 8 月に（表 V.2.1）に、開放側を西側とし、東西方向に設置した。塩ビパイプの固定は潜水土により、チェーン（直径 19 mm、長さ 1.5 m、総重量 11.7 kg）で行った。

回収は、平成 23 年 1 月（設置から 0.5 年後）、平成 23 年 7 月（1 年後）、平成 24 年 1 月（1.5 年後）に各水深から 1 本ずつとした（表 V.2.1）。

また、直径 20 cm、長さ 5 m、透過率 0% の塩ビパイプを各水深に 1 本ずつ設置した。回収は、設置から平成 24 年 9 月（2 年後）に各水深から 1 本ずつとした。

回収した塩ビパイプは、20 cm、30 cm の直径別に動物群別付着生物量（湿重量/m²）を計測した（表 V.2.2）。

表 V.2.1 平成 22 年 8 月に設置した塩ビパイプの実施年月別の塩ビパイプ回収本数

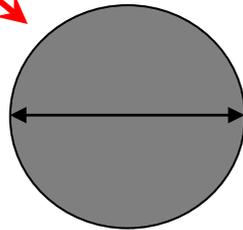
ケース	設置層	直径 (cm)	長さ (m)	透過率 (%)	本数					
					実施年月	H22.8	H23.1 (0.5年)	H23.7 (1年)	H24.1 (1.5年)	H24.9 (2年)
					項目	設置	回収	回収	回収	回収
①	天端	20	3	0		3	1	1	1	
②		30	3	0		3	1	1	1	
③	法面	20	3	0		3	1	1	1	
④		30	3	0		3	1	1	1	
⑤	法尻	20	3	0		3	1	1	1	
⑥		30	3	0		3	1	1	1	
⑦	天端	20	5	0		1				1
⑧	法面	20	5	0		1				1
⑨	法尻	20	5	0		1				1

表 V.2.2 解析内容と解析に用いた塩ビパイプ

番号	比較内容	比較に用いた塩ビパイプのタイプ	比較対象 (表 V.2.1 参照)
(1)	直径別の比較 (直径 20 cm、30 cm)	長さ 3 m、透過率 0%、H22.8 設置	①と②、③と④、⑤と⑥

平成 22 年 8 月に設置した塩ビパイプの設置概要

開放側
(蓋なし)



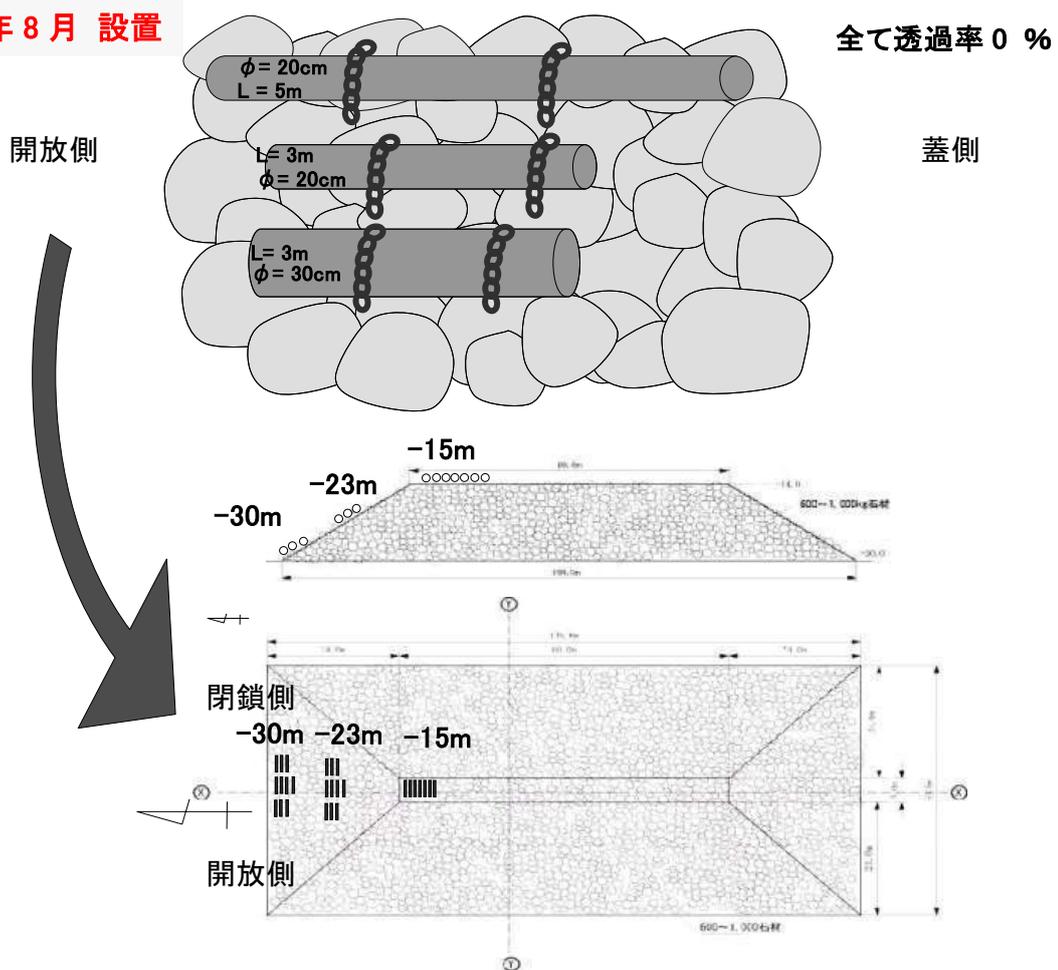
直径 20 cm または 30 cm

透過率 0%

設置層	直径 20 cm 長さ 3 m	直径 30 cm 長さ 3 m	直径 20 cm 長さ 5 m
天端	3 本	3 本	1 本
法面	3 本	3 本	1 本
法尻	3 本	3 本	1 本

図 V. 2. 4 設置した塩ビパイプの模式図

平成 22 年 8 月 設置



全て透過率 0 %

図 V. 2. 5 塩ビパイプの設置概要 (平成 22 年 8 月設置)

●平成 24 年 9 月設置の塩ビパイプ

使用した塩ビパイプは直径 20 cm、長さ 5 m であり、透過率*0 %および 20 %のものを天端（水深 15 m）、法面（水深 23 m）、法尻（水深 30 m）の 3 層に各 3 本ずつ、水深-23 m のみに透過率 100 %3 本を設置した（表 V. 2. 3）。

塩ビパイプの設置方法は、平成 22 年 8 月と同様である。

回収は、平成 25 年 1 月（設置から 0.5 年後）、平成 25 年 10 月（1 年後）、平成 26 年 9 月（2 年後）に各水深から各透過率の塩ビパイプを 1 本ずつとした（表 V. 2. 3）。

これらの塩ビパイプについて、透過率別および奥行に対する動物群別付着生物量（湿重量/ m²）を計測した（表 V. 2. 4）。

※ 全ての塩ビパイプの片側は完全に開放されており、もう一方の片側の蓋を全て閉鎖したものが透過率 0 %、その蓋に直径 4 cm の穴を 5 つ開けたものが透過率 20 %、蓋を全て開放したものが透過率 100 %を示す。

表 V. 2. 3 平成 24 年 9 月に設置した塩ビパイプの実施年月別の塩ビパイプ回収本数

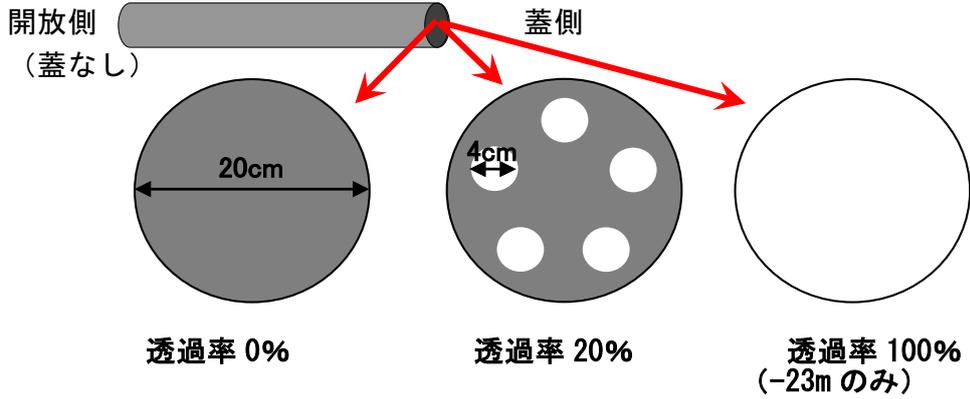
ケース	設置層	直径 (cm)	長さ (m)	透過率 (%)	本数					
					実施年月	H24.9	H25.1 (0.5年)	H25.10 (1年)	- (1.5年)	H26.9 (2年)
					項目	設置	回収	回収	回収なし	回収
⑩	天端	20	5	0		3	1	1		1
⑪		20	5	20		3	1	1		1
⑫		20	5	0		3	1	1		1
⑬	法面	20	5	20		3	1	1		1
⑭		20	5	100		3	1	1		1
⑮	法尻	20	5	0		3	1	※1		※1
⑯		20	5	20		3	1	※1		1

※ 調査海域周辺で行われた人工マウンド礁造成時に、破損したとみられたパイプを示す。

表 V. 2. 4 解析内容と解析に用いた塩ビパイプ

番号	比較内容	比較に用いた塩ビパイプのタイプ	比較対象 (表 V. 2. 3 参照)
(2)	蓋の透過率別の比較 (透過率 0 %、20 %、100 %)	直径 20cm、長さ 5 m、H24.9 設置	⑩と⑪、⑫と⑬と⑭、⑮と⑯
(3)	奥行距離別の付着生物の分布 (透過率 0 %、20 %、100 %)	直径 20cm、長さ 5 m、H24.9 設置	⑩⑫と⑪⑬と⑭

平成 24 年 9 月に設置した塩ビパイプの設置概要



設置層	透過率 0%	透過率 20%	透過率 100%
天端	3 本	3 本	-
法面	3 本	3 本	3 本
法尻	3 本	3 本	-

図 V. 2. 6 設置した塩ビパイプの模式図

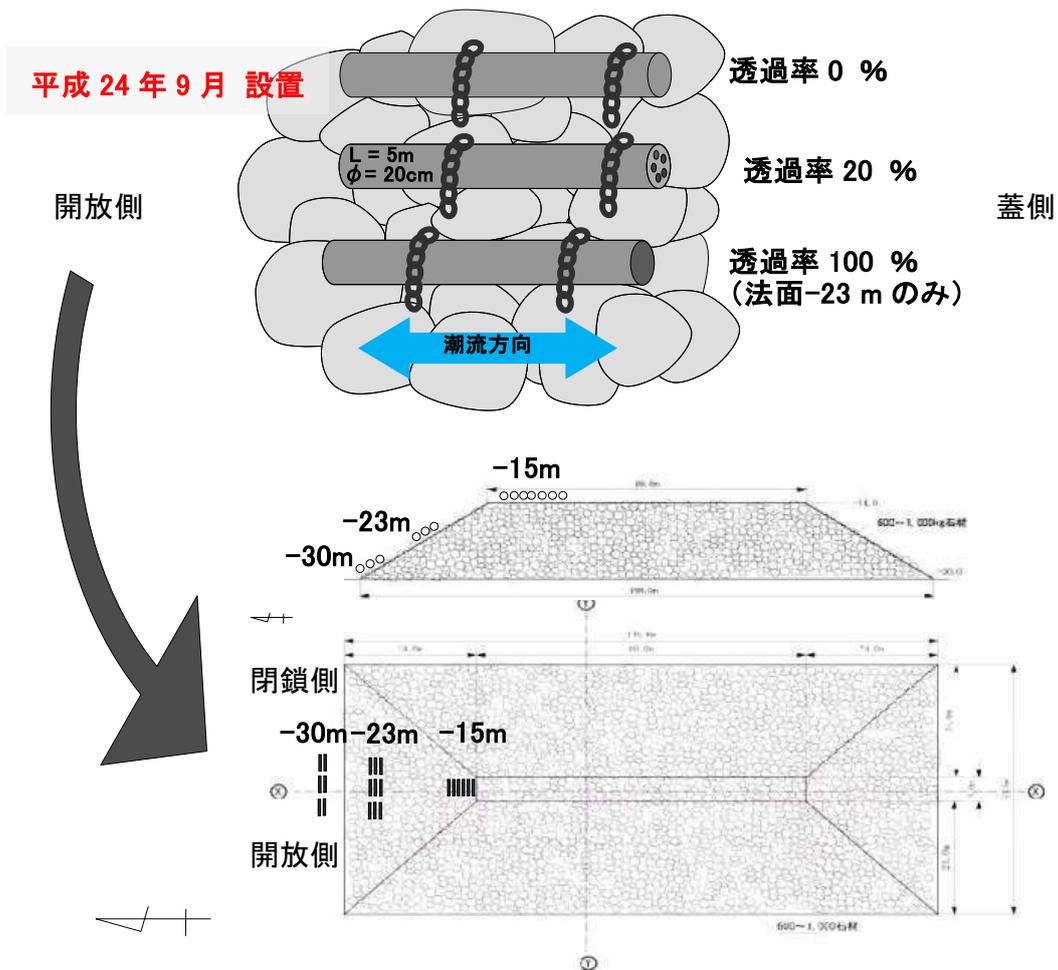


図 V. 2. 7 塩ビパイプの設置概要 (平成 24 年 9 月設置)

平成 26 年 9 月 調査時写真



写真①
塩ビパイプの設置状況



写真②
塩ビパイプの設置状況



写真③
天端 透過率 0%



写真④
天端 透過率 20%



写真⑤
法面 透過率 0%



写真⑥
法面 透過率 20%



写真⑦
法面 透過率 100%



写真⑧
法尻 透過率 0%



写真⑨
法尻 透過率 20%

② 塩ビパイプ外側の付着生物

回収した塩ビパイプについては、塩ビパイプの外側に付着する動物も回収・分析した。分析数は、平成 25 年 1 月および平成 25 年 10 月では各塩ビパイプ 1 試料の計 7 試料とした。平成 26 年 9 月では各塩ビパイプの 6 か所(0-25、100-125、200-225、300-325、400-425、475-500 cm) から採取した計 42 試料とした。分析する分類群および数量の単位は、塩ビパイプ内側の付着生物と同様である。

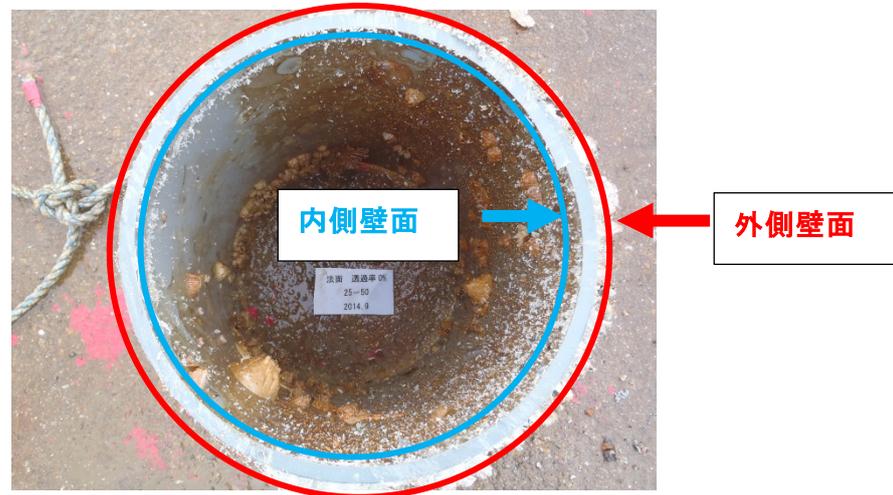


図 V.2.8 塩ビパイプ内側壁面と外側壁面の位置

③ 建材ブロックの付着生物

対馬沖の付着生物調査と比較するため、家島諸島海域においても建材ブロック (39×19×10 cm) を天端 (水深 15 m)、法面 (水深 23 m)、法尻 (水深 30 m) の 3 層に各 3 個、計 9 個を設置した。設置は、平成 24 年 9 月に行った。

回収は、平成 25 年 1 月 (設置から約 0.5 年後)、平成 25 年 10 月 (設置から約 1 年後)、平成 26 年 9 月 (設置から約 2 年後) の調査時に行った (写真⑩～⑫)。建材ブロックの付着生物の分析には、上方を向いた面 (39×19 cm) を用いた。分析項目は、種数 (動物群)、個体数、湿重量とした。



写真⑩
天端 建材ブロック



写真⑪
法面 建材ブロック



写真⑫
法尻 建材ブロック

④ 回収した塩ビパイプの処理方法

回収した塩ビパイプは、鋸を用いて 25cm 間隔で輪切りにし、塩ビパイプ内側の付着生物を取り出して、10 %ホルマリンで固定した。長さ 3 m の塩ビパイプでは 1 本あたり 12 試料、5 m の塩ビパイプでは 1 本あたり 20 試料を得た。固定した試料は、実験室に持ち帰り、動物群別に個体数、湿重量を計測した。

⑤ 付着生物量の算出方法

各試料の付着生物量は、直径 20 cm の塩ビパイプでは面積 0.16 m^2 ($2 \times \pi \times 0.1 \text{ m} \times 0.25 \text{ m}$) で、直径 30 cm の塩ビパイプでは面積 0.24 m^2 ($2 \times \pi \times 0.15 \text{ m} \times 0.25 \text{ m}$) で除して 1 m^2 当たりの密度を求めた。

「塩ビパイプ内側の奥行距離別の選好性餌料動物の分布」を除くその他の解析では、25 cm 毎の 12 試料（塩ビパイプ長 3 m）もしくは 20 試料（塩ビパイプ長 5 m）の付着生物量を平均した値で示した。

⑥ 動物群の分類

分析した動物群は門レベルとし、平成 15 年度水産基盤整備生物環境調査「原単位把握のための調査」（魚礁事業における増殖効果指標検討調査）報告書（水産庁漁港漁場整備部、財団法人漁港漁場漁村技術研究所）に従い、選好性餌料動物、その他の餌料動物、餌料価値の乏しい動物に分類した。その他の餌料動物に含まれるフジツボ類については出現量が多いことから、その他の餌料動物とは別にして計測した。

- ・ 選好性餌料動物 : 環形動物、フジツボ類を除く節足動物（軟甲類）
- ・ その他の餌料動物 : フジツボ類、軟体動物、棘皮動物、脊椎動物、原生動物、刺胞動物、扁形動物、紐形動物、星口動物
- ・ 餌料価値の乏しい動物 : 海綿動物、外肛動物、脊索動物

さらに、匍匐性および固着性の動物に分けて、計測した。

- ・ 匍匐性動物 : 環形動物（ゴカイ類等）、節足動物（ヨコエビ類、エビ・カニ類等）、棘皮動物（ヒトデ類、ウニ類等）等
- ・ 固着性動物 : 環形動物（フサゴカイ類等）、フジツボ類、軟体動物（二枚貝類等）、外肛動物（コケムシ類）、脊索動物（ホヤ類）等

V.2.2 魚礁効果調査

(1) 潜水目視観察

人工マウンド礁間隙での魚類の蛸集状況を確認するため、天端（水深 15 m）、法面（水深 23 m）、法尻（水深 30 m）において、潜水士による目視観察を行った。

観察項目は、石材の表面と間隙別の出現魚種、全長、個体数とした。

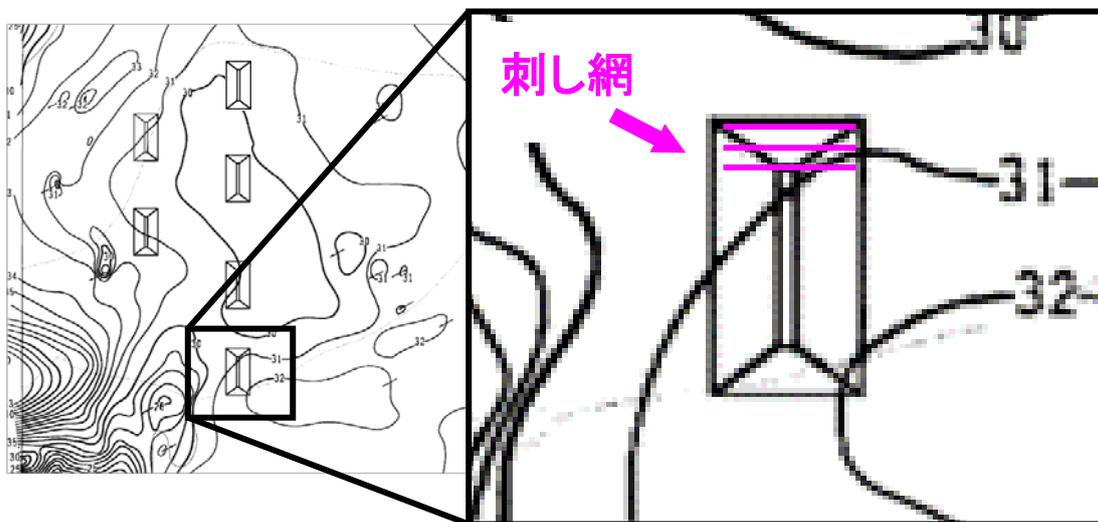
(2) 漁獲調査

人工マウンド礁に蛸集する魚類の種類および全長、体長、体重を把握するため、漁獲調査を行った。

漁獲調査では、刺し網（4号×6節の40掛160m×4反）を用いた（図V.2.9）。

刺し網の設置は、夕方から翌朝までの一昼夜とした。

刺し網の回収後、漁獲した魚類の種類、全長、体長、体重を測定した。



図V.2.9 刺し網設置位置

(3) 計量魚探調査

人工マウンド礁周辺に蟄集する魚群量を推定するため、計量魚探調査を行った。

調査範囲は、人工マウンド礁を南北に縦断するように 450 m の 7 測線および 600 m の 9 測線の計 16 測線とした (図 V. 2. 10)。

魚群の計測は、SIMRAD 社製 EY-500 を用い、図 V. 2. 11 に示すようにトランスデューサーを装着した曳航体を船の舷側からロープで吊るし、調査測線に沿って 4 ノット程度で曳航しながら、パーソナルコンピュータにデータを記録した。記録したデータは、SONAR DATA 社製の Echoview4. 20 を用いて解析し、単位面積あたりの魚群密度 (尾数、重量) を求めた。

漁獲調査で捕獲し、計測した魚類の全長、体長、体重については、計量魚探の魚群密度 (尾数、重量) を算出するための資料とした。

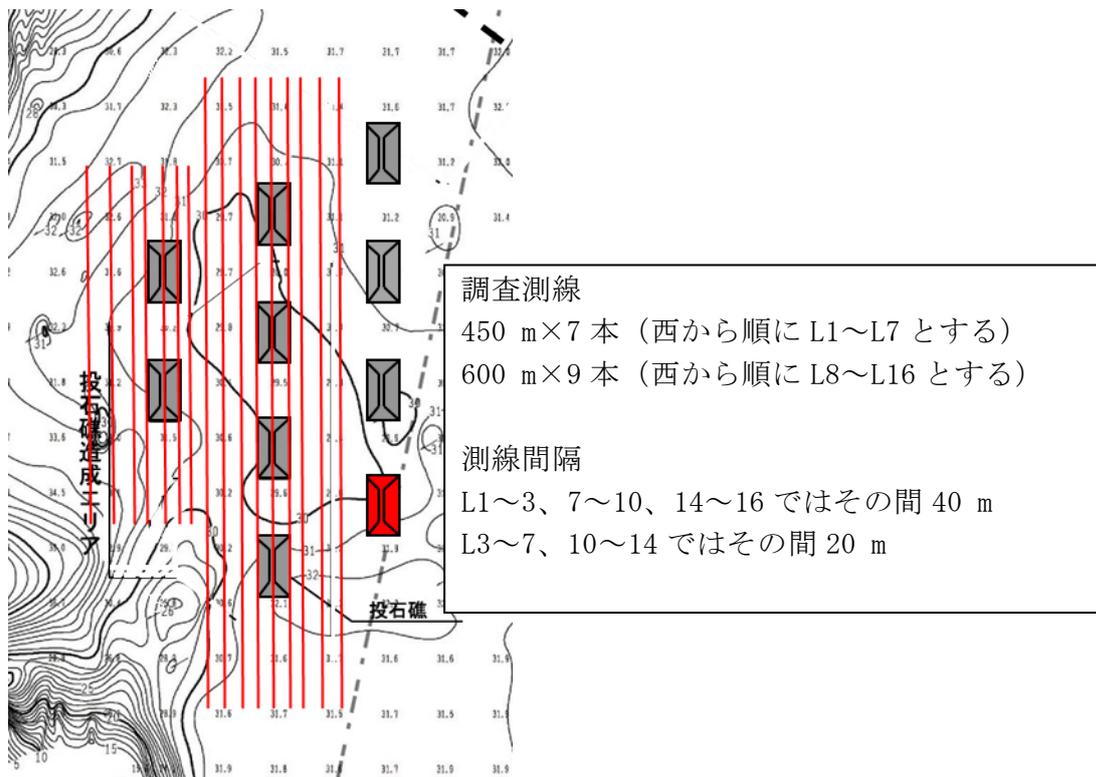


図 V. 2. 10 計量魚探の測線位置



図 V. 2. 11 計量魚探の概要

計量魚群探知機
(SIMRAD社製 EY-500)
周波数: 70kHz
出力: 50W
ビーム幅: 11×11°

(4) 石材間隙内のビデオ撮影

人工マウンド礁の間隙における魚類の利用状況を把握するため、日中に人工マウンド礁の間隙にビデオカメラを設置して、魚類の撮影を行った。

V. 2.3 浮遊幼生調査

人工マウンド礁における浮遊幼生の分布を把握するため、天端（水深 15 m）、法面（水深 23 m）、法尻（水深 30 m）の 3 水深においてバンドーン採水器で 6L の海水を採取した。採取した海水は、植物プランクトンネット（NXX13）で濾過した後、5%ホルマリンにより固定し、種類ごとに個体数を計数した。

V. 2.4 付着生物の餌料性調査

(1) 炭素・窒素安定同位体比

人工マウンド礁内部の付着生物の餌料としての有効性を把握するために、植物プランクトン、動物プランクトン、付着生物、魚類の炭素・窒素安定同位体比を分析し、捕食-被捕食関係を検討した。分析は Thermo Fisher Scientific 社製 DELTA V Advantage を用いて行った（分析精度 ± 0.15 ‰）。

安定同位体とは、元素の原子番号が同じで、質量数が異なる同位体が存在し、これらの中で安定して存在するものを示す。炭素では ^{12}C と ^{13}C 、窒素では ^{14}N と ^{15}N があり、これらの安定同位体の存在比が安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、計算式； $\delta X = (R_{\text{サンプル}}/R_{\text{標準物質}} - 1) \times 1000$ ）である。炭素の安定同位体比は一次生産者（植物）の値を反映し、窒素の安定同位体比は食物連鎖に従って一定の割合で上昇することが知られている。

そこで、捕食-被捕食関係の検討には、餌料動物から捕食者へ栄養段階が 1 つ上がると、炭素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）が約 1 ‰、窒素安定同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ ）が約 3 ‰高くなる¹⁾ 同位体効果の濃縮係数を用いた（図 V. 2.12）。

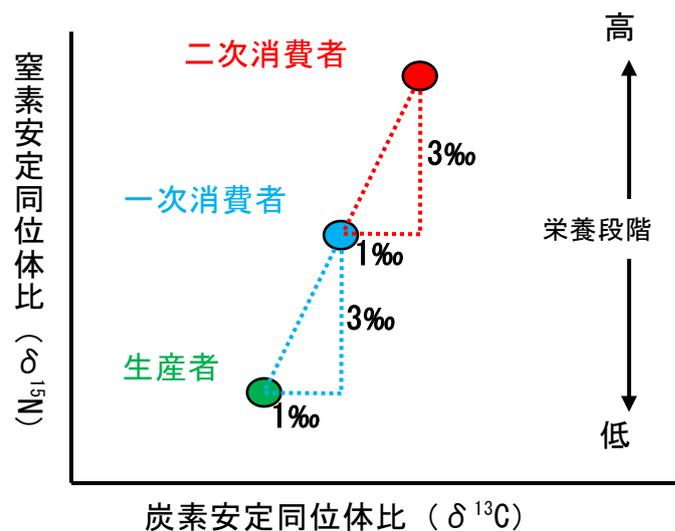


図 V. 2.12 同位体効果の一般則の模式図

以下に、各分類群の採取方法と分析した動物を示す。

① 植物プランクトン

植物プランクトンは、バンドーン式採水器（6 L）を用いて、水深 2 m で採水し、GF/F フィルターで全量濾過した POM を代用とし、分析試料とした。

② 動物プランクトン

動物プランクトンは、プランクトンネット（GG54）を海底の上方 5 m から海面まで鉛直曳きすることで採取し、GF/F フィルターで全量濾過したものを分析試料とした。

③ 付着生物

付着生物は、人工マウンド礁の石材の表面を 25 cm×25 cm の範囲で坪刈りして採取した試料から抽出し、分類群ごとに分析する。

主に選好性餌料動物の節足動物軟甲類（エビ、カニ、ヨコエビ等）と環形動物多毛類（ゴカイ等）を対象とした（「平成 15 年度水産基盤整備生物調査「原単位把握のための調査」（魚礁事業における増殖効果指標調査）報告書」（(財)漁港漁場漁村技術研究所：平成 16 年 3 月）参照）。

④ 魚類

漁獲調査で採捕した個体や回収した塩ビパイプ内側から採取した個体を用い、各個体の筋肉部分を切り出して、分析試料とした。

各分析試料は、実験室に持ち帰り、-20 °C で保存して、分析を行った。

(2) 胃内容物調査

漁獲調査で採捕した個体を用い、各個体の胃を取り出して、10%ホルマリンで固定して分析試料とした。魚種はマダイ、メバル、ウマヅラハギ、カサゴの 4 種とし各 3 個体から胃を取り出し、胃内容物の分析を行った。

V.2.5 環境調査

(1) 水温計の設置

塩ビパイプ設置期間中における水温変化を把握するため、メモリー式水温計 Tidbit V2（Onset 社製）を天端（水深 15 m）、法面（水深 23 m）、法尻（水深 30 m）の 3 水深に設置した。測器の測定間隔は 10 分間隔とした。

データの取得およびメンテナンスは、塩ビパイプ回収時にあわせて行った。

(2) 水質調査

調査実施時の水温・塩分の鉛直分布を把握するため、塩ビパイプの設置地点において、小型メモリー式水質計（COMPACT-CTD：JFE アトバンテック社製）を用いて、海面から海底まで鉛直方向 1 m 間隔で水温、塩分を測定した。

(3) 流向・流速調査

人工マウンド礁の石材表面付近の流向・流速を把握するため、流向・流速計（INFINITY-E M：JFE アトバンテック社製）を天端（水深 15 m）、法面（水深 23 m）、法尻（水深 30 m）に設置した。測器の設置期間は各調査期間中の 24 時間とし、測定間隔は 10 分とした。

V.2.6 調査工程

表V.2.5 調査工程

調査項目		年月	H24.9	H25.1 (0.5年)	H25.10 (1年)	H26.9 (2年)
		管の奥行きに 対する 付着生物量と 環境要因の把 握	付着生物調査 (塩ビパイプ、建材ブロック)	設置	●	
	回収			●	●	●
魚類調査(目視観察)			●	●	●	●
漁獲調査			●		●	●
計量魚探調査			●		●	●
安定同位体比の分析			●	●	●	●
浮遊幼生調査			●		●	●
水温の連続観測						
水質の鉛直観測			●	●	●	●
流況調査			●	●	●	●

VI. 調査結果

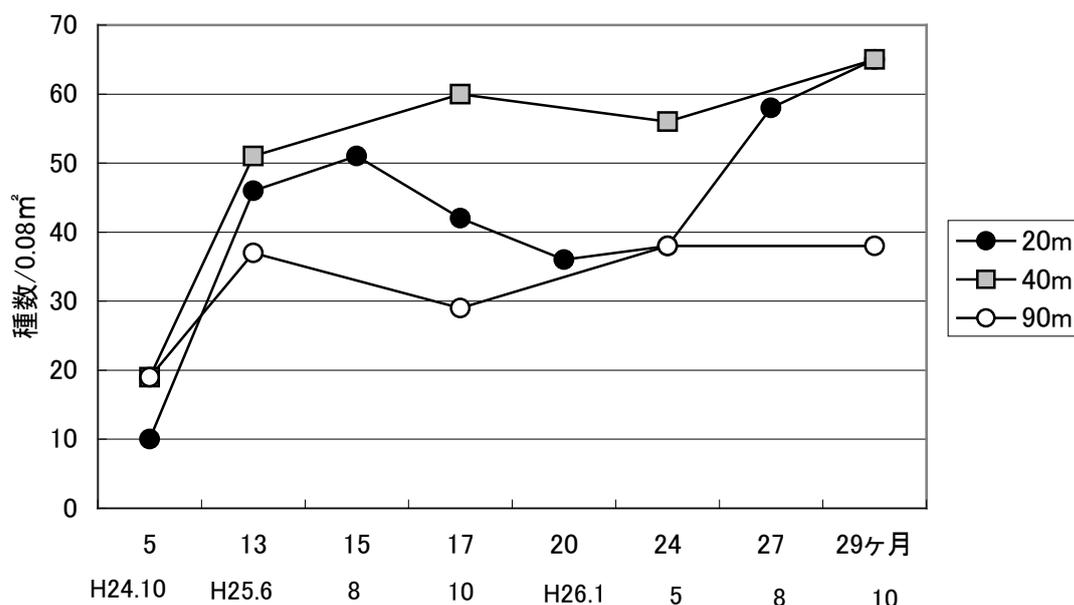
VI.1 水深別付着生物量と環境要因の把握

VI.1.1 付着生物調査

(1) 種数

各水深における付着生物の種数は、設置5ヶ月から13ヶ月にかけて急増し、37～51種となった。この時点で種数が最も多かったのは水深40mで、以下、20m、90mの順であった。

その後、水深20mでは15ヶ月から20ヶ月にかけて減少した後、再び増加に転じ、29ヶ月後には65種となった。水深40mの種数は13ヶ月から29ヶ月にかけて緩やかに増加し、水深20mと同じく65種となった。水深90mの種数は13ヶ月以降、横這いで29ヶ月後の種数は38種にとどまった。



図VI.1.1 水深別の付着生物種数

(2) 個体数

水深別の付着生物個体数を図VI.1.2に示した。

① 総数

水深20mと水深40mでは、付着板の設置から間もない5ヶ月後の個体数が調査期間を通しての最大値であった。このときの個体数を水深別にみると、水深40m、水深20m、水深90mの順で多く、水深40mの個体数は水深20mの2倍、水深90mの30倍であった。

その後、水深40mの個体数は大幅に減少し、29ヶ月後には5ヶ月後の1/4となった。水深20mでも5ヶ月以降、個体数は減少したが、その割合は緩やかで29ヶ月後の個体数は水深40mと同等であった。

水深90mの個体数は、水深40m以浅に比べると変動が小さく、17ヶ月から29ヶ月にかけてはほぼ横這いで推移し、水深40m以浅の付着数に近づいた。

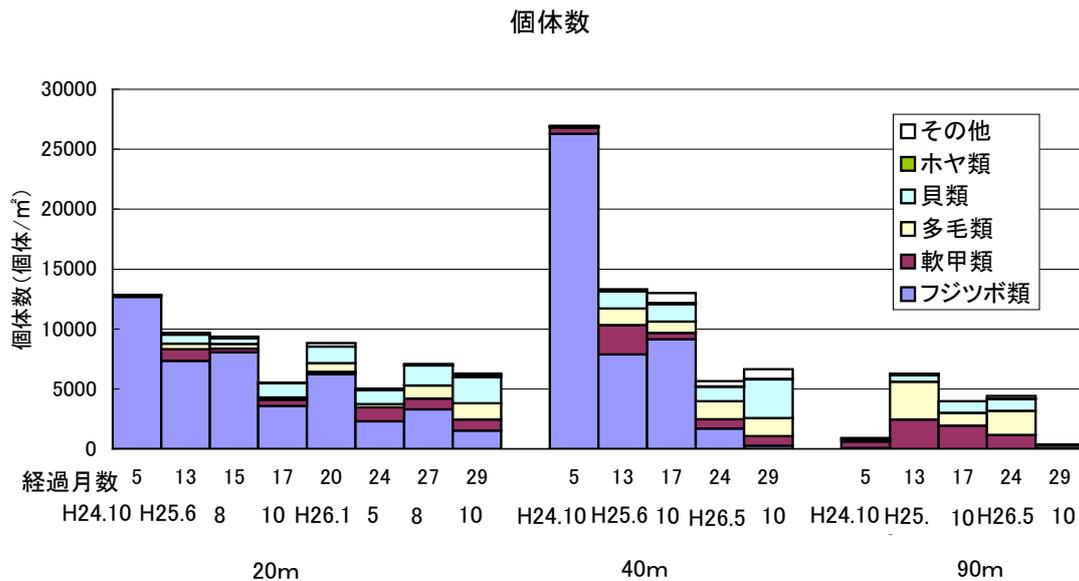
② 動物群別個体数

水深20m及び40mでは17～20ヶ月までフジツボ類が多く、過半数を占めたが、24ヶ月以降、減少し、組成率が大きく低下した。一方、水深90mではフジツボ類は少なく、軟甲

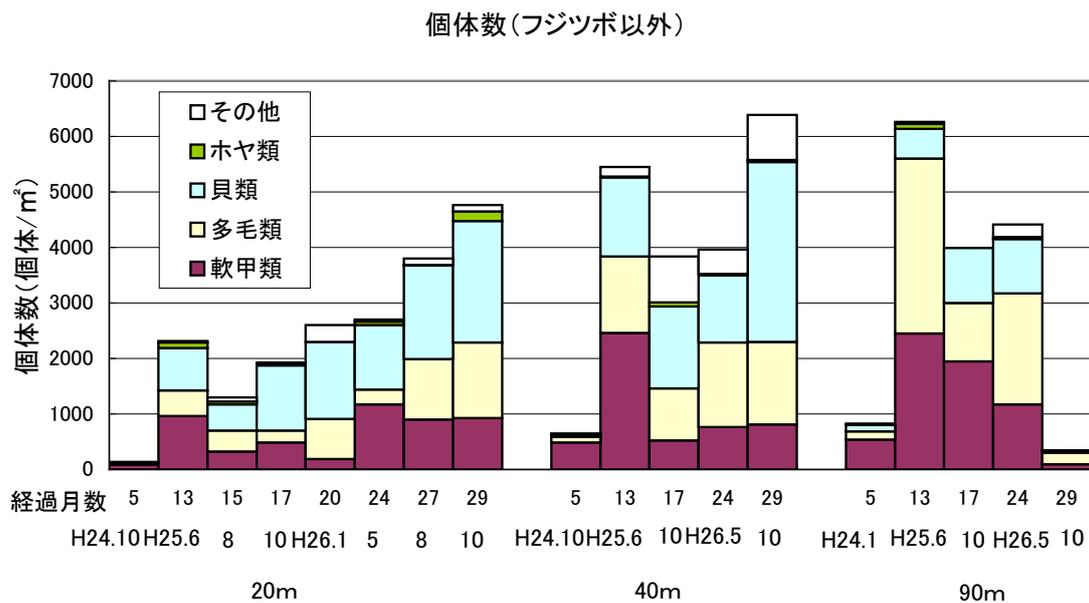
類、多毛類の割合が高かった。このように、付着生物の個体数変動はフジツボ類の付着状況に大きく左右されている。

フジツボの個体数変動に埋没し、他の生物の変動が分かりにくいため、図VI. 1. 3 にフジツボ類以外の生物の個体数変化を示した。

各水深に共通するのは、5ヶ月後から13ヶ月後にかけて、軟甲類、多毛類、貝類の個体数が大幅に増加した点である。これらの動物群は水深20m、水深40mではその後も増加する傾向にあり、水深90mでは13ヶ月以降、横這いで推移している。



図VI. 1. 2 水深別の付着生物個体数



図VI. 1. 3 フジツボ類以外の付着生物個体数

図VI.1.4に付着生物個体数（生体）と死殻数の推移を示した。

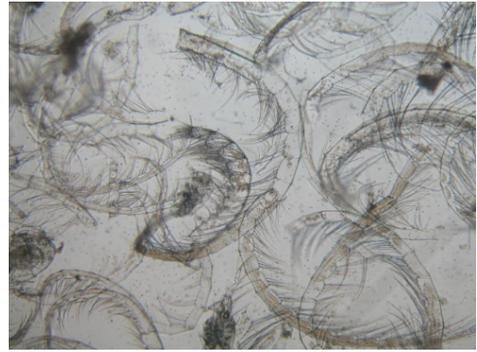
ここで死殻を取り上げたのは、付着生物の死殻が生物の付着基盤となるほか、匍匐性付着生物の生息空間にもなり、付着生物相の形成に関与すると考えたからである。

確認された主な死殻は水深20mがサンカクフジツボ、水深40mがサンカクフジツボ、カンザシゴカイ類、スジタマエガイ、水深90mがカンザシゴカイ類とベッコウガキであった。

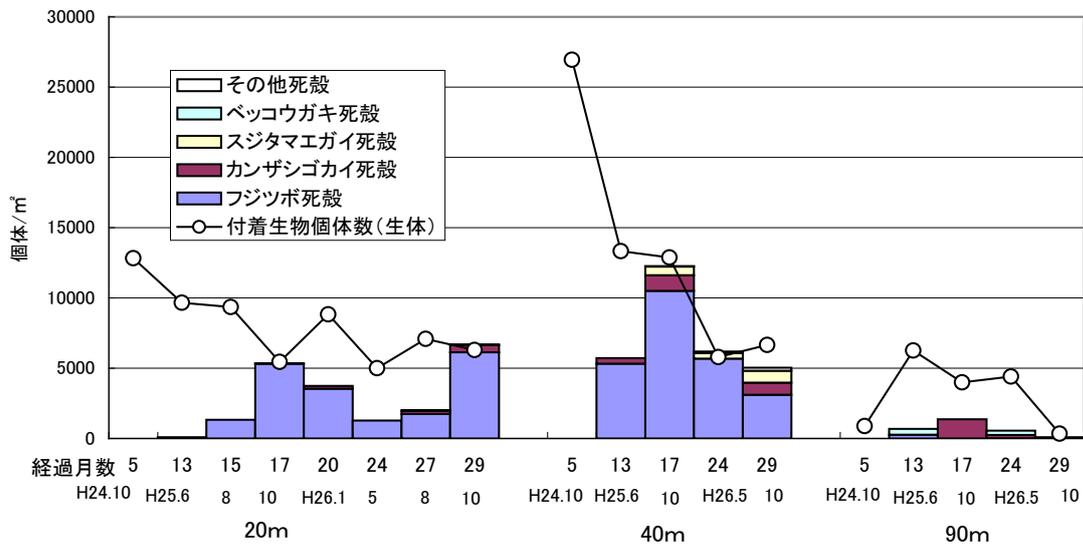
水深20mにおいては、フジツボ類を中心とする付着生物の死殻数は17ヶ月後と29ヶ月後に多く、季節はどちらも10月であった。水深40mにおいても、17ヶ月後（10月）にフジツボ類の死殻が見られたが、1年後の同時期にあたる29ヶ月後の死殻は17ヶ月後の約1/2にとどまった。

サンカクフジツボの斃死要因については、本種の寿命が30ヶ月以上であることから¹⁾、今回確認された死殻は魚類等による軟体部捕食の可能性も考えられる。

右の写真は瀬戸内海で採集したクロダイ幼魚の胃内容物であるが、フジツボ類の蔓脚のみが摂餌されていた（当研究所資料）。



魚類胃内容物（フジツボ蔓脚の選択摂餌）



図VI.1.4 付着生物個体数と死殻数の推移

(3) 重量

① 総重量

図VI.1.5に示すように、調査期間における付着生物の重量は水深20m、40m、90mの順で多かった。ただし、最終調査時の29ヶ月後には水深40mと水深90mの重量はほぼ同等であった。

水深20mと水深40mの重量は、初回調査時の5ヶ月後が最大であり、以後それより低い値で推移した。また、水深90mは5ヶ月後の重量は少なかったが、13ヶ月にかけて増加

し、以後、横這い推移した。このように、付着板設置から 29 ヶ月間に関しては、付着生物の個体数と重量は似通った変動傾向を示した。

② 動物群別重量

水深 20m と 40m における重量ベースの優占種は、調査期間を通してフジツボ類であった (図 VI. 1. 5)。両水深とも本種の重量は設置後 5 ヶ月から 13~15 ヶ月後までほぼ横ばいで推移し、17 ヶ月後に大幅に減少した。その後、水深 20m では 20 ヶ月 (冬季) と 27 ヶ月 (夏季) に重量の増加がみられた。水深 40m では 20 ヶ月、27 ヶ月の調査は行っておらず、24 ヶ月と 29 ヶ月についてみると 17 ヶ月に近い低い値であった。

図 VI. 1. 6 にはフジツボ類以外の生物の重量を示した。

フジツボ類以外の生物の重量は水深 90m で多かった。これは、水深 90m にはフジツボの付着が殆どみられず、他の生物が付着・成育するスペースが多いためと考えられる。フジツボ類以外の主な生物は水深 90m が貝類、多毛類、苔虫類、ホヤ類等、水深 40m が貝類、苔虫類、ホヤ類、ヒドロ虫類など、水深 20m は貝類であった。

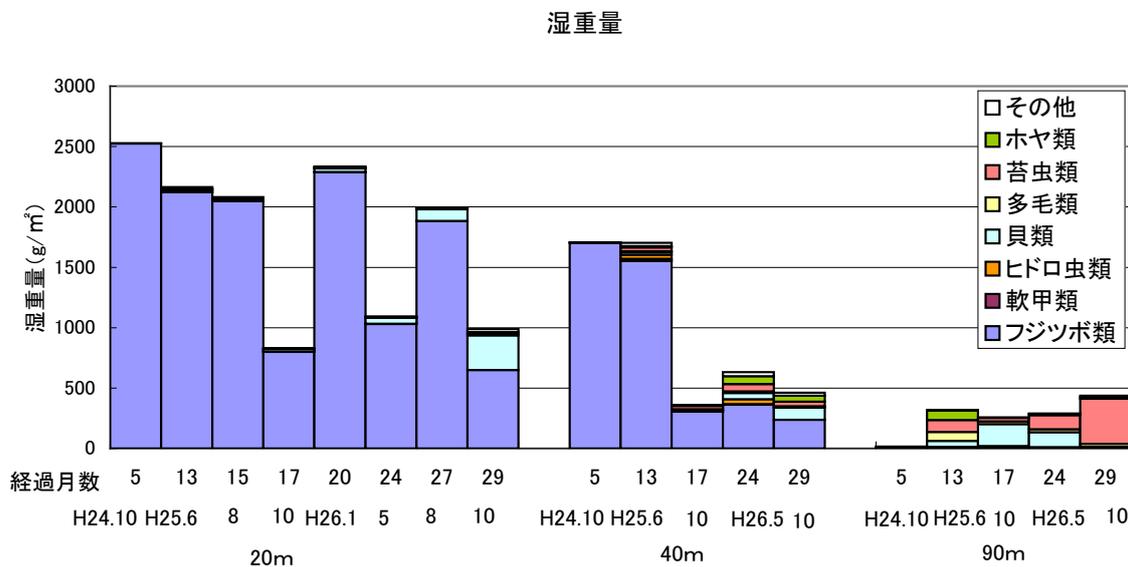
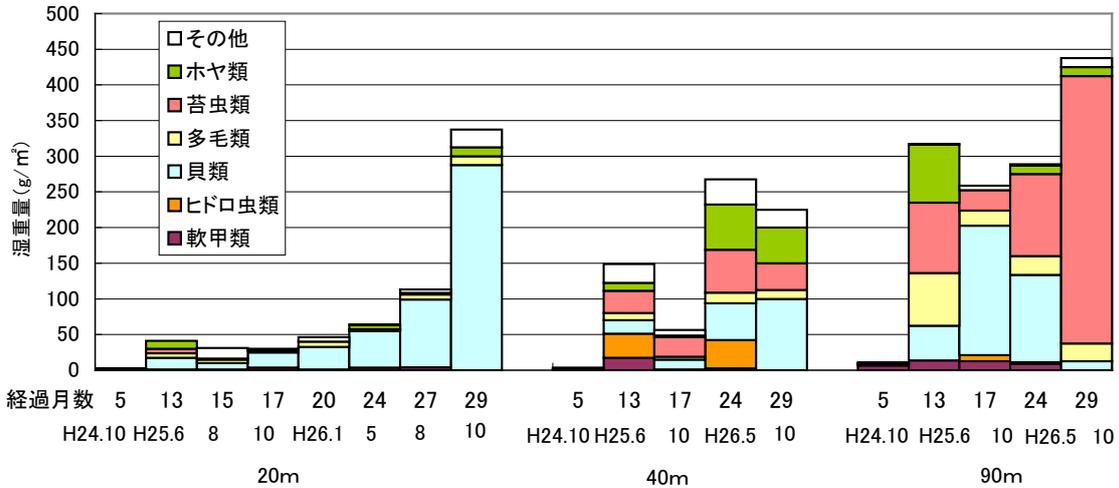


図 VI. 1. 5 水深別の付着生物重量

湿重量(フジツボ類以外)



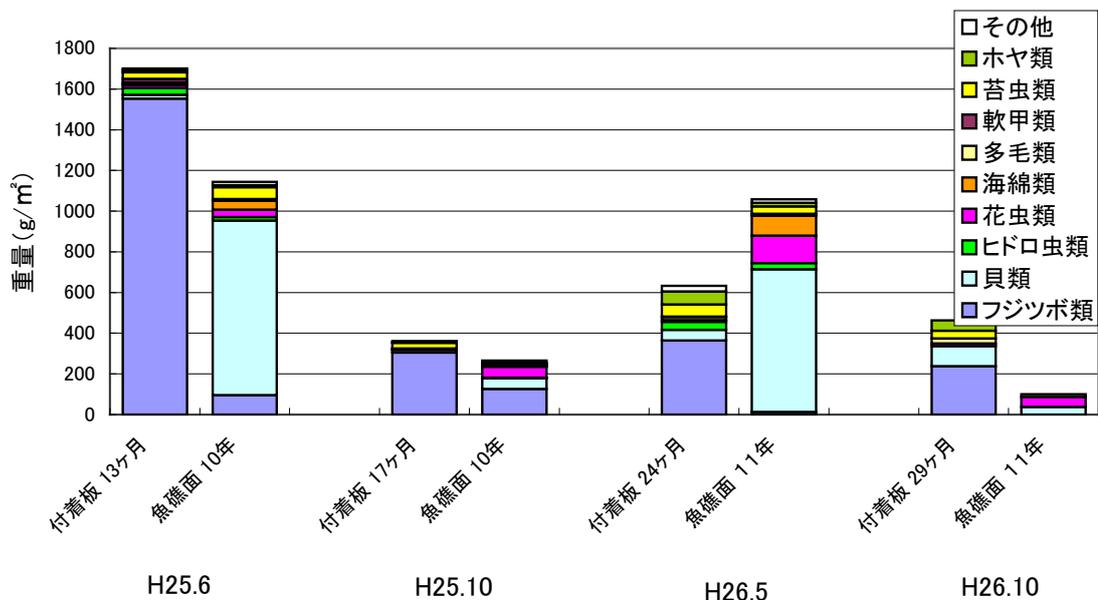
図VI.1.6 フジツボ類以外の付着生物重量

③ 魚礁付着生物との比較

付着板と付着板を取り付けた人工魚礁の付着生物量を水深40mで比較した(図VI.1.7)。

4回の調査のうち、付着板で多かったのが2回、魚礁で多かったのが1回、同等が1回であり、基盤設置後13ヶ月～29ヶ月(1～2.5年)と10年で付着生物量に大きな差は見られなかった。

ただし、付着生物の種類は、基盤設置後の年数で大きく異なり、設置後1～2年の基盤ではフジツボ類が大半を占めたのに対し、10年が経過した基盤では貝類を中心に生物相が複雑化していた。また、10年経過の基盤では5～6月に現存量の多かった貝類、10月に大幅に減少するなど、生物相が大きく変化する特徴がみられた。



図VI.1.7 魚礁面と付着板の生物付着状況(水深40m)

(4) フジツボ類の付着特性

水深 20m と 40m の優占種であるサンカクフジツボの個体数（付着数）と平均体重の季節変化を図 VI. 1. 8 に示した。

個体数、平均体重とも調査回ごとの増減はみられるものの、全体として、個体数は減少傾向、平均体重は増加傾向にあった。

これは、新たに付着する幼生の量が徐々に減り、その結果、既存個体の割合が高まっていることと、既存個体が成長することで平均体重が引き上げられているからである。

このように、時間の経過と共に新規付着数が減少することにより、設置 10 年後の魚礁で見られたようなフジツボ類の付着が極めて少ない状態に至ると考えられる。

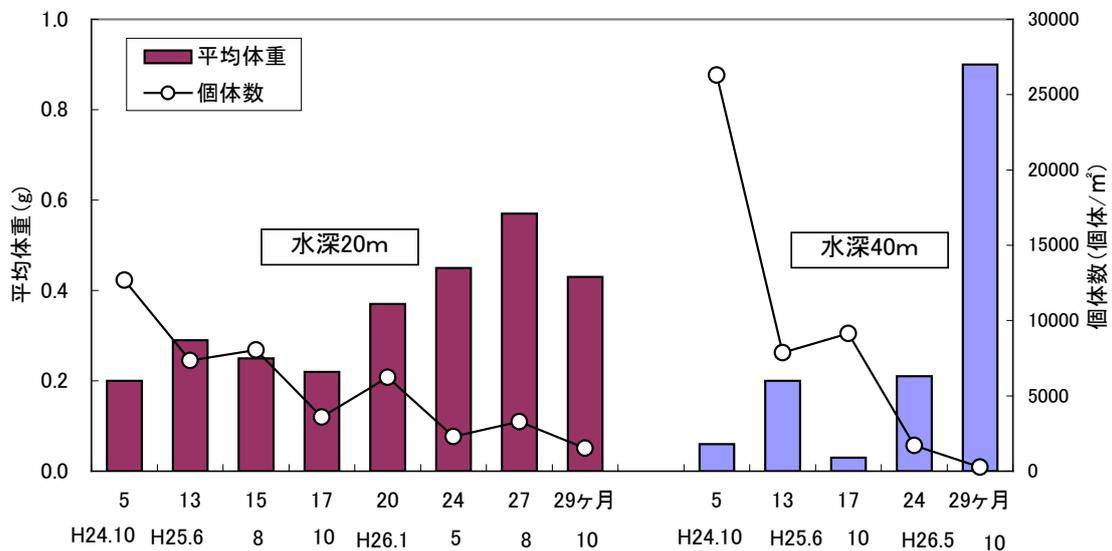


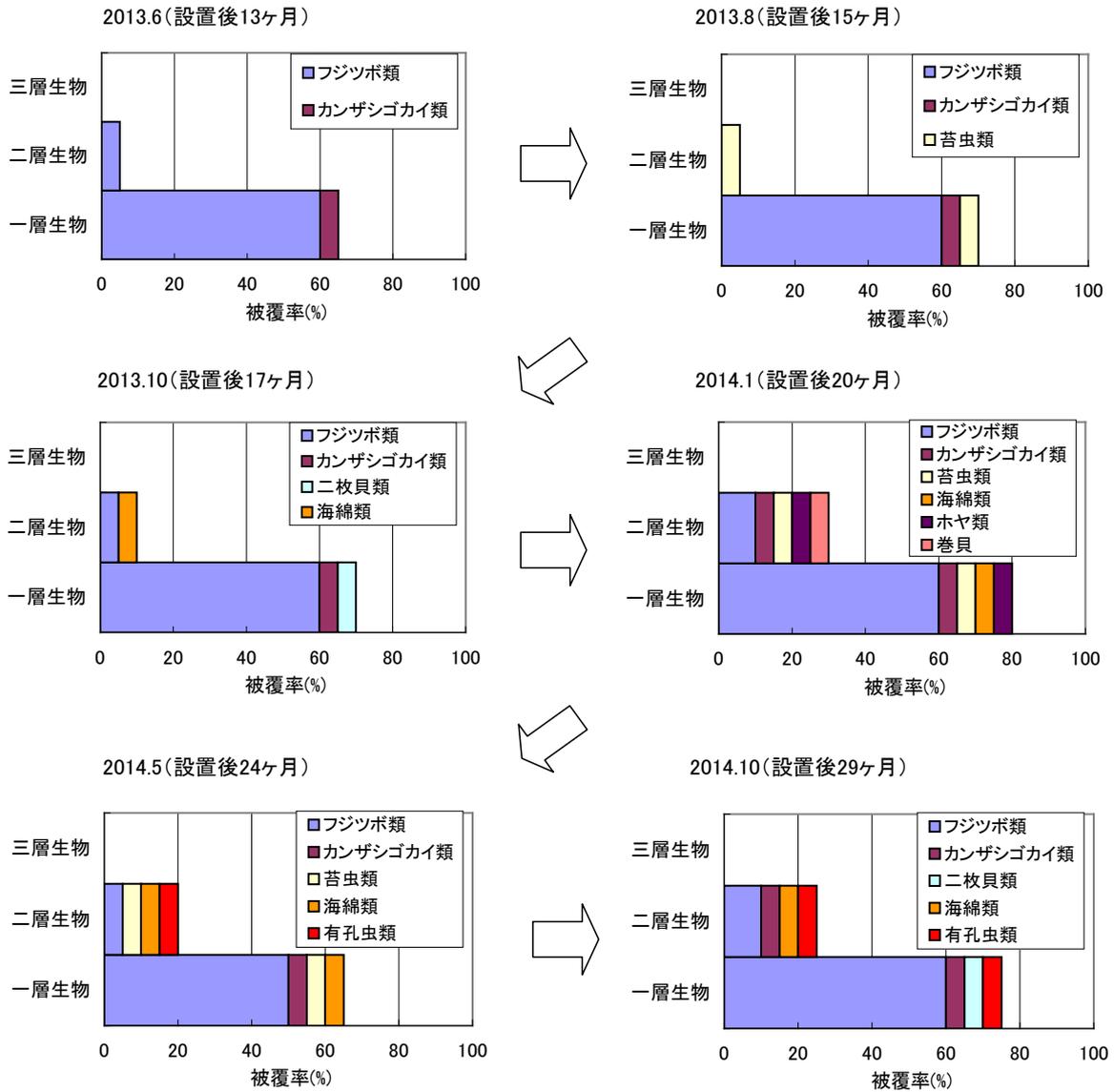
図 VI. 1. 8 サンカクフジツボ個体数と平均体重の変化

(5) 層構造

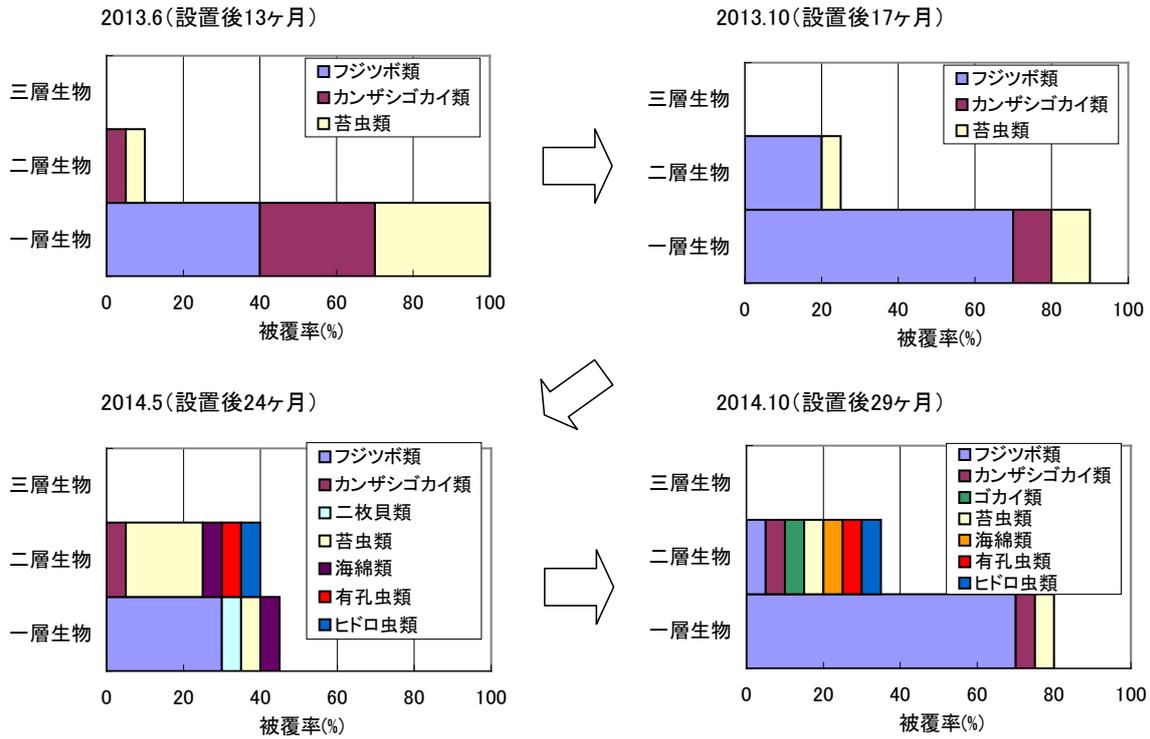
付着生物の層構造の経時変化を図 VI. 1. 9～図 VI. 1. 11 に示した。

本調査期間内（設置後 29 ヶ月）における付着生物の層構造は 2 層止まりであった。

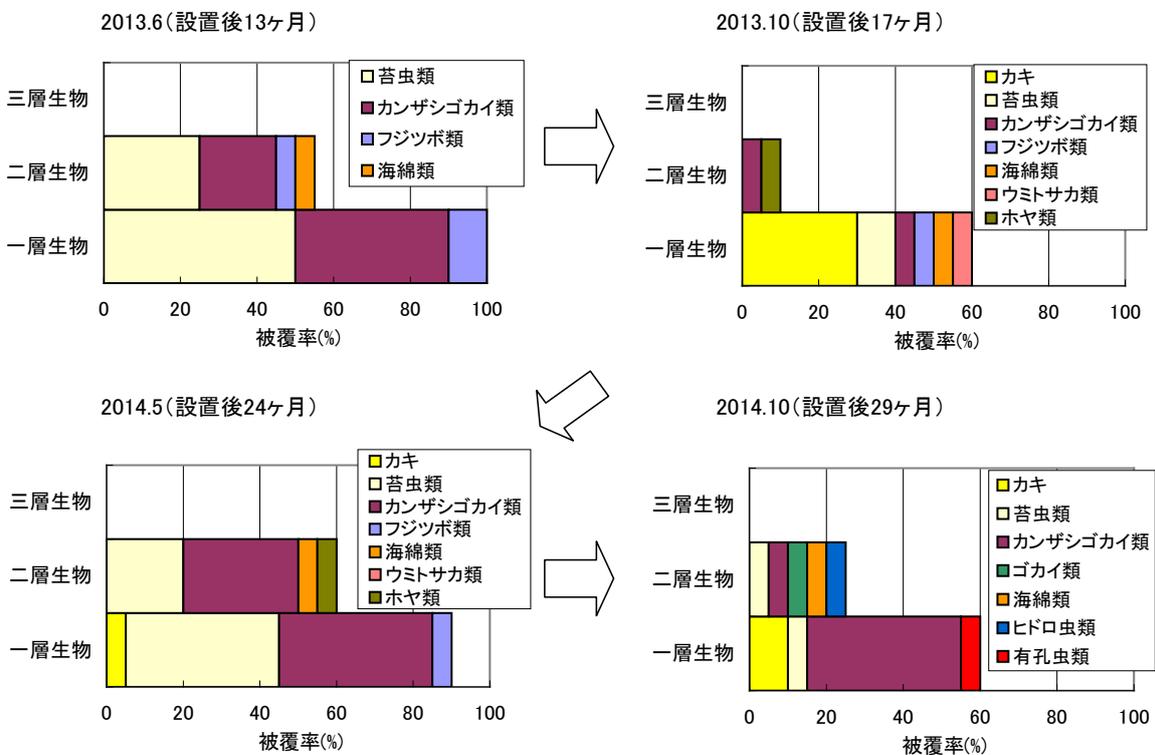
第 1 層生物の組成をみると、水深 20m、40m、90m の順で単調である。これは後で詳しく述べるが、水深 20m ではフジツボ類の幼生が多く、短期間で付着面を覆ったことにより、他の生物が付着・成育しにくかったと考えられる。



図VI.1.9 付着生物の層構造（水深20m）



図VI. 1.10 付着生物の層構造（水深 40m）



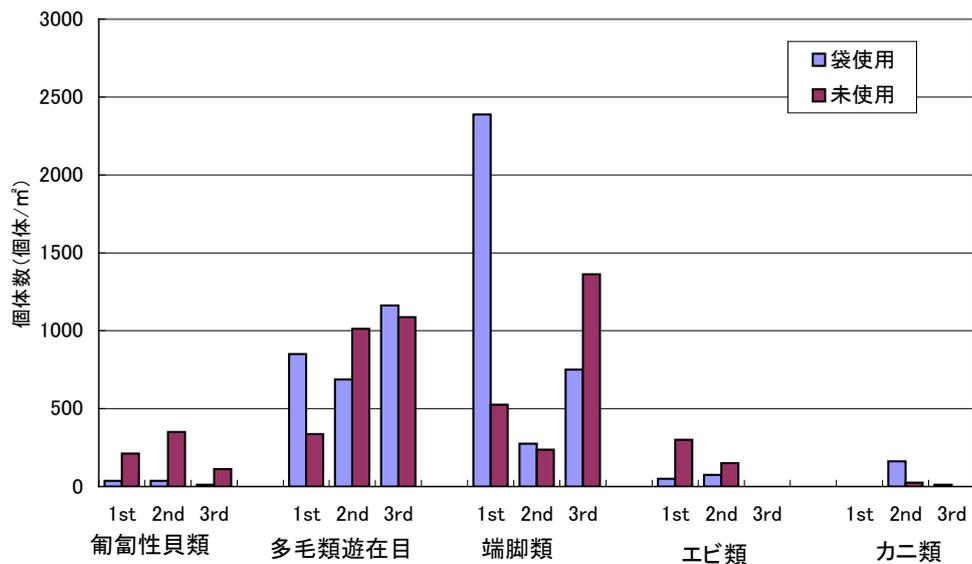
図VI. 1.11 付着生物の層構造（水深 90m）

(6) 採集時における匍匐性種の脱落について

付着板引き揚げ時に付着板を離れる生物の量がどの程度のものか、袋に入れて引き揚げた付着板と袋に入れずに引き揚げた付着板の匍匐性種の個体数を比較した。本調査は水深40m地点において3回実施した。

出現個体数の多かった多毛類及び端脚類についてみると、袋に入れた場合が必ずしも多いという結果にはならなかった。また、個体数の少ない匍匐性貝類、エビ類についても同様の結果が得られた。

以上のことから、付着板引き上げ時に脱落する生物の数は、問題視すべきレベルでないと考えられる。



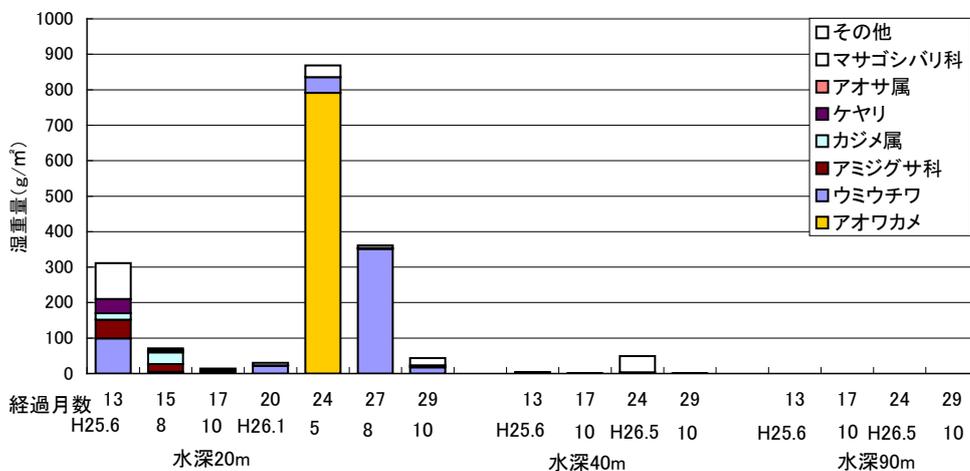
図VI. 1.12 回収方法別の匍匐性種個体数 (水深 40m)

(7) 海藻類の付着

付着板への海藻の付着状況を図VI. 1.13 に示した。

海藻の付着は総じて少なく、最大量は水深20mの設置後2年の875g/m²であった。

水深40mでは海藻の付着量は極少なく、水深90mでは出現しなかった。



図VI. 1.13 海藻の付着状況



2012年10月（5ヶ月後）



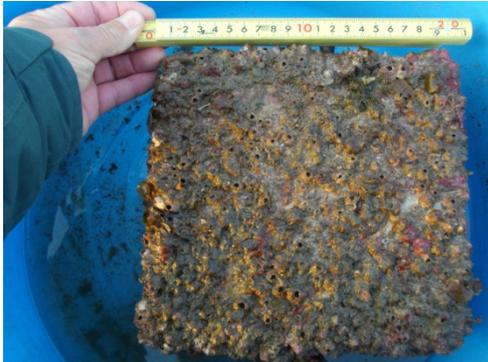
2013年6月（13ヶ月後）



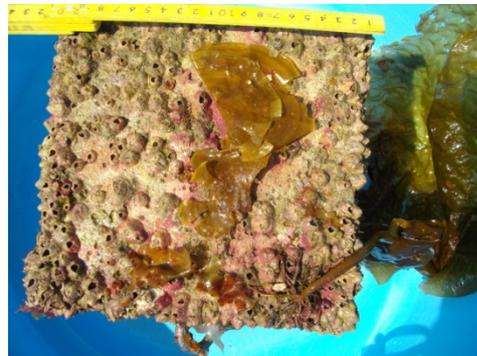
2013年8月（15ヶ月）



2013年10月（17ヶ月）



2014年1月（20ヶ月）



2014年5月（24ヶ月）



2014年8月（27ヶ月）



2014年10月（29ヶ月）

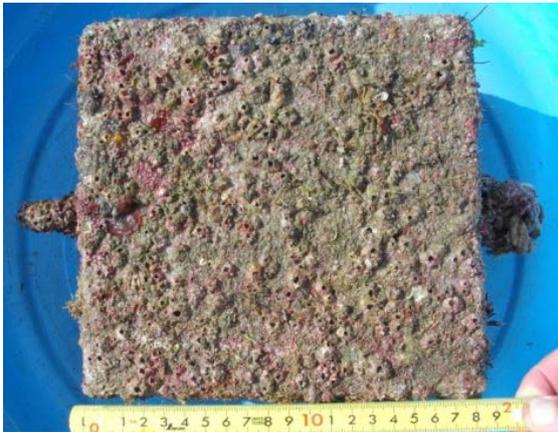
図VI. 1. 14 生物付着状況の変化（水深20m）



2012年10月(5ヶ月)



2013年6月(13ヶ月)



2013年10月(17ヶ月)



2014年5月(24ヶ月)



2014年10月(29ヶ月)

図VI. 1. 15 生物付着状況の変化(水深40m)



2012年10月(5ヶ月)



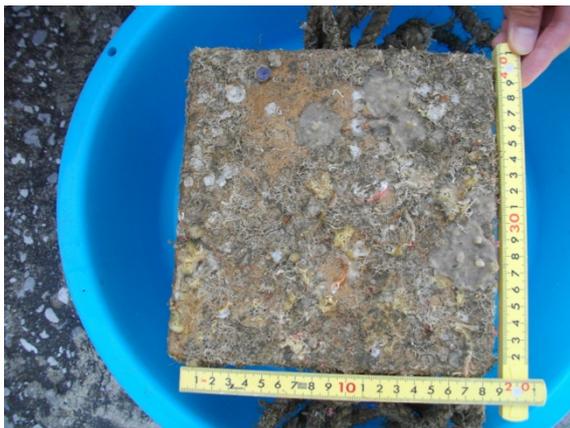
2013年6月(13ヶ月)



2013年10月(17ヶ月)



2014年5月(24ヶ月)



2014年10月(29ヶ月)

図VI.1.16 生物付着状況の変化(水深90m)

VI. 1. 2 環境調査

(1) 流況

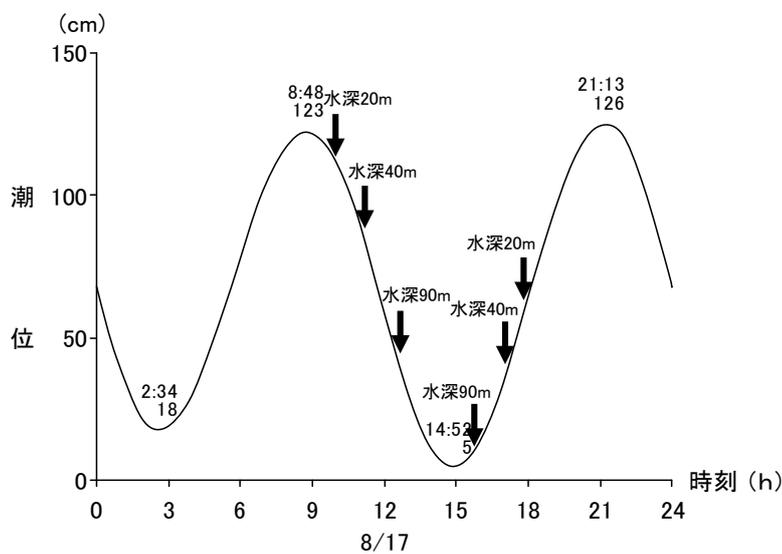
各地点の水平流況図を図VI. 1. 18～図VI. 1. 23 に示した。

付着板設置水深（底層）付近の流速は、水深 90m地点、40m地点、20m地点の順で速かった。内湾の水深 20m地点 20m層の平均流れは下げ潮、上げ潮とも 3 cm/ s と極めて微弱であった。

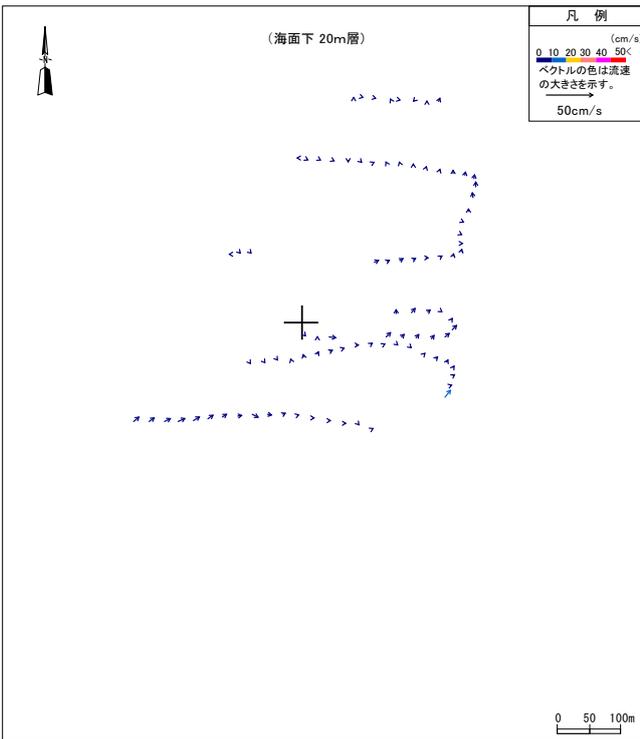
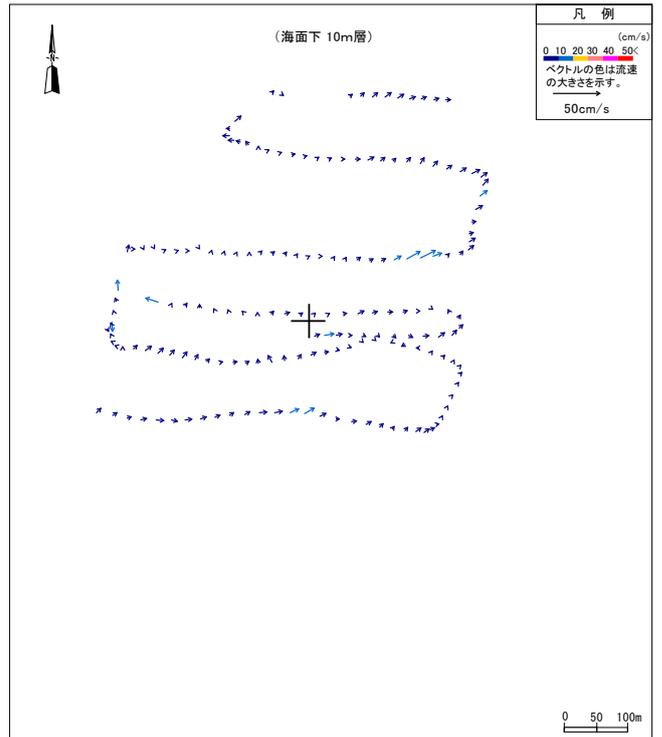
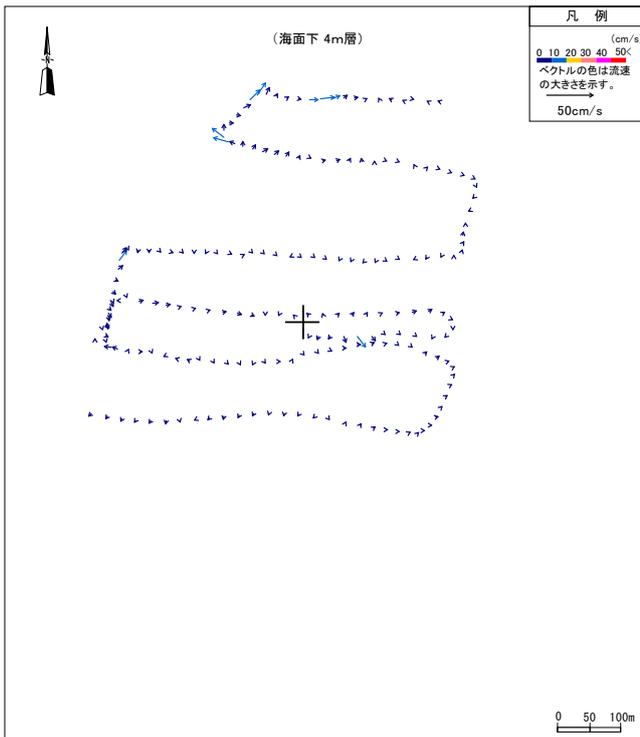
40m地点の 30m層についてみると、下げ潮時の平均流速は 7 cm/ s と緩やかであるが、上げ潮時の平均流速は 23 cm/ s であった。

90m地点 76m層の平均流速は、下げ潮時が 21 cm/ s 、上げ潮時が 28 cm/ s であった。

また、図VI. 1. 25 に示すようにマウンド礁の直上で流速が増す現象が確認された。

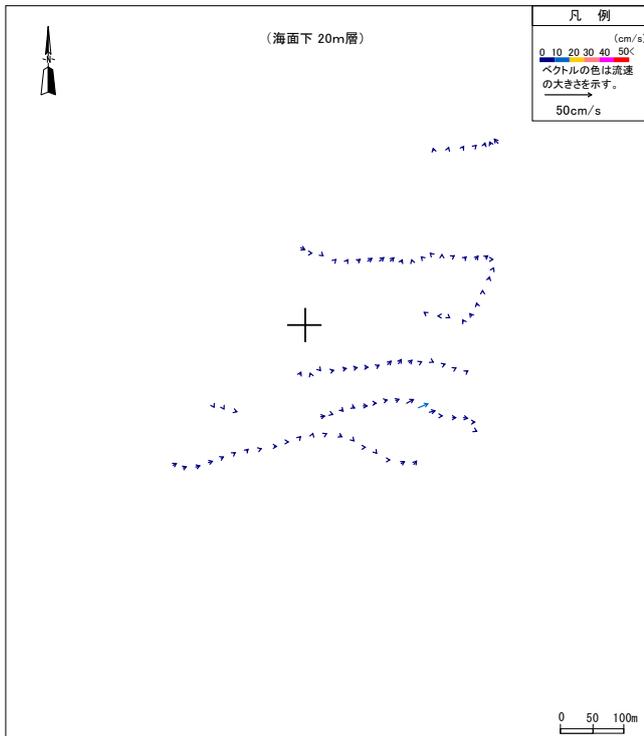
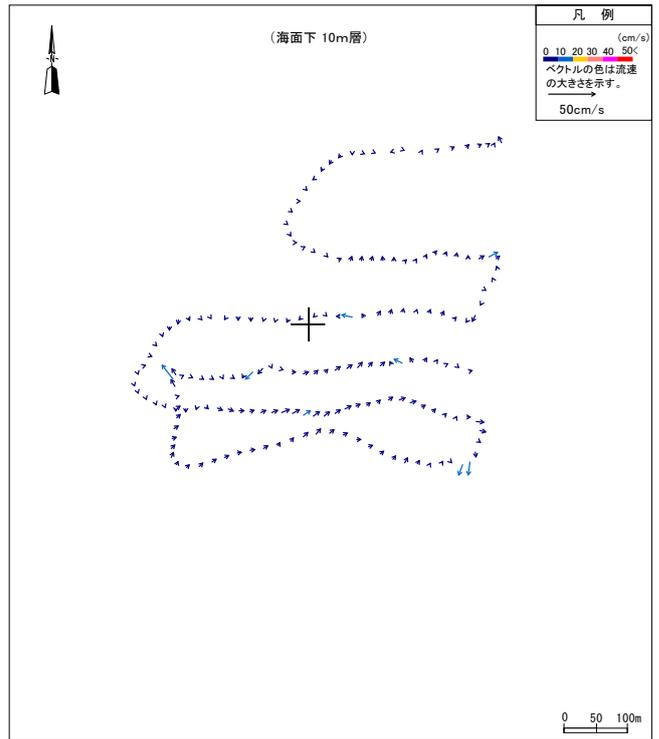
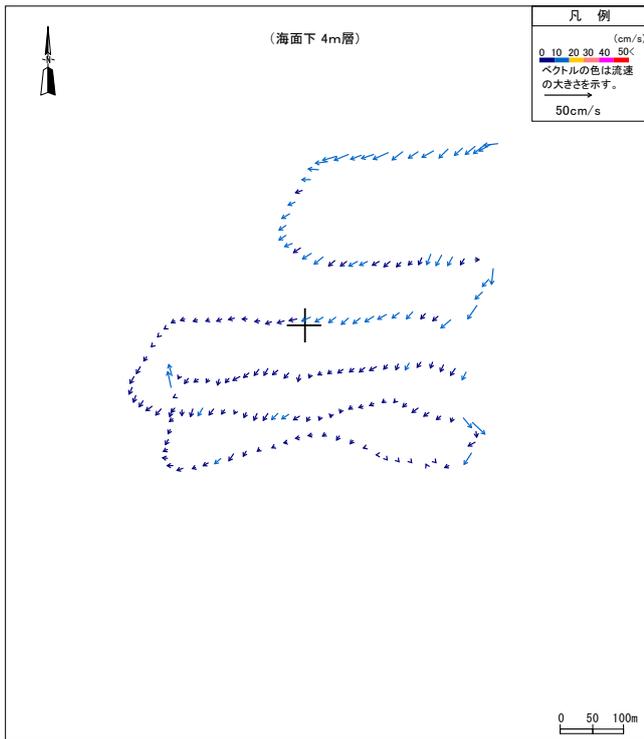


図VI. 1. 17 調査時の潮汐



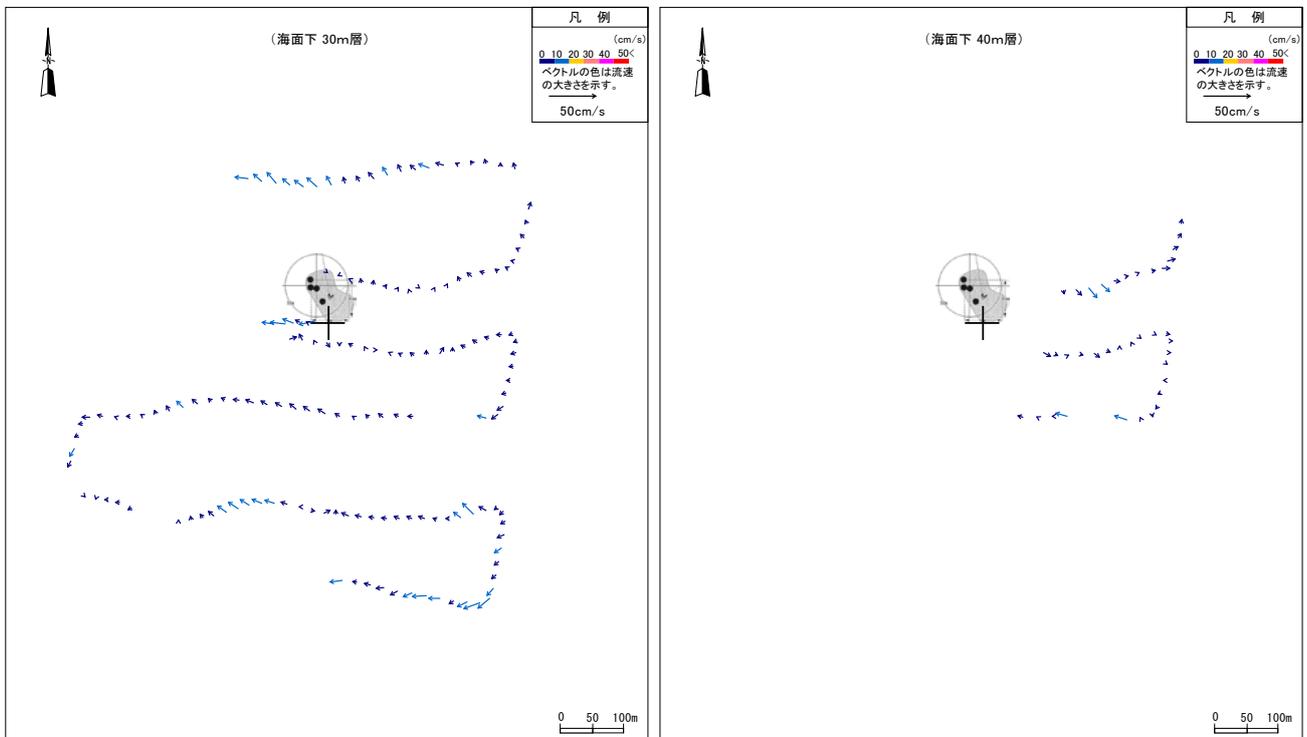
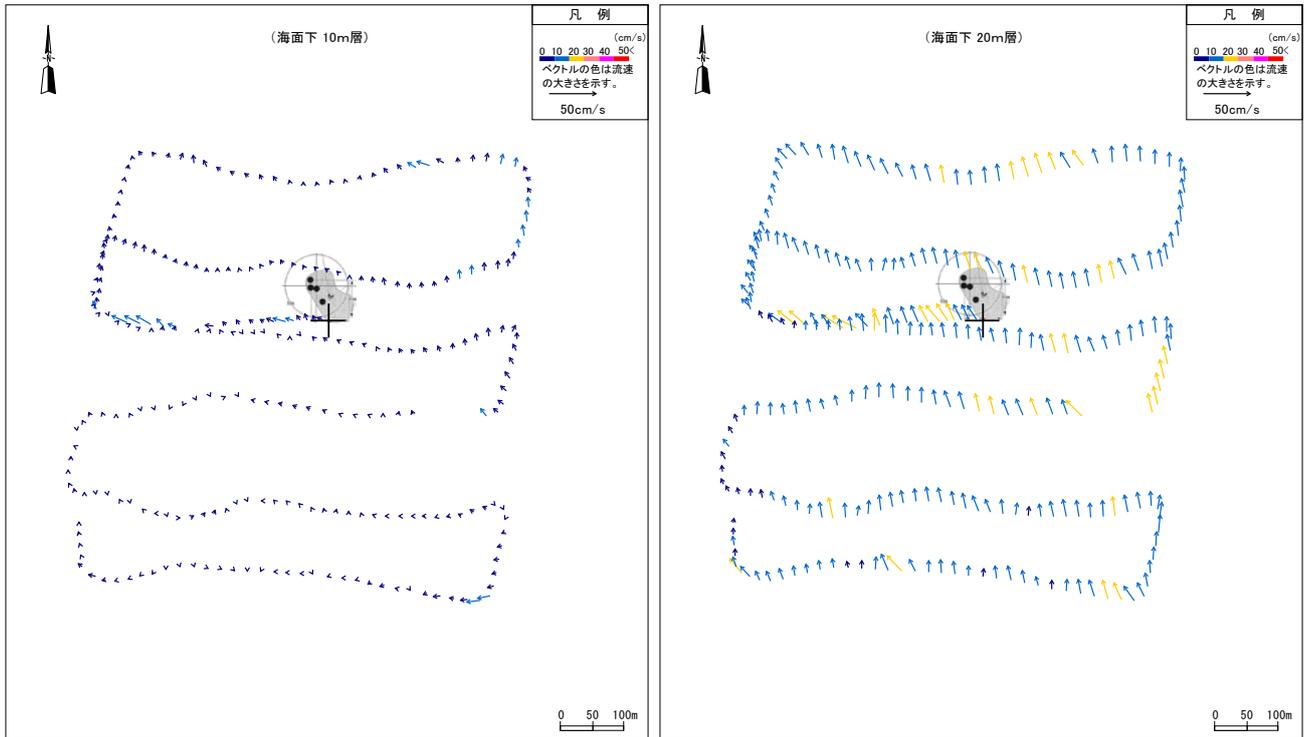
注) + : 付着板設置箇所を示す。

図VI. 1. 18 水深 20m 地点の流況 (下げ潮時)



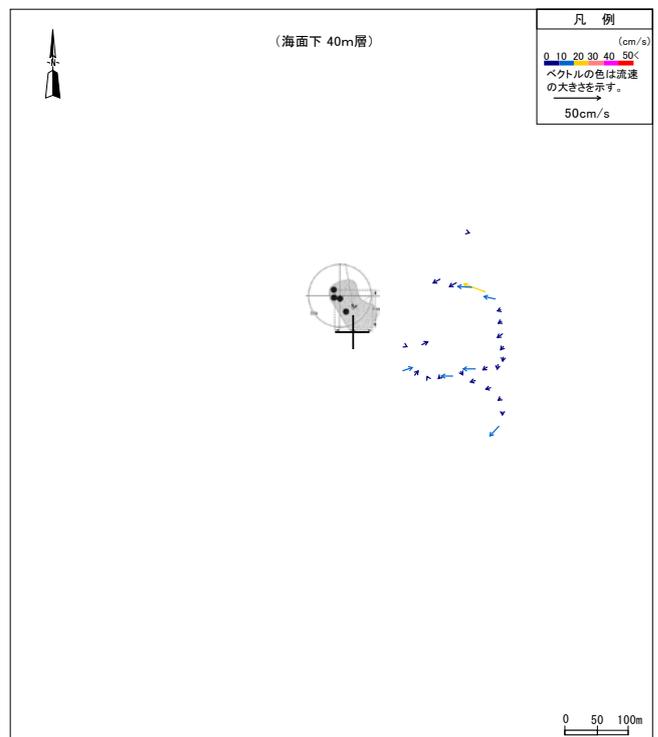
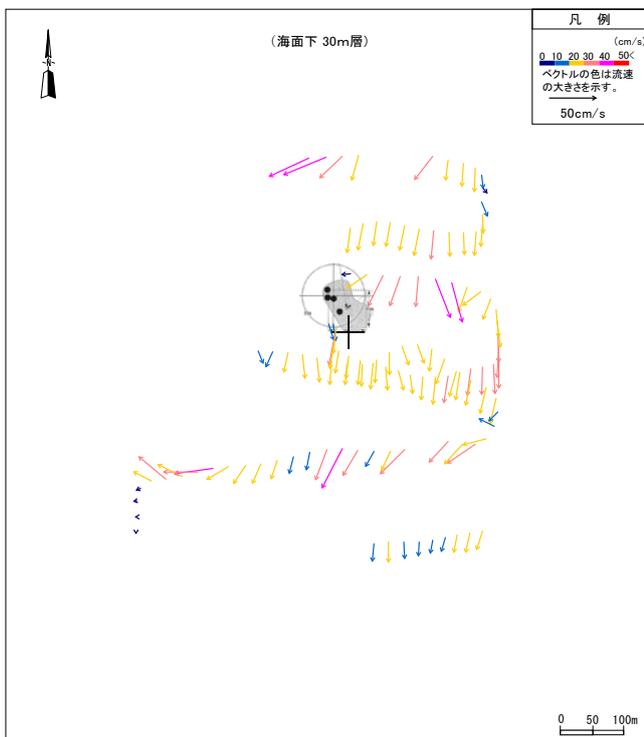
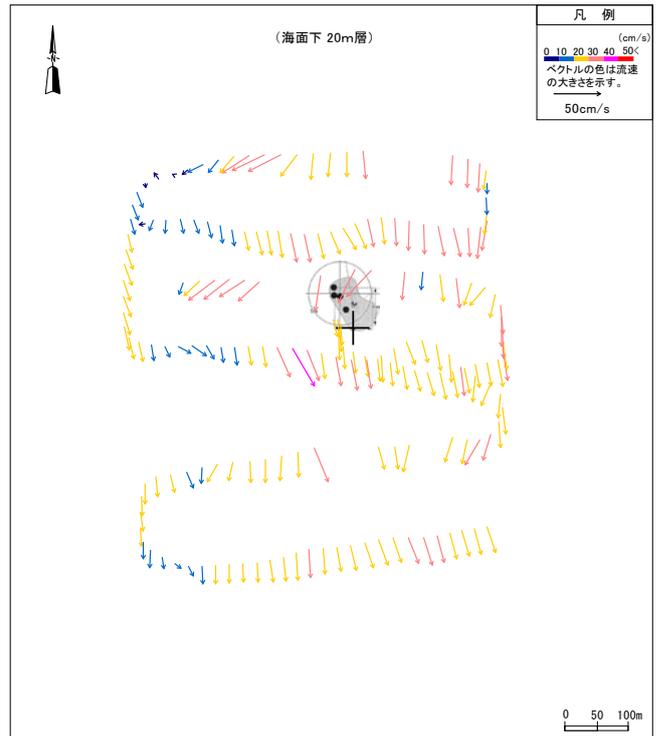
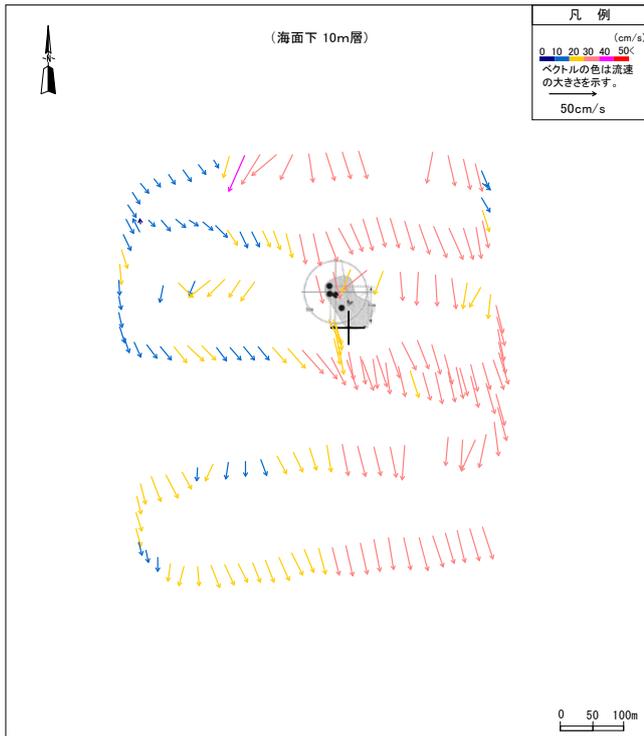
注) + : 附着板設置箇所を示す。

図VI. 1. 19 水深 20m 地点の流況 (上げ潮時)



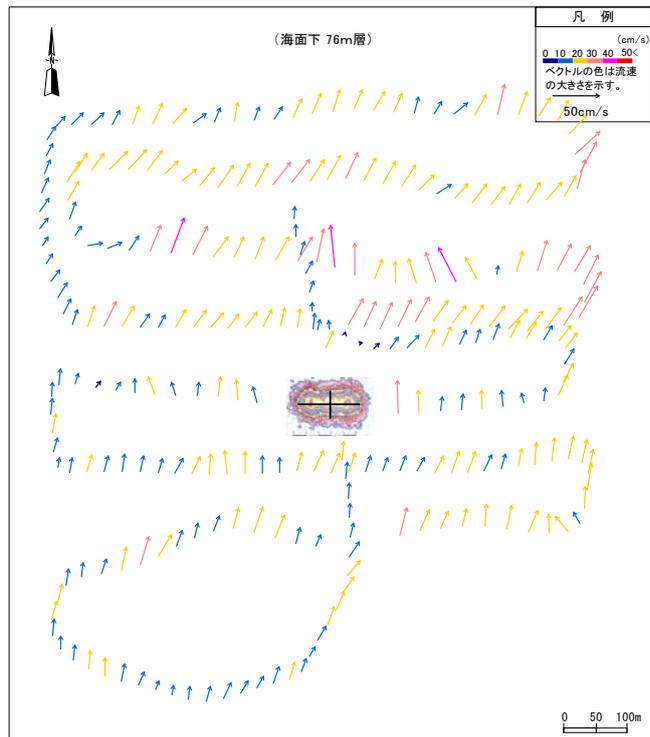
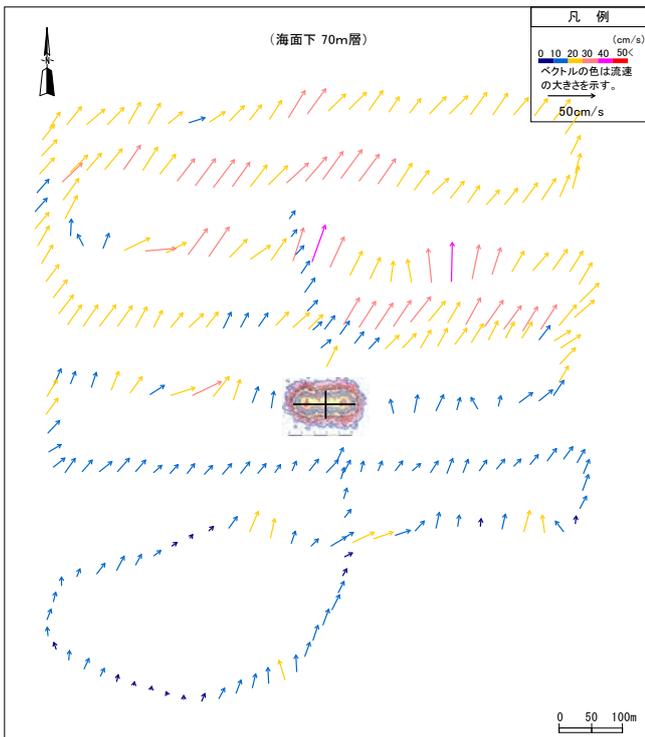
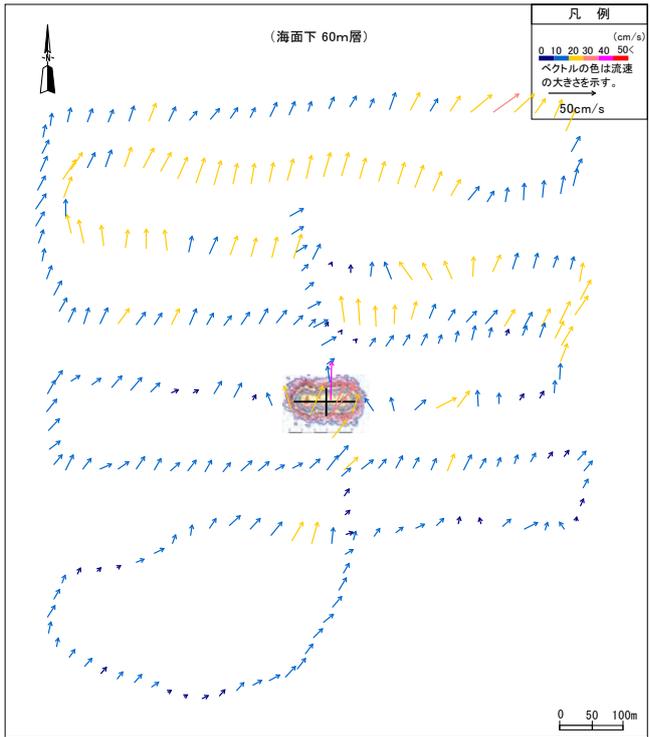
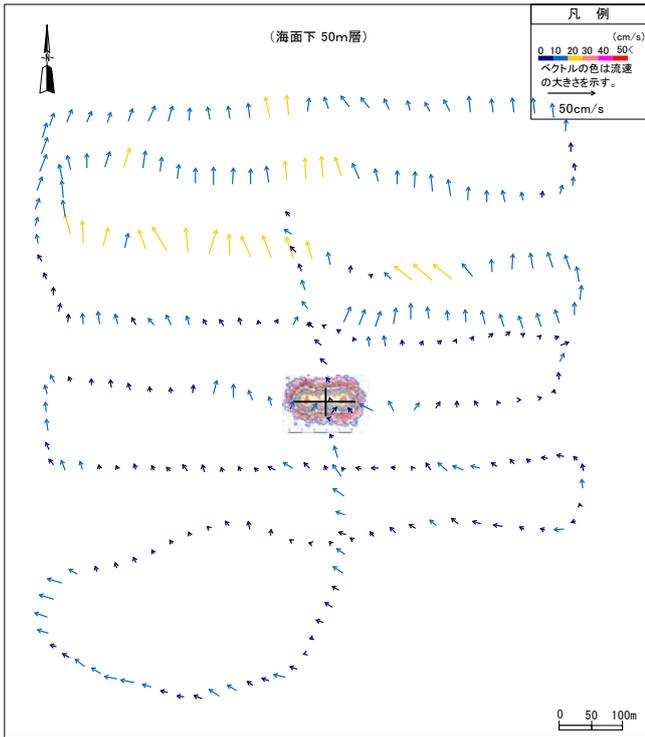
注) + : 付着板設置箇所を示す。

図VI. 1. 20 水深 40m 地点の流況 (下げ潮時)



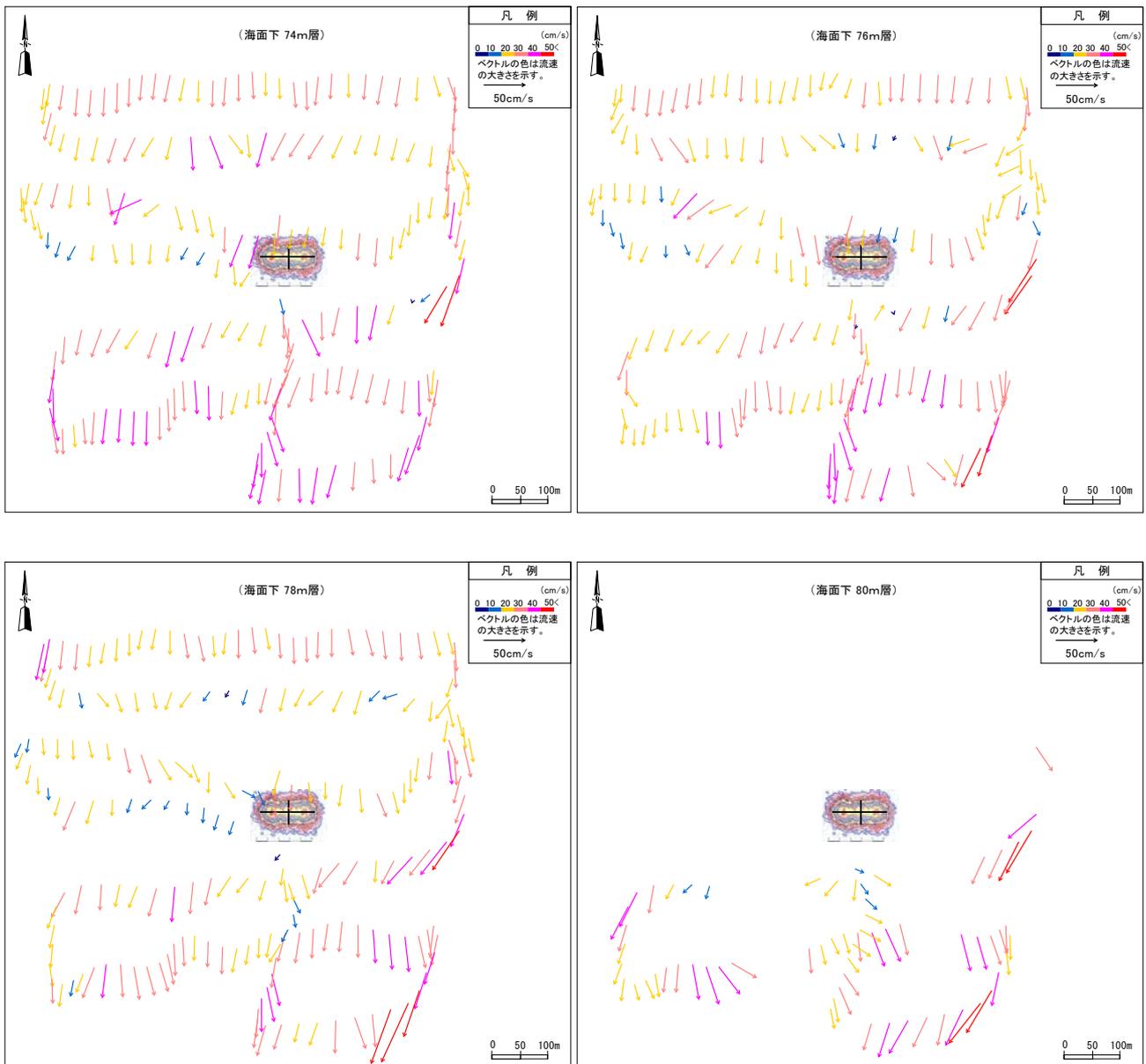
注) + : 付着板設置箇所を示す。

図VI. 1. 21 水深 40m 地点の流況 (上げ潮時)



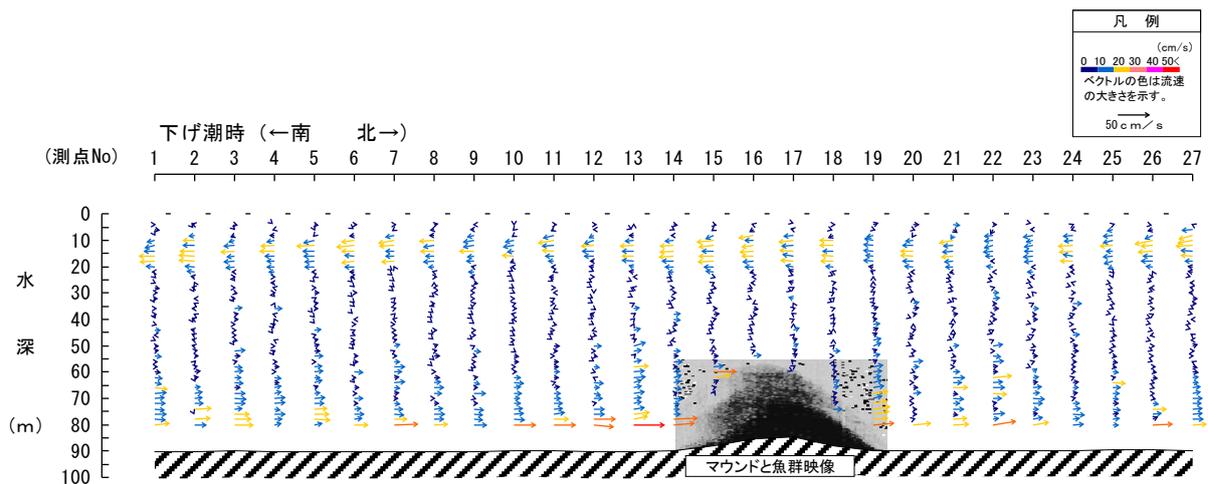
注) 付着板はマウンド礁南端から 20~30m 内に設置

図VI. 1. 22 水深 90m 地点の流況 (下げ潮時)

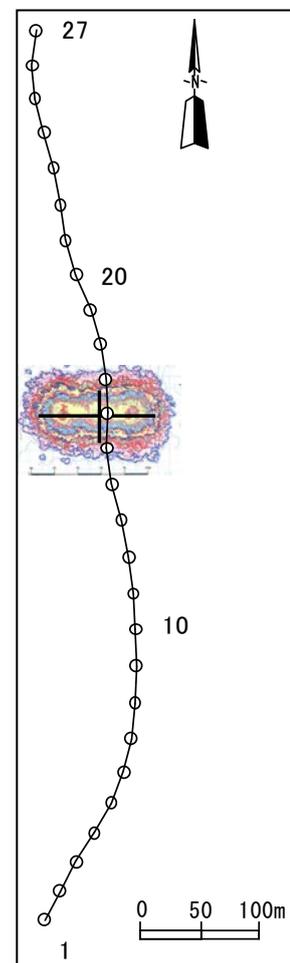


注) 附着板はマウンド礁南端から 20~30m内に設置

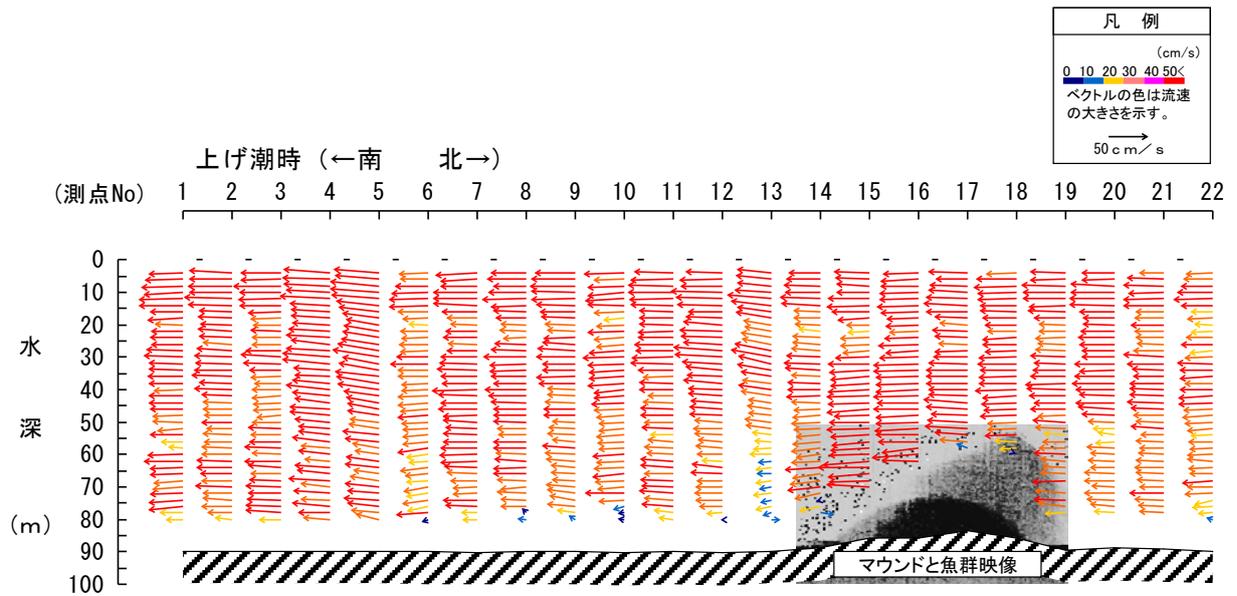
図VI. 1. 23 水深 90m 地点の流況 (上げ潮時)



注) ベクトルは南北成分と鉛直成分を合成して作成した。
 測点 No は左図の航跡図と対応している。
 図中のマウンドは同時に測定した魚群探知機の映像である。

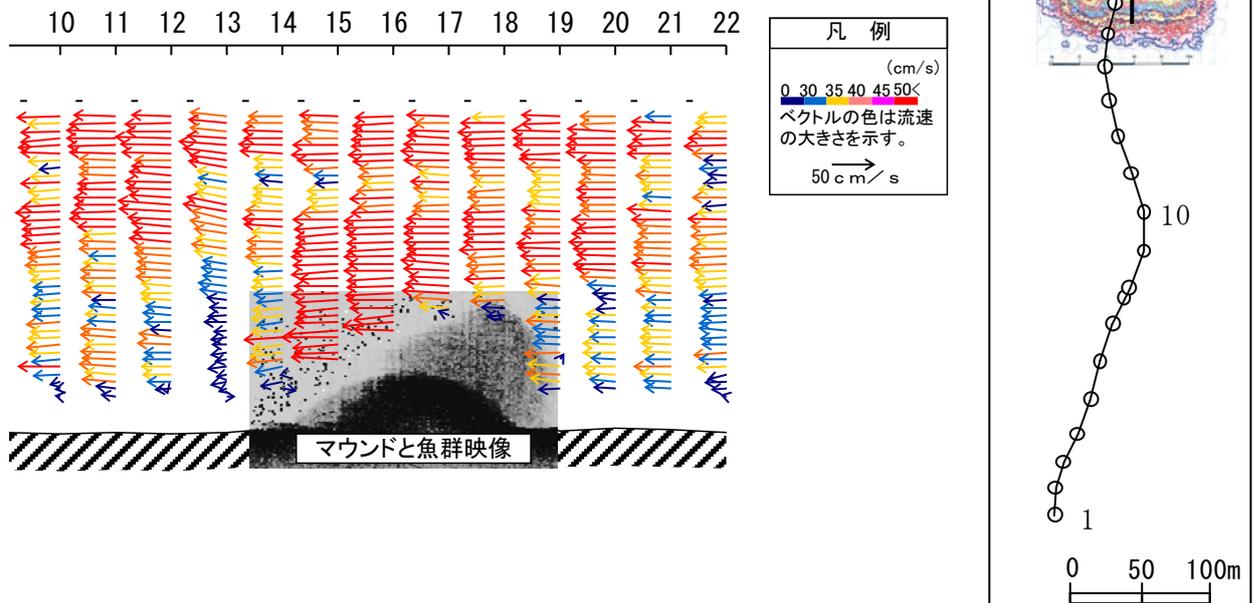


図VI.1.24 水深90m地点の流速ベクトル断面分布(下げ潮時)



注) ベクトルは南北成分と鉛直成分を合成して作成した。
 測点 No は左図の航跡図と対応している。
 下図には漁礁周辺をベクトルの流速凡例を変えて示した。
 図中のマウンドは同時に測定した魚群探知機の映像である。

(マウンド周辺の拡大図)

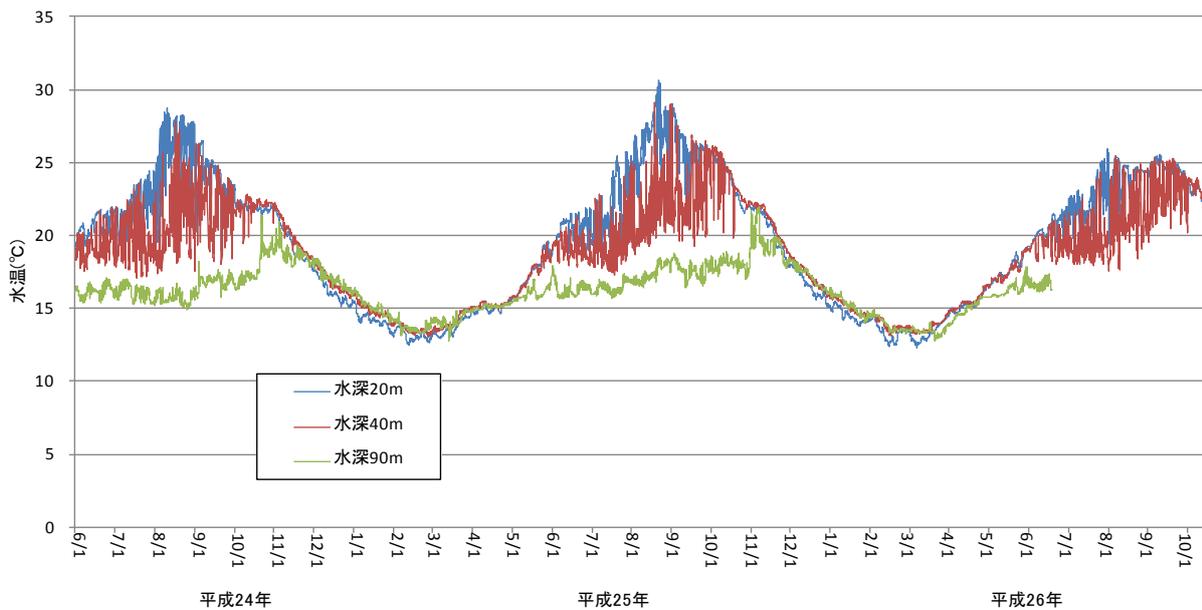


図VI.1.25 水深90m地点の流速ベクトル断面分布(上げ潮時)

(2) 水温

調査期間中の水温は水深 20m、水深 40m、水深 90mの順で高く、水深 20mが 12.3～30.6 (平均 19.5) °C、水深 40mが 13.0～29.1 (平均 18.6) °C、水深 90mが 12.8～22.0 (平均 16.2) °Cであった。水温の低い水深 90mは、他の 2 水深に比べて付着生物の成長速度は小さいと想定される。

なお、夏季の水深 20mと 40mでは、日較差 8～10°Cの著しい水温変動が観測されており、内部潮汐の存在が考えられた。



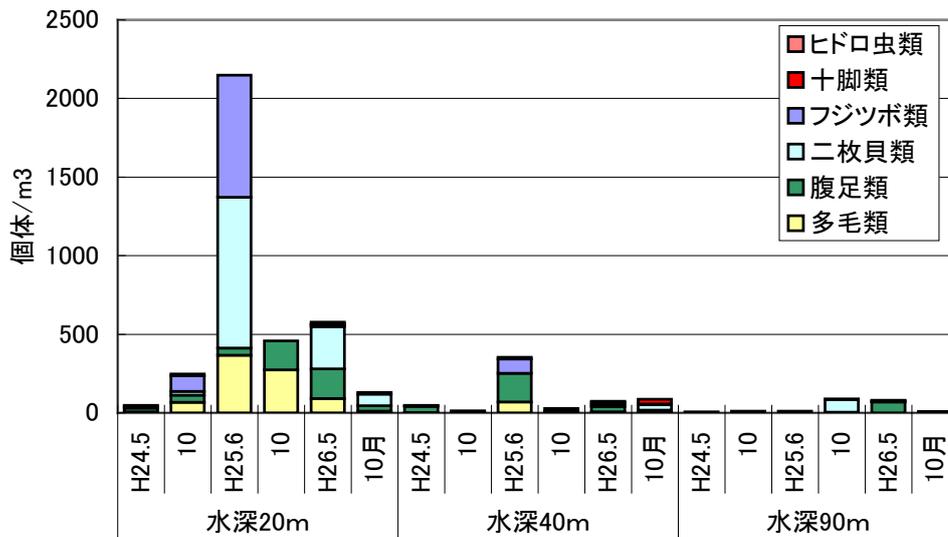
図VI. 1.26 付着板設置場所の水温

(3) 動物プランクトン

付着生物の幼生及び付着生物の餌料という 2つの観点から動物プランクトンを捉え、水深別の出現状況を整理した。

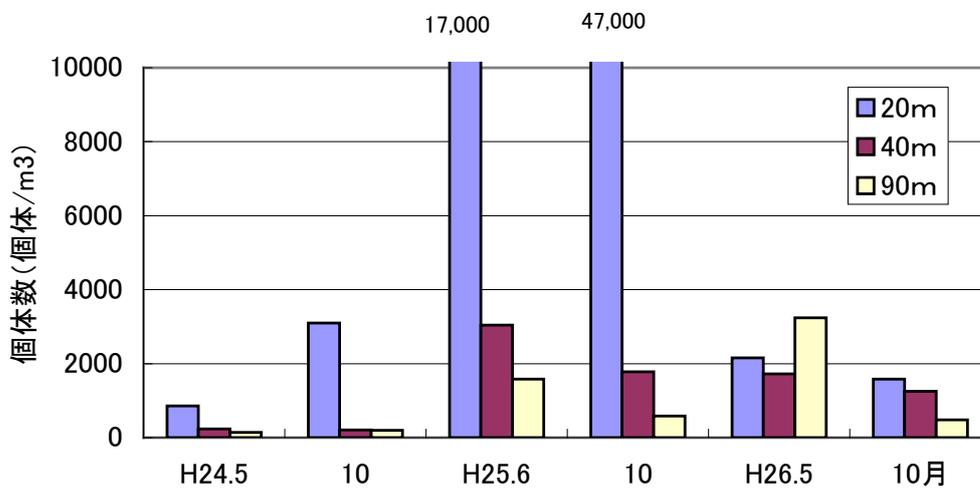
付着板設置水深から採集した動物プランクトンのうち幼生の個体数は図VI. 1.27 に示すように、水深 20m、40m、90mの順で多かった。

また、付着生物の中には海水中のプランクトンを餌とするものが多いが、殆どの調査回において動物プランクトンが多かったのは水深 20mであった (図VI. 1.28)。



図VI. 1.27 付着板設置水深における付着動物幼生*の出現状況

付着動物幼生*：凡例に挙げた幼生群のうち、フジツボ類は成体が付着生活を送る。フジツボ類以外の分類群は付着生活を送る種が含まれる。

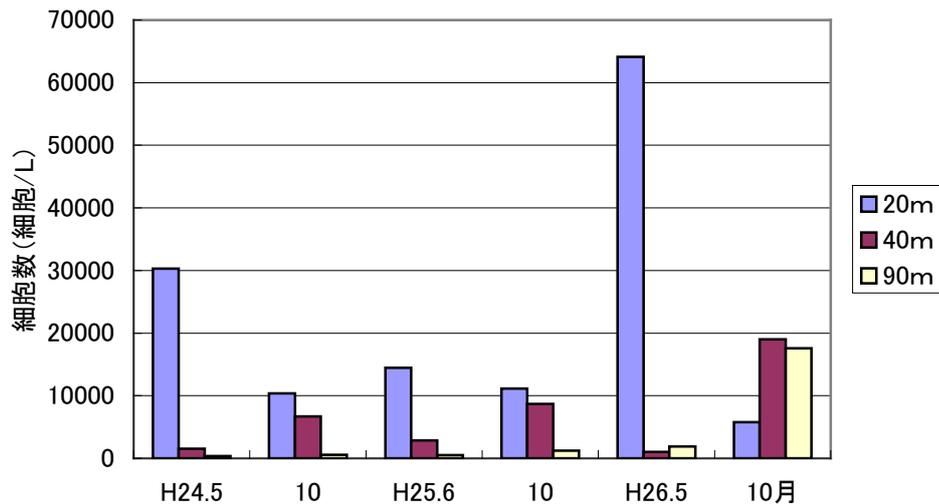


図VI. 1.28 付着板設置水深における動物プランクトン現存量

(4) 植物プランクトン

植物プランクトンは付着生物の餌料である動物プランクトンの餌であり、植物プランクトン自体も付着生物の餌となる。植物プランクトンも動物プランクトン同様に付着生物の増殖因子でいえる。

付着板設置水深における植物プランクトンの現存量は、動物プランクトン同様、水深 20 m、40m、90mの順で多かった。その中で、水深 20mで現存量が多い時、水深 40mの現存量が著しく少ない傾向がみられた。要因として、プランクトンの繁殖により上層の透明度が低下し、40m層の光量が低下したことが考えられる。



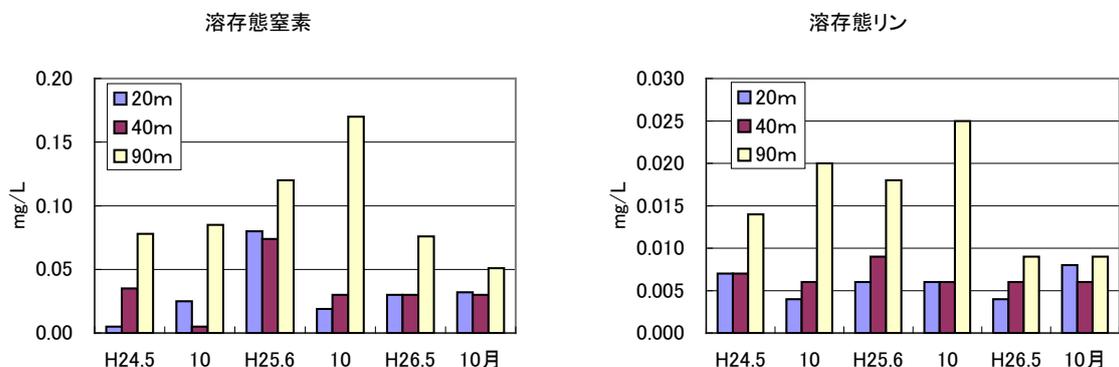
図VI. 1. 29 付着板設置水深における植物プランクトン現存量

(5) 栄養塩類

栄養塩類の濃度は全ての調査回において水深 90mで高かった。

付着生物の主な餌料は植物プランクトン、動物プランクトン、デトリタス等である。栄養塩類の濃度はデトリタス量と相関することから、水深 90mはプランクトン餌料は少ないが、デトリタス食性の付着生物にとっては良好な餌料環境と考えることができる。

また、浅海域では栄養塩類が植物プランクトンの増殖因子となるが、水深 90mは有光層より深く、植物プランクトンの増殖が行われないため、植物プランクトン量が少ない結果となっている。



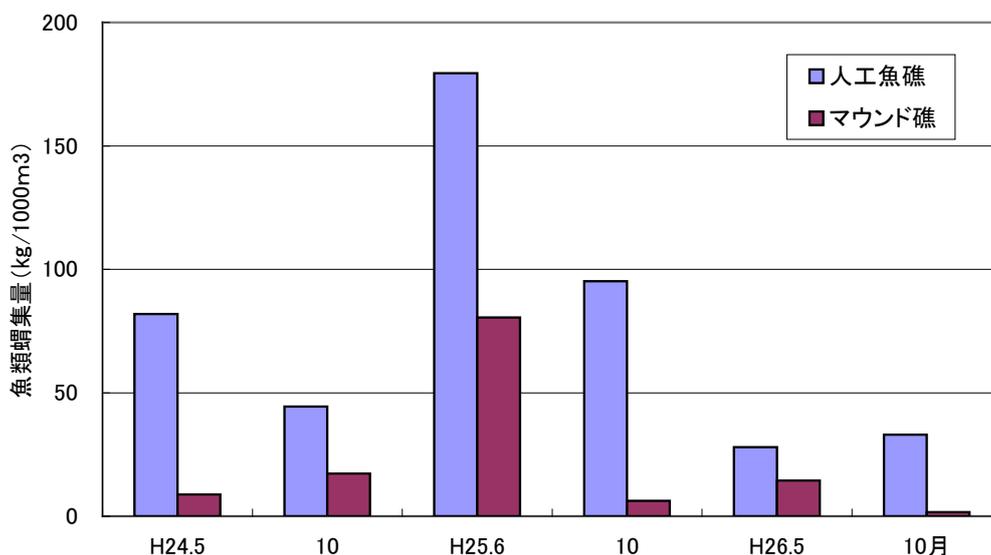
図VI. 1. 30 付着板設置水深における栄養塩類

VI. 1. 3 魚礁等効果調査

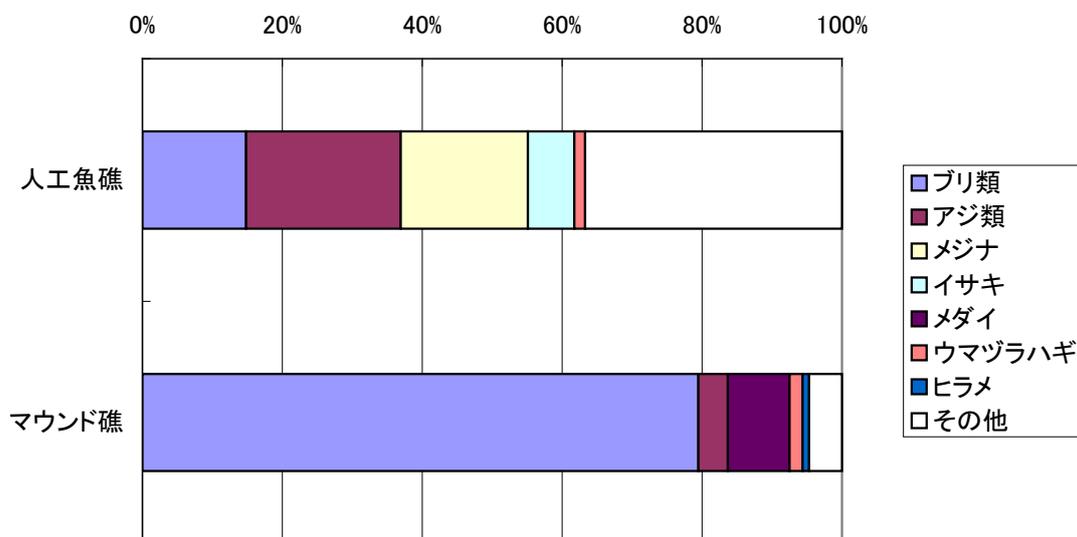
(1) 魚類の蛸集

付着板を設置した水深40m及び90m地点の漁場施設への魚類の蛸集量は図VI. 1. 31に示すように、全ての調査回において人工魚礁がマウンド礁を上回った。

主な蛸集魚は図VI. 1. 32に示すように、人工魚礁がブリ類、アジ類、メジナ、イサキ等であり、マウンド礁はブリ類、メダイ、アジ類等であった。



図VI. 1. 31 人工魚礁及びマウンド礁における魚類蛸集量

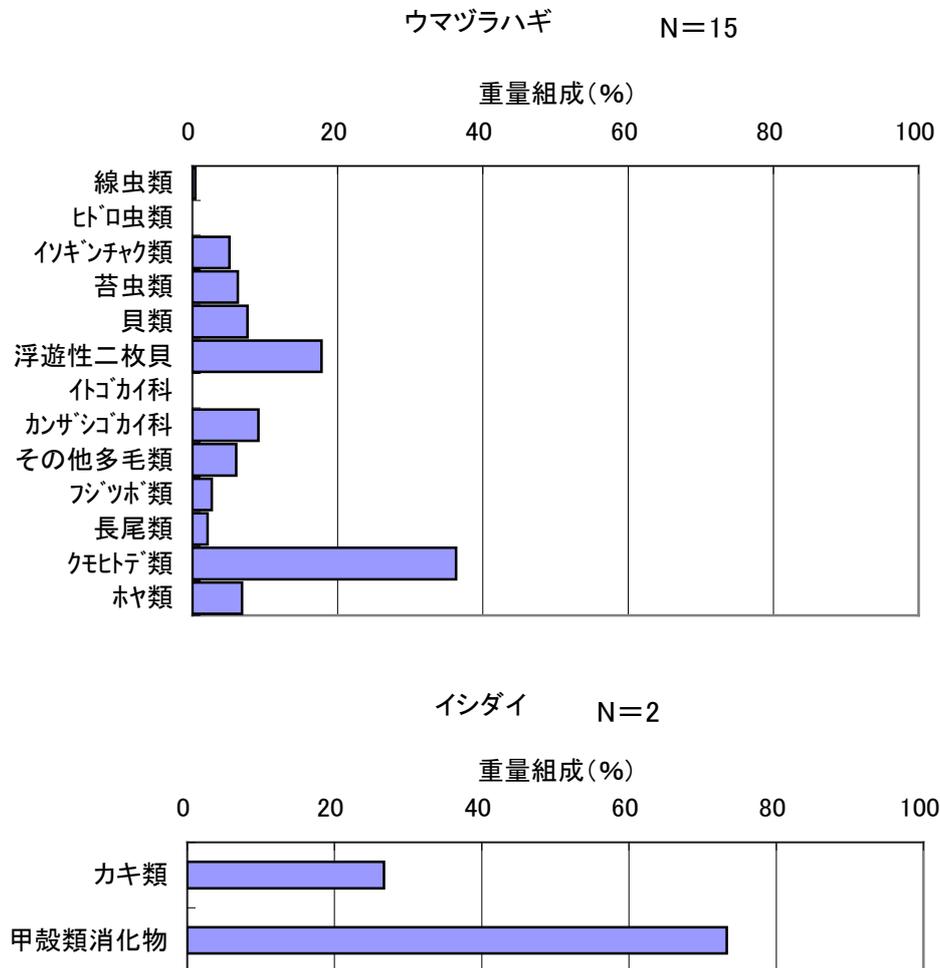


図VI. 1. 32 人工魚礁及びマウンド礁における主な蛸集魚 (各回平均)

(2) 蛸集魚の付着生物利用

マウンド礁で採捕したウマヅラハギとイシダイの胃内容物組成を図VI. 1. 33に示した。

ウマヅラハギの消化管からは、クモヒトデ類、カンザシゴカイ類、二枚貝類など13種類の動物群が検出され、イシダイからはカキ類と甲殻類の消化物が検出された。これらの内容物の多くはマウンド礁に設置した付着板に付着した動物群であり、マウンド礁に蟠集するウマヅラハギとイシダイが礁の付着生物を摂餌していると考えられた。



図VI. 1.33 マウンド礁蟠集魚の胃内容物組成

表VI. 1.1 マウンド礁蟠集魚の付着生物捕食状況

付着生物 (設置後5.5年)	付着生物の組成(%)		胃内容物出現種	
	個体数	重量	ウマヅラハギ	イシダイ
ヒドロ虫類	*	0.0	●	
ウミトサカ類	*	37.8		
腹足類	0.6	7.7	●	
二枚貝類	6.9	8.1	●	
カキ類	(6.9)	(8.1)		●
カンザシゴカイ科	12.4	0.1	●	
その他多毛類	17.8	0.7	●	
軟甲類	59.6	0.4		●
長尾類	(1.1)	(0.1)	●	
その他	(1.1)	(4.1)		
苔虫類	0.0	0.2	●	
クモヒトデ類	0.2	0.0	●	
ホヤ類	1.1	40.2	●	
その他	1.3	0.3		

* : 計数困難を示す。



蛸集魚（マダイ）



蛸集魚（メダイ）



蛸集魚（マハタ、イシダイ）



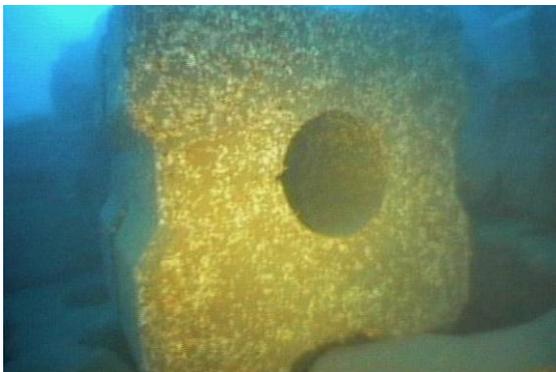
蛸集魚（マハタ）



蛸集魚（アジ類）



蛸集魚（ブリ類）



付着生物（横面：カンザシガキ類、フジツバ類）



付着生物（上面：カンザシガキ類、フジツバ類）

図VI. 1. 34 マウンド礁における魚類蛸集状況（平成 24 年 5 月）



蜻集魚（マダイ）



蜻集魚（メダイ）



蜻集魚（シキシマハナダイ、サクラダイ）



蜻集魚（ウマヅラハギ）



蜻集魚（ヒラメ）



蜻集魚（ブリ類）



付着生物（上面：カンザシガイ類、フジツバ類）



付着生物（横面：カンザシガイ類、フジツバ類）

図VI.1.35 マウンド礁における魚類蜻集状況（平成24年10月）



蛸集魚（ブリ類）



蛸集魚（メダイ）



蛸集魚（マハタ）



蛸集魚（マトウダイ）



蛸集魚（アジ類）



蛸集魚（ヒラメ）



付着生物（横面：カンザシコガイ類、フジツバ類）



付着生物（上面：カンザシコガイ類、フジツバ類）

図VI. 1. 36 マウンド礁における魚類蛸集状況（平成 25 年 6 月）



蛸集魚（メダイ）



蛸集魚（マダイ）



蛸集魚（ヒラメ）



蛸集魚（シキシマハナダイ）



蛸集魚（マハタ）



蛸集魚（トゴットメバル）



付着生物（横面：カザシガカ類、フジツボ類）



付着生物（上面：カザシガカ類、フジツボ類、二枚貝類）

図VI.1.37 マウンド礁における魚類蛸集状況（平成25年10月）



蛸集魚（ネンブツダイ）



蛸集魚（マハタ）



蛸集魚（マハタ、イシダイ）



蛸集魚（メダイ）



蛸集魚（ブリ類）



蛸集魚（シキシマハナダイ）



付着生物（横面：カザシカ類、フツホ類）



付着生物（上面：カザシカ類、フツホ類）

図VI. 1. 38 マウンド礁における魚類蛸集状況（平成26年5月）



蛸集魚（ヒラメ）



蛸集魚（マトウダイ）



蛸集魚（トゴットメバル）



蛸集魚（ウマヅラハギ）



蛸集魚（ブリ類）



蛸集魚（メダイ）



付着生物（横面：カンザシガイ類、フジツボ類）



付着生物（上面：カンザシガイ類、フジツボ類）

図VI. 1. 39 マウンド礁における魚類蛸集状況（平成26年10月）



蛸集魚（ウスメバル、ネンブツダイ）



蛸集魚（アジ類、ネンブツダイ）



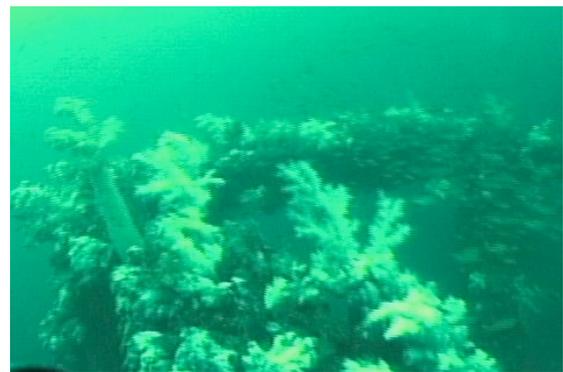
蛸集魚（イサキ）



蛸集魚（カワハギ、カゴカキダイ）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（垂直面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類）

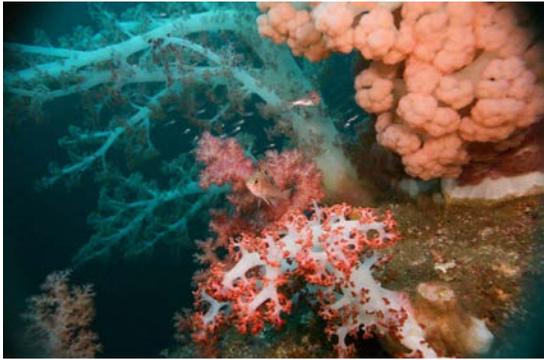


付着生物 FP スーパー-850 魚礁
（垂直面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP スーパー-850 魚礁
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類、海藻類）

図VI. 1. 40 人工魚礁における魚類蛸集状況（平成 24 年 5 月）



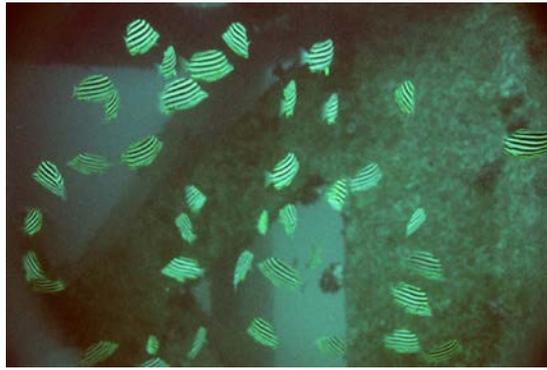
蛸集魚（ウスメバル、ネンブツダイ）



蛸集魚（キハツソク、カワハギ、キュウセン）



蛸集魚（カワハギ）



蛸集魚（カゴカキダイ）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（垂直面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP スーパー850 魚礁
（垂直面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP スーパー850 魚礁
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類、ヤギ類）

図VI.1.41 人工魚礁における魚類蛸集状況（平成24年10月）



蜻集魚（ネンブツダイ）



蜻集魚（アジ類）



蜻集魚（イサキ）



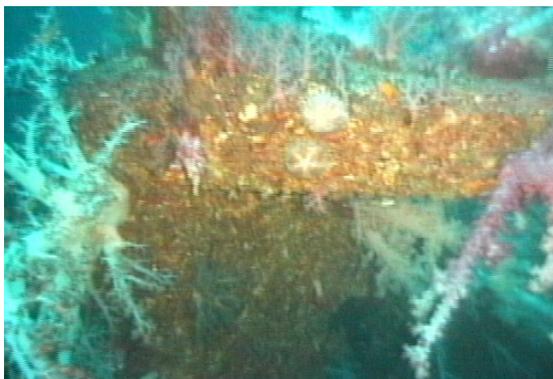
蜻集魚（イシダイ）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（垂直面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP スーパー850 魚礁
（垂直面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP スーパー850 魚礁
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類）

図VI. 1. 42 人工魚礁における魚類蜻集状況（平成 25 年 6 月）



蛸集魚（イシダイ、マツバスズメダイ）



蛸集魚（キンチャクダイ）



蛸集魚（カサゴ）



蛸集魚（ミノカサゴ）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（垂直面：ウミトサカ類、ウニ類）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類、ヤギ類）



付着生物 FP スーパー850 魚礁
（垂直面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP スーパー850 魚礁
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類）

図VI. 1. 43 人工魚礁における魚類蛸集状況（平成 25 年 10 月）



蛸集魚（イシダイ）



蛸集魚（マツバスズメダイ）



蛸集魚（トゴットメバル）



蛸集魚（カワハギ）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（垂直面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP スーパー850 魚礁
（垂直面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP スーパー850 魚礁
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類）

図VI. 1. 44 人工魚礁における魚類蛸集状況（平成 26 年 5 月）



蛸集魚（マツバスズメダイ）



蛸集魚（カワハギ）



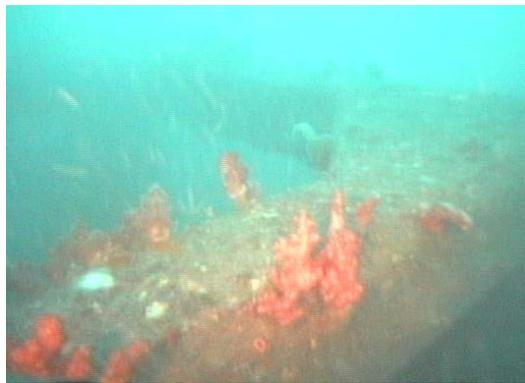
蛸集魚（アジ類）



蛸集魚（アイゴ）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（垂直面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP 魚礁 5.00 型
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP スーパー850 魚礁
（垂直面：ウミトサカ類、カイメン類）



付着生物 FP スーパー850 魚礁
（水平面：ウミトサカ類、カイメン類）

図VI. 1. 45 人工魚礁における魚類蛸集状況（平成 26 年 10 月）

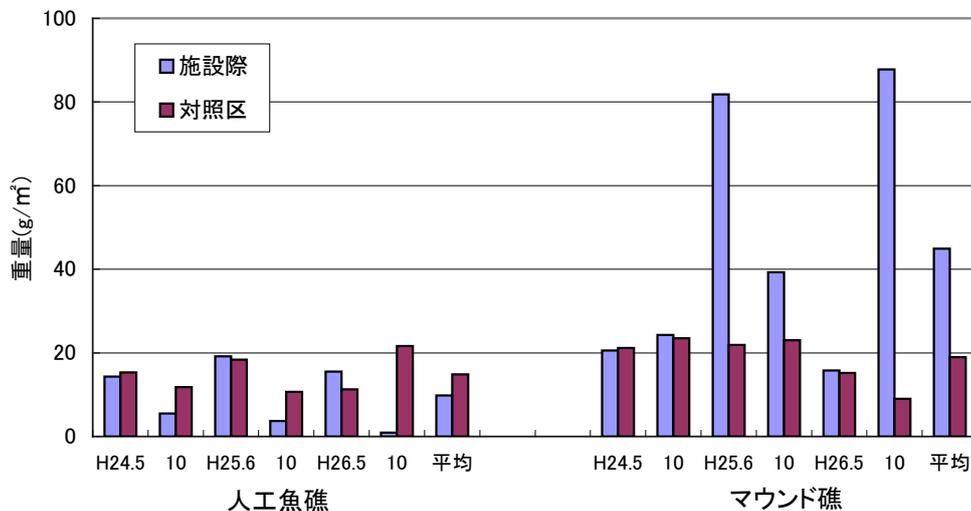
(3) 底生生物

漁場施設直近と対照区における底生生物の湿重量を図VI. 1. 46 に示した。

マウンド礁の直近域では4 km離れた同じ水深の対照区に比べて底生生物量が多い傾向がみられた。マウンド礁のプランクトン増殖機能により、周辺域では底生生物の餌となる有機物が多いことが考えられる。

一方、水深40mの人工魚礁直近の底生生物量は、対照区よりやや少なかった。魚礁付近の海底には砂れんが見られ、砂の移動が激しいことが想定される。特に魚礁直近は構造物の影響を受けて底質の攪乱が激しいため、底生生物にとって良好な生息環境となっていなかったと考えられる。

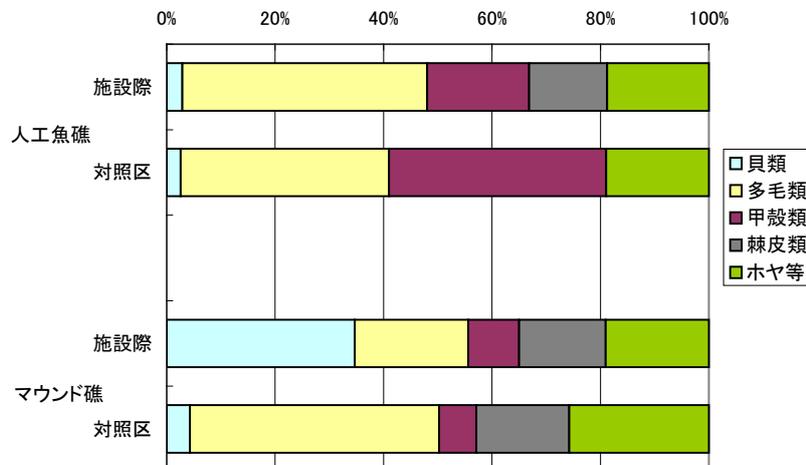
底生生物の組成では、人工魚礁際では対照区に比べて棘皮類が多い特徴がみられた。また、マウンド礁の直近は対照区に比べ、ヨコエビ類、スナモグリ等の甲殻類や貝類が多かった (図VI. 1. 47)。



注1. 2012年は人工魚礁と対照区(500m地点)の底質条件が著しく異なったため、2013年は魚礁から20m地点を対照区とした。

注2. マウンド礁と対照区の距離は4kmである。

図VI. 1. 46 漁場施設直近域の底生生物湿重量

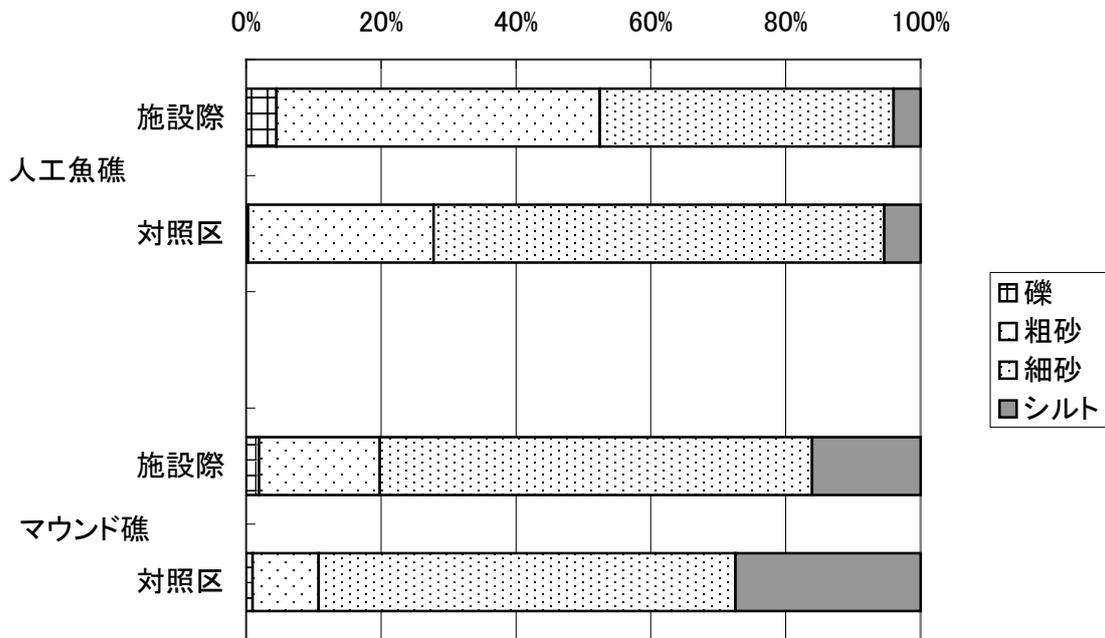


注) 6回(人工魚礁対照区は4回)の調査の平均値。

図VI.1.47 漁場施設直近域の底生生物組成（重量ベース）

施設際と対照区の底質粒度組成を図VI.1.48に示した。

構造物が設置されることにより、場の流れが変化することが想定されるが、このことにより施設際の粒度は対照区に比べてやや粗い傾向がみられた。そしてこのことが底生生物の組成に現れていると考えられた。



注) 3回(人工魚礁対照区は2回)の調査の平均値。

図VI.1.48 漁場施設直近の底質

VI. 1. 4 補足調査（平成 19 年設置の付着板の状況）

平成 19 年 9 月にマウンド礁直近に設置した付着板を 6 年強の間に 5 回収し、生物の付着状況を追跡した。

直近回収時（6.5 年後）における付着生物の総個体数は 6463 個体/m²、総重量は 1268 g/m²であり、個体数が多かったのは多毛類、軟甲類、その他の生物、湿重量は海綿類、花虫類（ウミトサカ類）、貝類が多かった（表 VI. 1. 2）。

表 VI. 1. 2 設置後 6.5 年の生物付着の概要

	個体数（個体/m ² ）	湿重量（g/m ² ）	種数
海綿類	-	139.5	1
花虫類	-	661.4	1
貝類	450	175.6	9
多毛類	3250	126.0	24
軟甲類	2050	55.4	13
ホヤ類	125	33.9	3
その他	588	76.4	7
合計	6463	1268.2	58

設置後 0.5 年



1.5 年



5.5 年



6.5 年

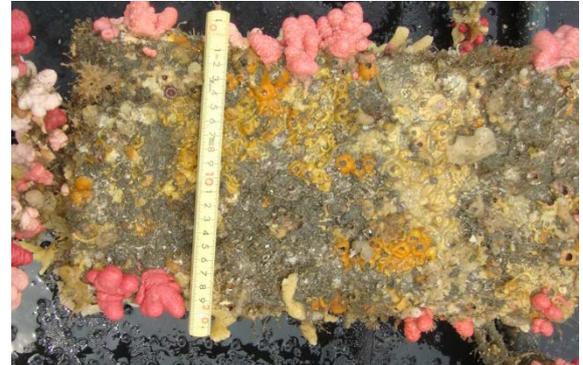


図 VI. 1. 49 生物付着の経時変化状況

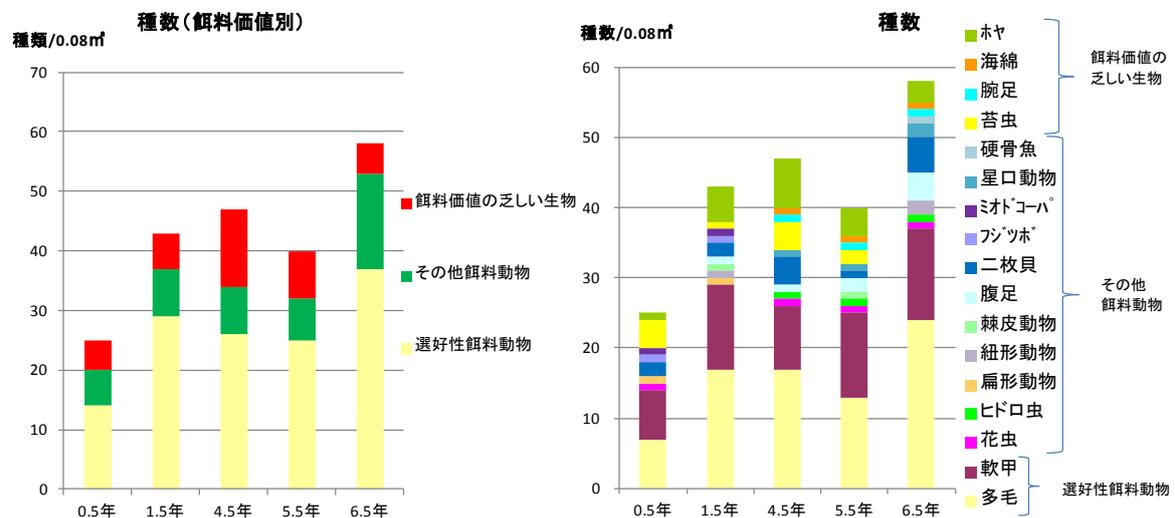
■ 付着生物全種（固着性種＋匍匐性種）

魚類餌料としての観点から、付着生物を「特に魚類が好む餌料動物である選好性餌料動物（多毛類、軟甲類）」、「その他の餌料動物」、「餌料価値に乏しい動物」に分類し、その付着状況を取りまとめた。

(1) 種数

選好性餌料動物、その他の餌料動物及び餌料価値に乏しい生物それぞれの種数の経年変化を図VI. 1. 50に示した。

種数は4.5年にかけて増加した後、5.5年にはやや減少し、6.5年に再び増加した。選好性餌料動物においては大きな種数の変化は見られないが、その他の餌料動物においては、扁形動物及びフジツボ類は4.5年以降には見られなくなった。餌料価値の乏しい生物は、1.5年から4.5年にかけてホヤ類、苔虫類の種数が増加した。また、腕足類、海綿類は4.5年以降に出現した。

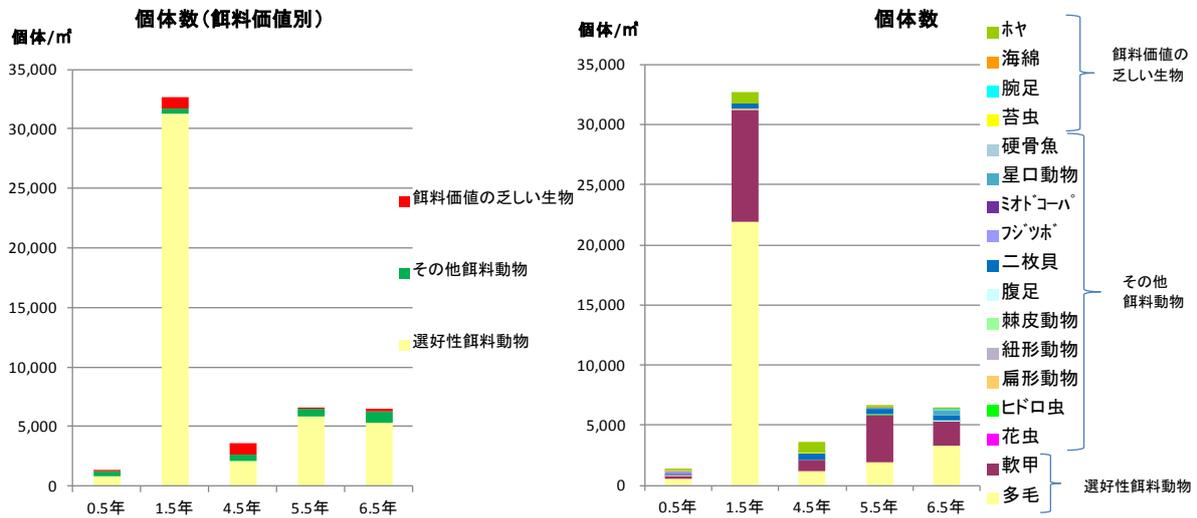


図VI. 1. 50 種数の経年変化

(2) 個体数

付着動物の個体数推移を図VI. 1. 51 に示した。

個体数は1.5年に大きく増加したが、4.5年には大幅に減少した。1.5年の急増を除くと、徐々に増加し、5.5年以降は大きな変化は見られない。特に選好性餌料動物の個体数変動が大きく、その他の餌料動物及び餌料価値の乏しい生物の増減は少ない。

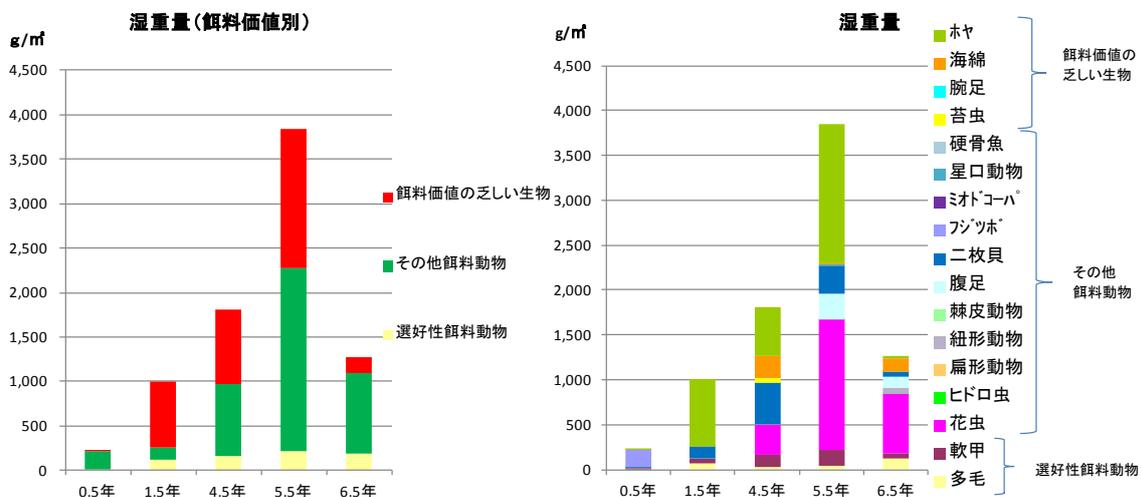


図VI. 1.51 個体数の経年変化

(3) 湿重量

付着動物の湿重量の推移を図VI. 1.52 に示した。

湿重量は5.5年まで増加傾向あったが、6.5年では減少していた。特にその他の餌料動物及び餌料価値の乏しい生物の増減が顕著である。選好性餌料動物はその多くが小型種であるため湿重量自体は小さいが、5.5年目までは増加傾向にあった。その他の餌料動物においては、花虫類(ウミトサカ)、腹足類、二枚貝類(カキ類等)が全体の増加傾向と同様である。餌料価値の乏しい生物においては、1.5年以降、ホヤ類の増加が顕著であったが、6.5年には殆どみられなかった。



図VI. 1.52 湿重量の経年変化

■ 餌料価値からみた付着生物の変化

(1) 選好性餌料動物

① 種数

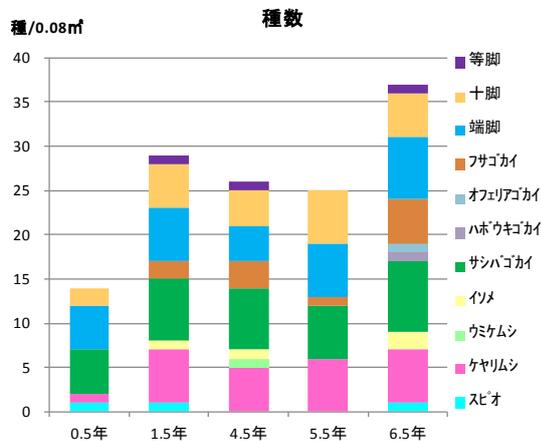
サシバゴカイ類、端脚類（ヨコエビ類等）、十脚類（エビ類等）は、初期から比較的安定して一定の種数が棲息している（図VI. 1. 53）。

② 個体数

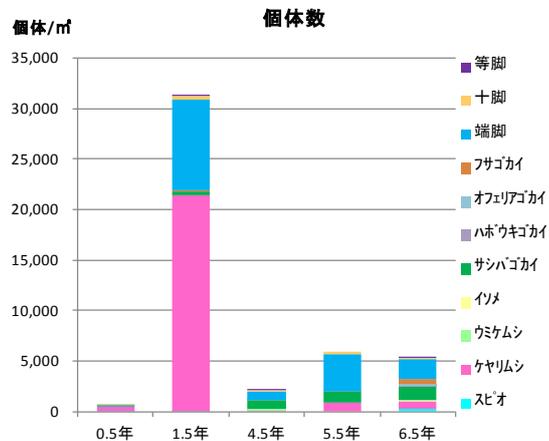
0.5年から1.5年に急増したデータを除くと緩やかに増加傾向が見られるものの、5.5年から6.5年にかけては増加傾向がみられなかった。1.5年における個体数の増加はケヤリムシ類及び端脚類に拠るところが大きい。また、図では分かりにくいですが、サシバゴカイ類の個体数は年を経るごとに増加している（図VI. 1. 54）。

③ 湿重量

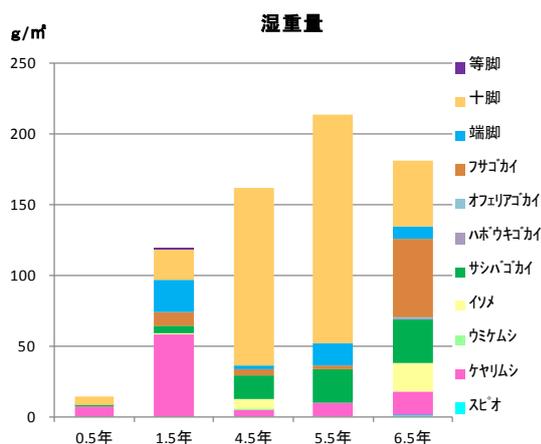
湿重量は年々増加している。1.5年から4.5年にかけて個体数が大幅に減少したケヤリムシ類、端脚類は重量も減少したが、十脚類、サシバゴカイ類の重量増が全体を引き上げた（図VI. 1. 55）。



図VI. 1. 53 選好性餌料動物の種数変化



図VI. 1. 54 選好性餌料動物の個体数の変化



図VI. 1. 55 選好性餌料動物の湿重量の変化

(2) その他の餌料動物

① 種数

扁形動物やフジツボ類等の0.5年から1.5年に出現している生物と、ウミトサカ類やヒドロ虫類等の4.5年以降に出現している種があることが分かる(図VI.1.56)。

後に固着生物の項で詳しく述べるが、付着板の表面は時間の経過とともに質と形状が変化し、このことにより棲息する生物の種類が変化したと考えられる。

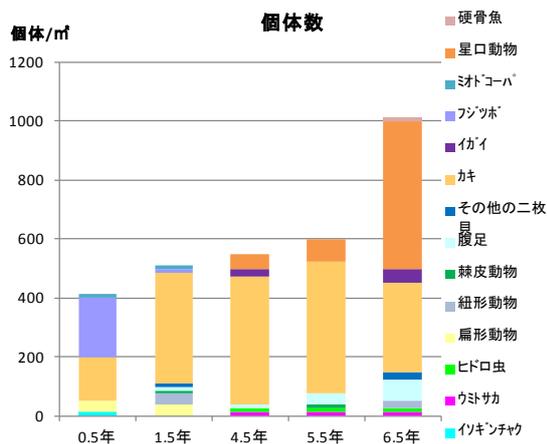
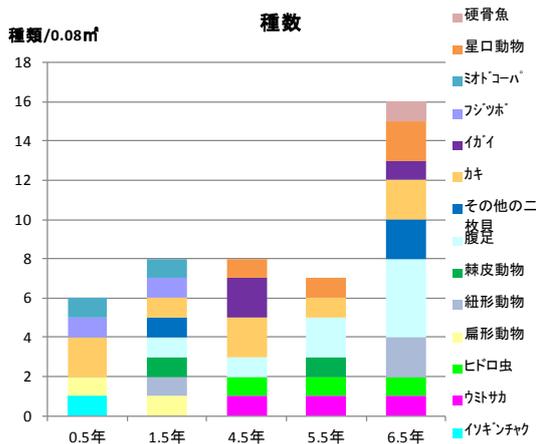
② 個体数

フジツボ類は、0.5年には200個体あったが、1.5年には13個体、4.5年以降は出現していない。また、カキ類(ベッコウガキ類)は唯一0.5~6.5年にかけて出現しており、1.5年以降においては個体数の過半を占める優占種となった(図VI.1.57)。

③ 湿重量

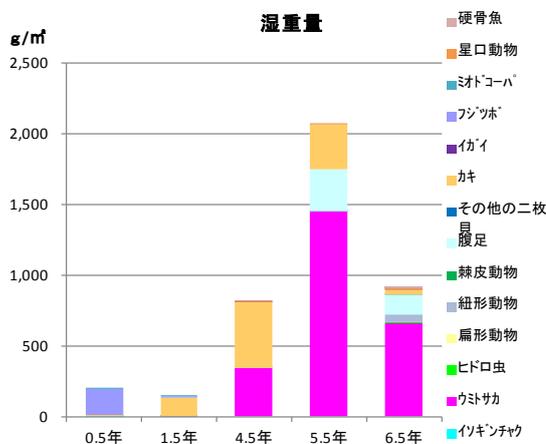
湿重量はごく少数の種が寡占する特徴がみられた。0.5年はフジツボ類、1.5年はカキ類が大半を占め、4.5年以降はカキ類とウミトサカ類等で占められている(図VI.1.58)。

カキ類の平均体重は1.5年の0.35gから4.5年には約3倍の1.05gに増加しており、年級の大きなカキが多かった。しかし、5.5年では0.70gと若干小型化し、6.5年ではさらに小さくなった。



図VI.1.56 その他の餌料動物の種数変化

図VI.1.57 その他の餌料動物の個体数の変化



図VI.1.58 その他の餌料動物の湿重量の変化

(3) 餌料価値の乏しい生物

① 種数

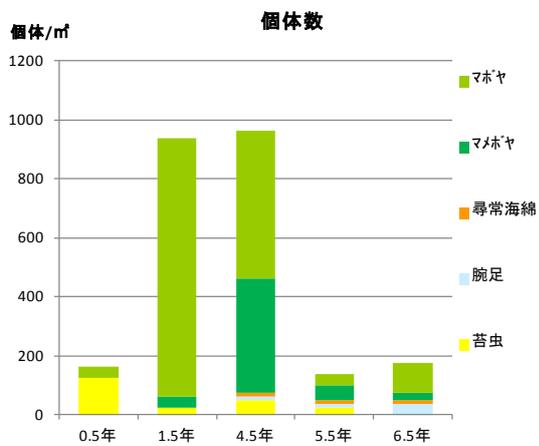
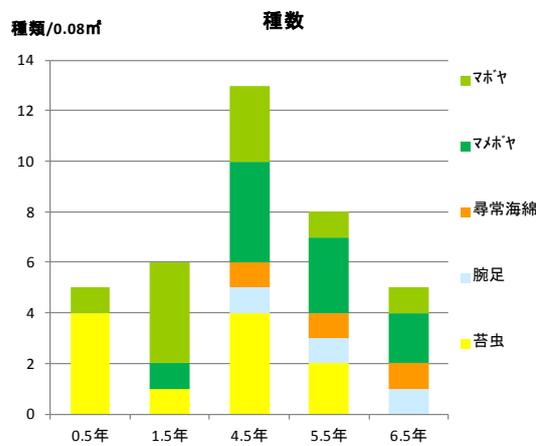
マメボヤは1.5年以降に、腕足類や海綿類等は4.5年以降に出現しており、経年で出現している種が異なることが分かる。また、苔虫類及びマメボヤ類は4.5年に種数が増加したが、5.5年には減少し、6.5年でさらに減少した(図VI.1.59)。

② 個体数

1.5年後にはマボヤ類が増加したが、その後減少した。4.5年後には、マボヤ類の減少を埋めるようにマメボヤ類が増加したが、5.5年には激減した(図VI.1.60)。

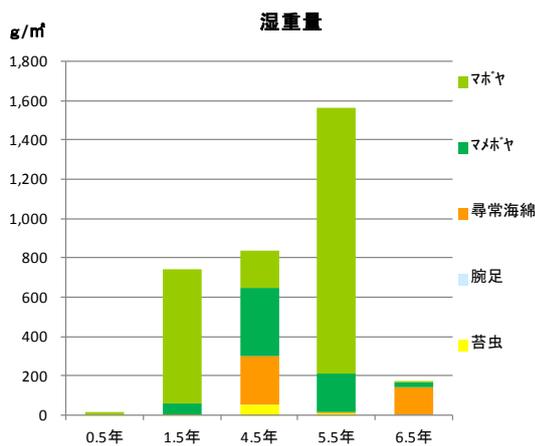
③ 湿重量

ホヤ類の湿重量は、4.5年後までは個体数と相関がみられたが、5.5年後は個体数が激減したにもかかわらず湿重量が増加し、6.5年では激減した(図VI.1.61)。4.5年から5.5年にかけての湿重量の増加はマボヤの成長によるものであった。



図VI.1.59 餌料価値の乏しい生物の種数変化

図VI.1.60 餌料価値の乏しい生物の個体数変化



図VI.1.61 餌料価値の乏しい生物の湿重量の変化

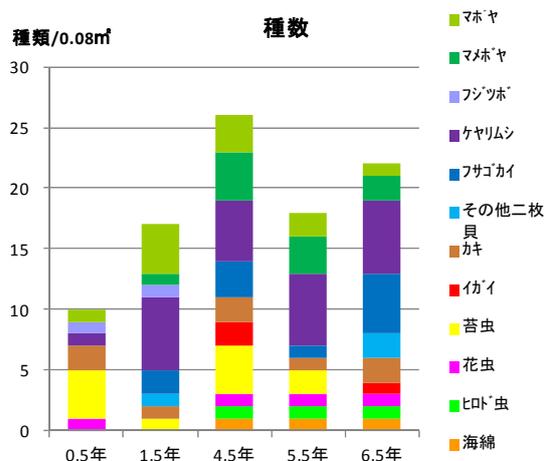
■ 固着性生物の付着状況

匍匐性の種を除いた固着性種の種数及び個体数、湿重量、平均湿重量（体重）の経年変化を図VI. 1. 62～図VI. 1. 66に示した。

① 種数

固着生物の種数は4.5年まで増加し、5.5年にはやや減少し、6.5年でまた増加した。その中でも、フジツボ類は1.5年までしか出現していないが、一方で、フサゴカイ類、マメボヤ類等は1.5年以降に出現し、イガイ類は4.5年に出現した（図VI. 1. 62）。

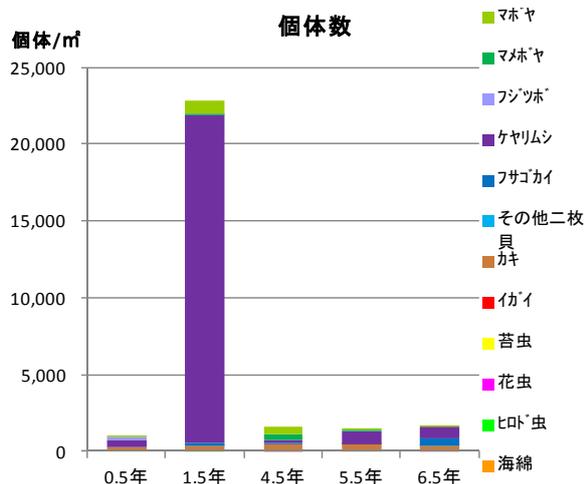
こうした出現種の変化は、付着基質の変化によるところが大きいと考えられる。すなわち、コンクリート面への一次生息者となるのが、フジツボ類であり、これらの生物の死後に残された棲管や側板によりコンクリートと異なる付着環境が創出され、その結果としてフサゴカイ類等の第二次生息者が付着するようになり、さらには第三次生息者としてイガイ類が出現したと考えられる（棲み込み連鎖）。



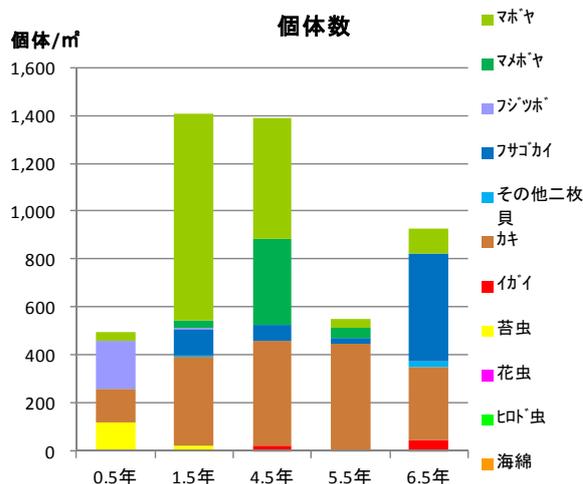
図VI. 1. 62 固着性生物の種数変化

② 個体数

1.5年にケヤリムシ類が著しく増加したことにより、個体数は急増したが、4.5年には大きく減少し、以降大きな変動はみられない。また、1.5年にホヤ類が増加したが、5.5年には減少した。一方で、カキ類は経年増加がみられる（図VI. 1. 63）。また、縦軸目盛りの関係からケヤリムシ類以外の生物の変化が分かりにくいいため、ケヤリムシ類以外の生物については図VI. 1. 64に示した。



図VI. 1. 63 固着性生物の個体数変化

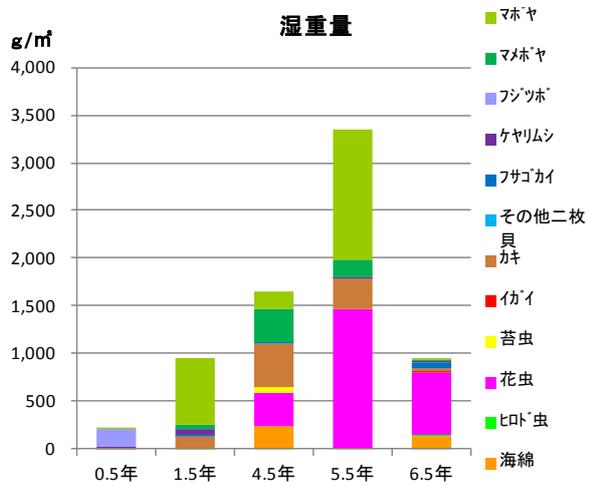


図VI. 1. 64 固着性生物の個体数変化
(ケヤリムシ以外)

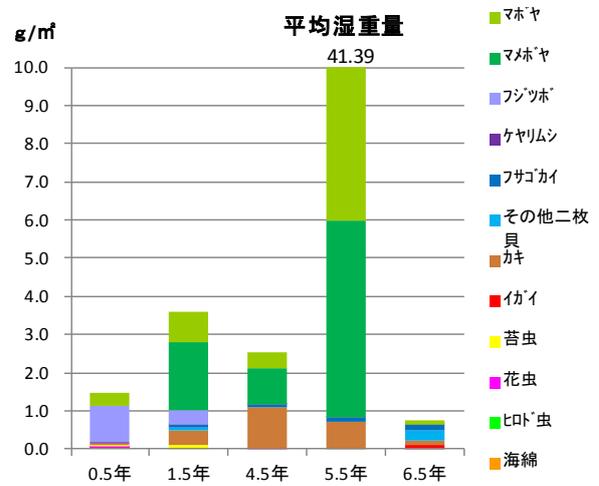
③ 湿重量

湿重量の変化をみると、個体数と同様にケヤリムシ類は1.5年に増加した後、4.5年に降には減少している。マボヤ類は1.5年から4.5年にかけて減少したが、5.5年に増加し、6.5年では大きく減少した（図VI. 1. 65）。

各生物の平均体重をみると1.5年から4.5年にかけてカキ類、4.5年から5.5年にかけてのママボヤ類、マボヤ類の増加が顕著であったが、6.5年ではどの種でも大きく平均体重は減少した(図VI. 1. 66)。



図VI. 1. 65 固着性生物の湿重量の変化



図VI. 1. 66 固着性生物の平均体重変化

VI. 2 構造物内部における生物付着状況

VI. 2. 1 付着生物の分布調査

(1) 塩ビパイプ内側壁面の選好性餌料動物量

今年度の調査結果と過年度に実施した同調査結果を合わせて整理を行った。

魚類の餌料として最も重要な選好性餌料動物(環形動物(多毛類) + 節足動物(軟甲類))について計測を行った。

① 塩ビパイプの直径別の選好性餌料動物量(直径 20 cm、30 cm)

(塩ビパイプのタイプ: 長さ 3 m、透過率 0%、平成 22 年 8 月設置)

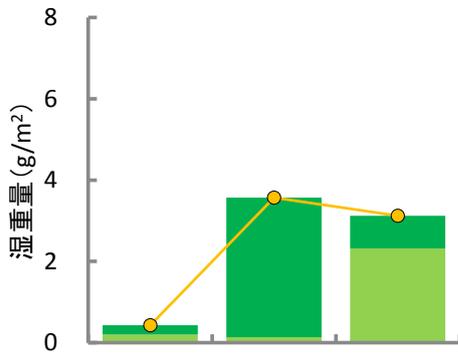
塩ビパイプの直径 20 cm と 30 cm の選好性餌料動物量は、天端(水深 15 m) および法面(水深 23 m) では平成 23 年 1 月から 7 月にかけて増加し、その後平成 24 年 1 月にかけて減少する傾向にあった。法尻(水深 30 m) では平成 23 年 1 月から平成 24 年 1 月にかけて増加する傾向にあった(図 VI. 2. 1)。

天端、法面、法尻の 3 層それぞれにおいて塩ビパイプの直径 20 cm と 30 cm の直径別の選好性餌料動物量について Mann-Whitney U 検定^{*}を行った結果、いずれの層においても有意な差はなかった(平成 23 年 7 月 天端:p=0.17、法面:p=0.14、法尻:p=0.15)。

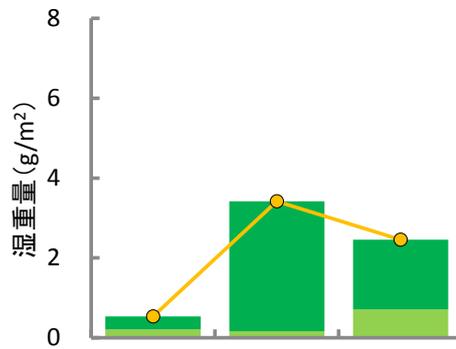
このことから、人工マウンド礁の間隙の大きさは選好性餌料動物の付着量とは関係ないものと考えられた。

^{*}検定は、いずれの設置層でも増加傾向が続いた最終調査日である平成 23 年 7 月の直径 20 cm と 30 cm の各 12 試料(塩ビパイプ長 3 m の 25 cm 間隔)を用いて、天端、法面、法尻のそれぞれについて行った。

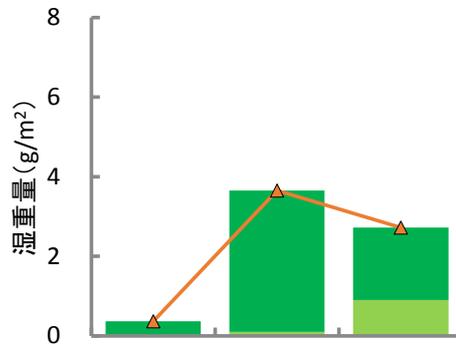
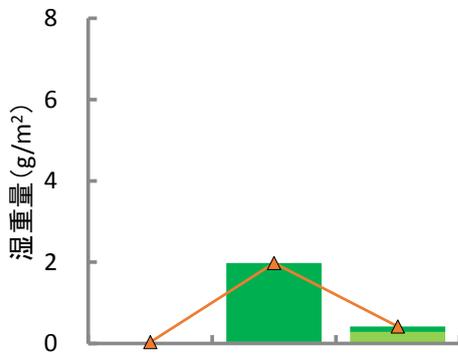
選好性餌料動物
直径 20 cm
天端 (水深 15 m)



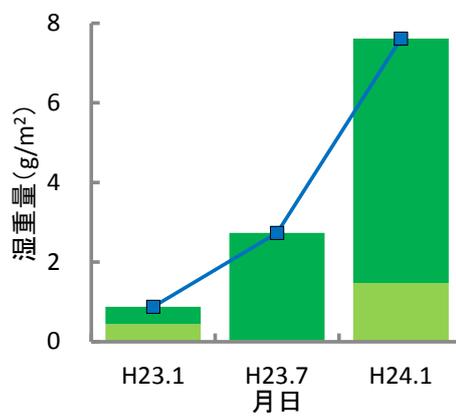
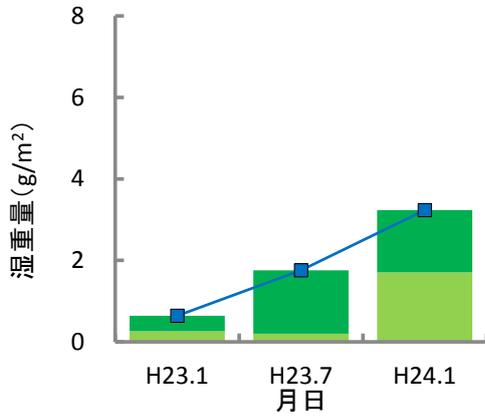
直径 30 cm



法面 (水深 23 m)



法尻 (水深 30 m)



■ 環形動物 (多毛類)
■ 節足動物 (軟甲類)

※ 25 cm 毎の 12 試料 (塩ビパイプ長 3 m) の選好性餌料動物量を平均した値を示す。

図 VI. 2.1 塩ビパイプ内側壁面の直径別選好性餌料動物量 (平成 22 年 8 月設置)

② 蓋の透過率別の選好性餌料動物量

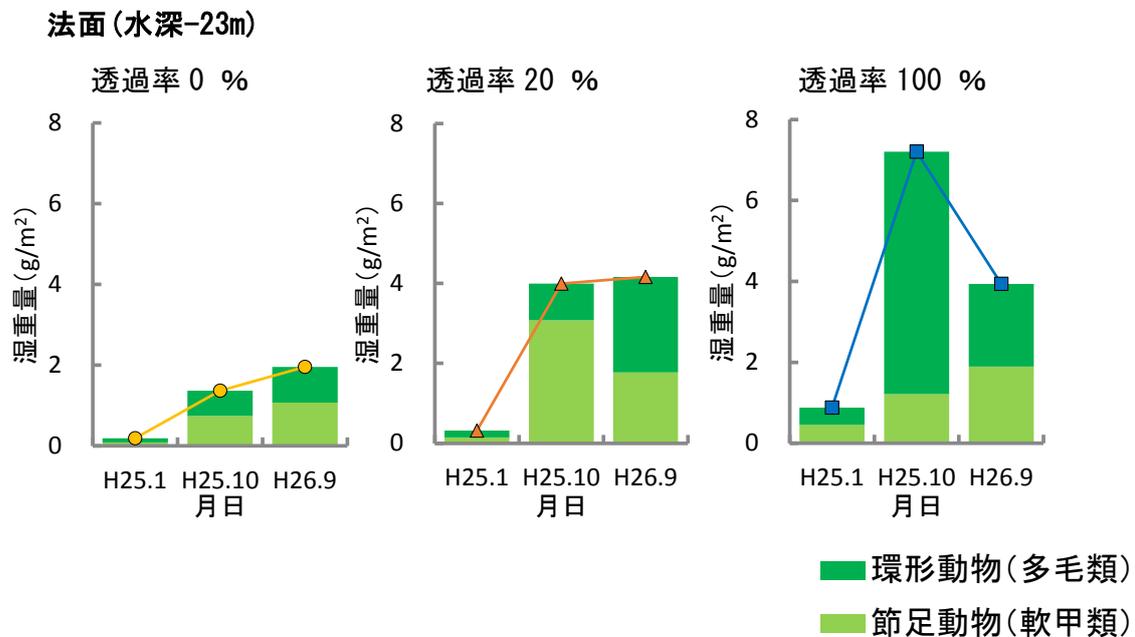
(塩ビパイプのタイプ：直径 20 cm、長さ 5 m、平成 24 年 9 月設置)

平成 26 年 9 月 (経過年数 2 年) では透過率 0 % の選好性餌料動物量は $2\text{g}/\text{m}^2$ に留まったが、透過率 20 % と 100 % では $4\text{g}/\text{m}^2$ 程度となった (図 VI. 2. 2)。

塩ビパイプの蓋の透過率別 (透過率 0 %、20 %、100 %) の選好性餌料動物量について Steel-Dwass 検定^{*}を行った結果、透過率 20 % と 100 % では有意な差がなかったものの ($p=0.83$)、透過率 0 % と 20 % ($p=0.04$)、0 % と 100 % ($p=0.08$) では有意な差があった。

このことから透過率が 20 % 以上であれば、透過率の違いによる選好性餌料動物量に差はないと考えられた。また、人工マウンド礁間隙の目視観察では、間隙直径は奥に行くほど狭まっており、本実験の透過率 20 % が人工マウンド礁間隙に近い構造であると考えられた。

^{*} 検定は、いずれの透過率の塩ビパイプでも増加傾向が続いた最終調査日である平成 25 年 10 月における法面の透過率 0 %、20 %、100 % のそれぞれ 20 試料 (塩ビパイプ長 5 m の 25 cm 間隔) を用いて行った。



^{*} 25 cm 毎の 20 試料 (塩ビパイプ長 5 m) の選好性餌料動物量を平均した値を示す。

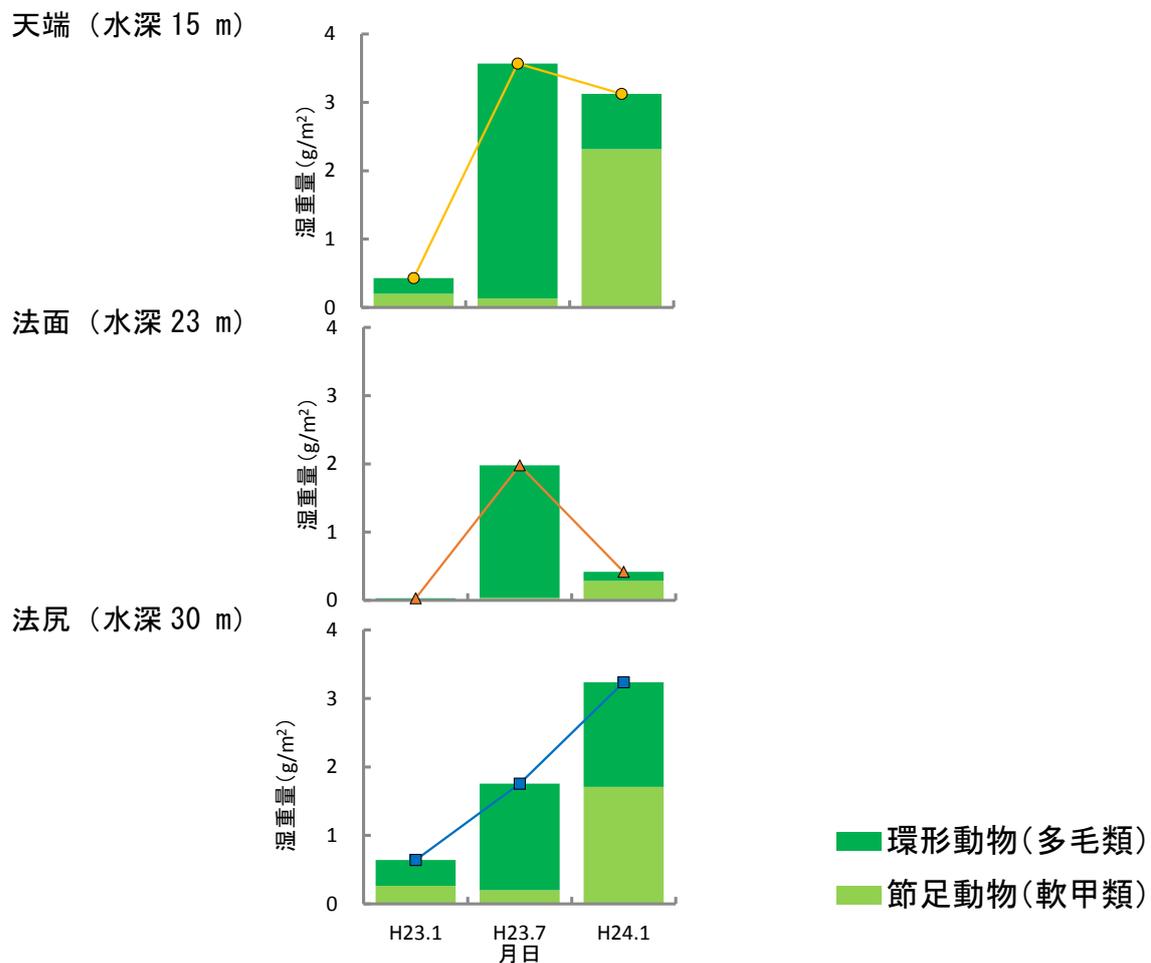
図 VI. 2. 2 塩ビパイプの蓋の透過率別選好性餌料動物量と出現組成
(平成 24 年 9 月設置)

③ 設置層別の選好性餌料動物量（天端、法面、法尻）

（塩ビパイプのタイプ：直径 20 cm、長さ 3 m、透過率 0 %、平成 22 年 8 月設置）

天端（水深 15 m）および法尻（水深 30 m）では、平成 24 年 1 月（経過年数約 1.5 年）に 3 g/m² 程度の選好性餌料動物量があったが、法面（水深 23 m）では平成 23 年 7 月（経過年数約 1 年）に 2 g/m² 程度に増加したものの、平成 24 年 1 月には 0.5 g/m² 程度に減少した（図 VI. 2. 3）。しかし、天端、法面、法尻の層別の塩ビパイプ内側の選好性餌料動物量について Kruskal-Wallis 検定※を行った結果、有意な差はなかった（p=0.97）。このことから、水深 30 m に設置された人工マウンド礁の高さ 15 m 程度の水深の幅では、選好性餌料動物量には差はないものと考えられた。

※ 検定は、いずれの設置層でも増加傾向が続いた最終調査日である平成 23 年 7 月の天端、法面、法尻の直径 20 cm の塩ビパイプの各 12 試料（塩ビパイプ長 3 m の 25 cm 間隔）を用いて行った。



※ 25 cm 毎の 12 試料（塩ビパイプ長 3 m）の付着生物量を平均した値を示す。

図 VI. 2. 3 塩ビパイプ内側の層別選好性餌料動物量と出現組成（平成 22 年 8 月設置）

④ 塩ビパイプ内側の奥行距離別の選好性餌料動物の分布

塩ビパイプの内側の選好性餌料動物量を 25 cm 毎の奥行別に分けて、解析を行った。蓋の透過率別の選好性餌料動物の奥行分布を図VI. 2. 4 に示し、その選好性餌料動物を匍匐性と固着性の動物に分けた結果を図VI. 2. 5、図VI. 2. 6 に示す。

ア 蓋の透過率別の分布

蓋の透過率別の選好性餌料動物の奥行分布を以下に示す。

・透過率 20 %

法面（水深-23 m）では、奥行距離 0cm（開放側）付近で選好性餌料動物量が多く（12g/m²程度）、奥に向けて減少した。

また、425 cm から 500 cm 付近で選好性餌料動物量が多かった。

・透過率 0 %

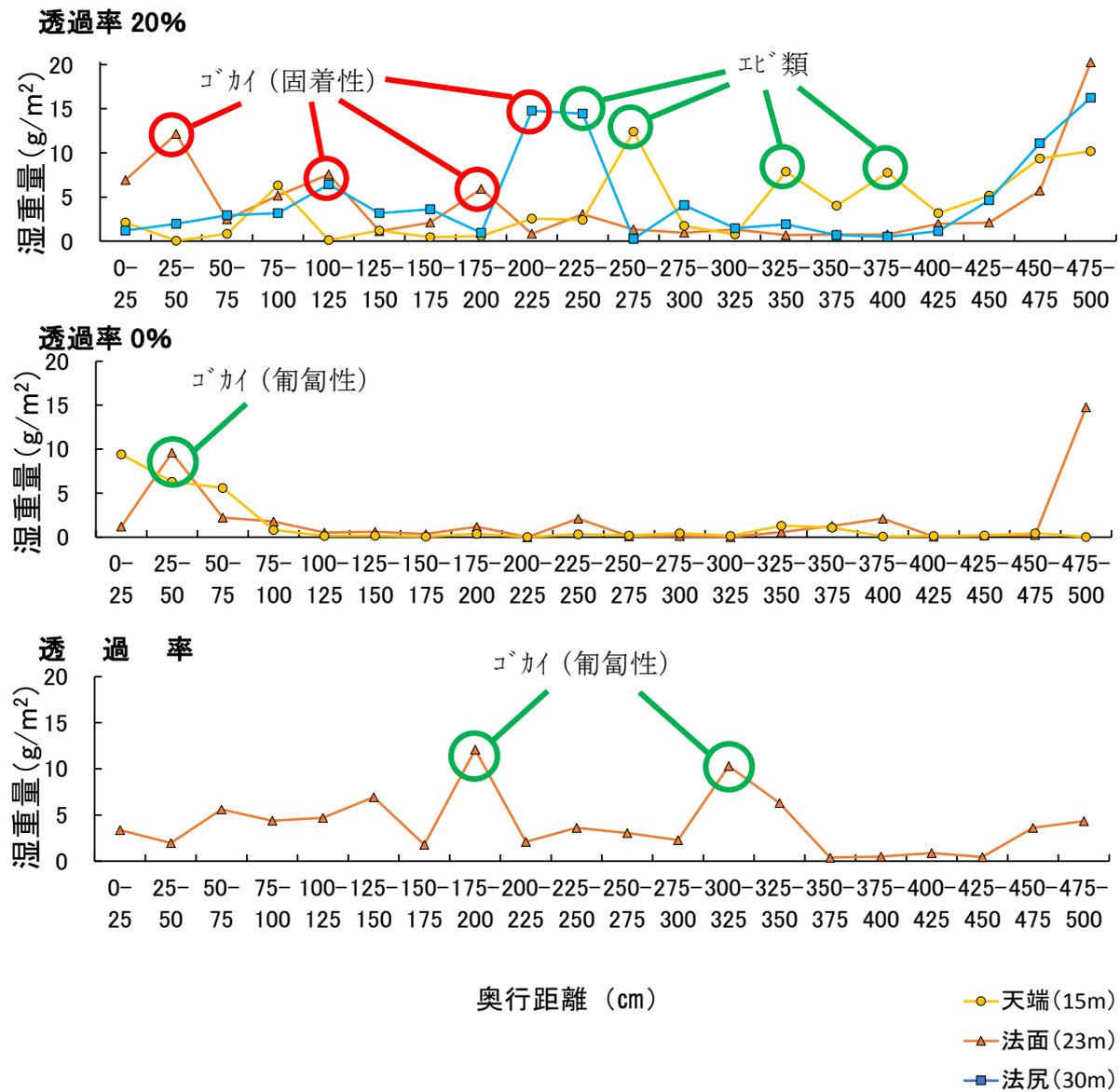
透過率 20 %の法面と同様に、奥行距離 0 cm（開放側）付近で選好性餌料動物量が多く（10 g/m²程度）、奥に向けて減少した。

法面では、奥行距離 450～500 cm（閉鎖側）で選好性餌料動物量が増加する傾向にあった。

・透過率 100 %

奥行距離 175-200 cm、300-325 cm では、匍匐性のゴカイ類がみられたために選好性餌料動物量が約 10 g/m²と多く出現した。その他の位置では選好性餌料動物量は 5 g/m²程度と奥行距離にかかわらず同程度であった。

選好性餌料動物



※ 法尻の透過率 0 % の塩ビパイプは破損していたため、データから除いた。

図VI. 2.4 塩ビパイプの蓋の透過率別選好性餌料動物量 (塩ビパイプの設置層別)
(平成 26 年 9 月、設置後 2 年)

イ 匍匐性動物と固着性動物の分布

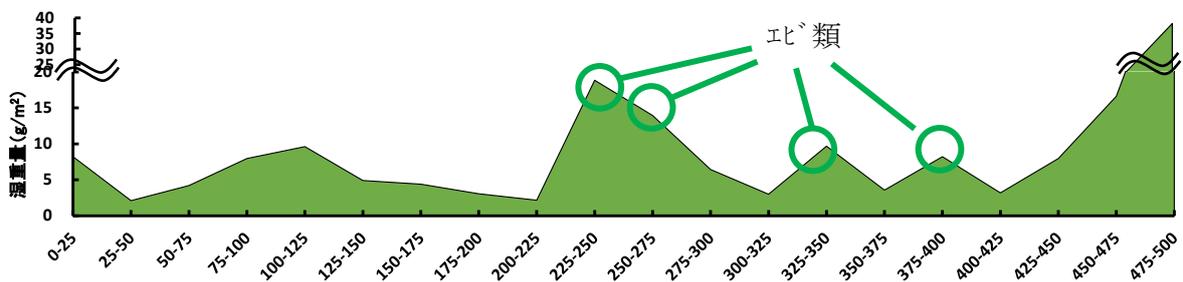
付着生物の幼生は流れによって受動的に移動し、着底後には移動しない固着性の動物と、移動する匍匐性の動物がいることから、匍匐性と固着性の動物に分けて分析を行った。

その結果、透過率 20% の塩ビパイプでは、匍匐性の動物が 200 cm よりも奥側で多く、一方、固着性の動物は奥行距離 0-225 cm で多く出現した。

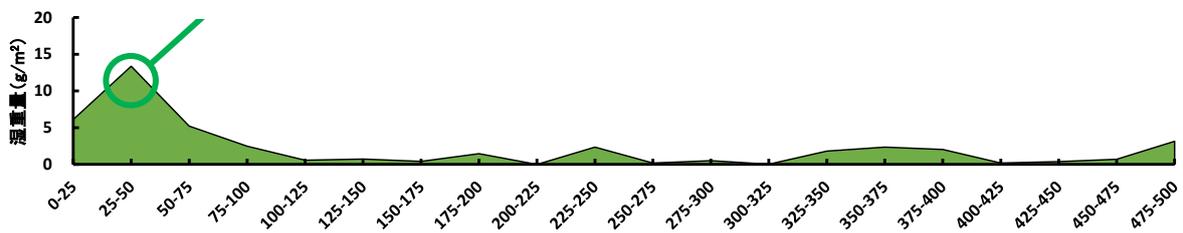
このことから、開放側 (0 cm 付近) では塩ビパイプ内に流入する流れが多いため動物が到達する機会が多く、閉鎖されている奥側に向かうほどその機会が少なくなると考えられた。

選好性餌料動物 (匍匐性動物)

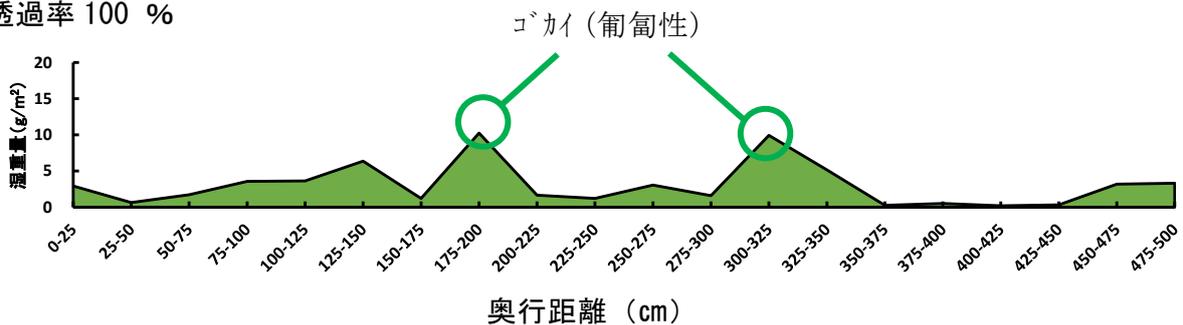
透過率 20 %



透過率 0 % ゴカイ (匍匐性)



透過率 100 %

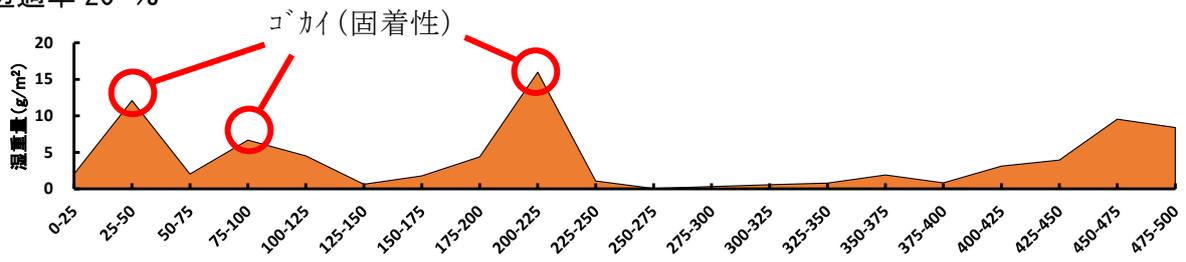


※ 天端、法面、法尻の合計値を示す。

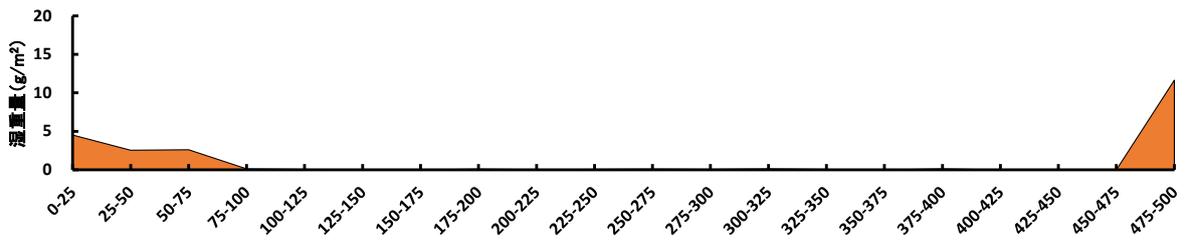
図VI. 2.5 塩ビパイプの固着性動物 (選好性餌料動物) の湿重量分布 (平成 26 年 9 月、設置後 2 年)

選好性餌料動物（固着性動物）

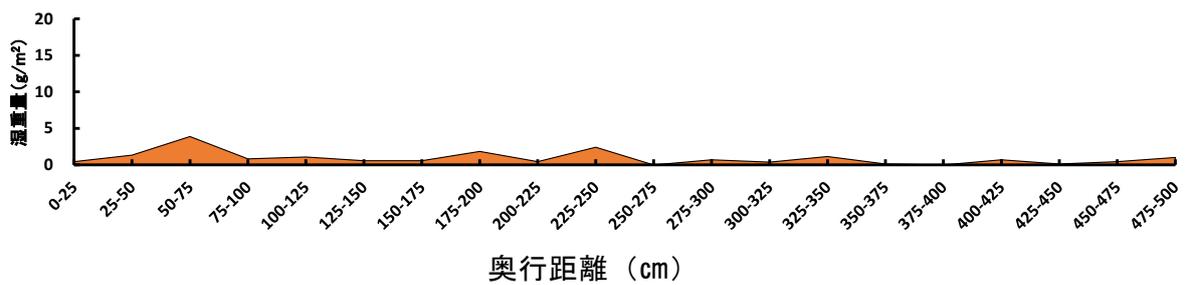
透過率 20 %



透過率 0 %



透過率 100 %



図VI. 2. 6 塩ビパイプの固着性動物（選好性餌料動物）の湿重量分布
（平成 26 年 9 月、設置後 2 年）

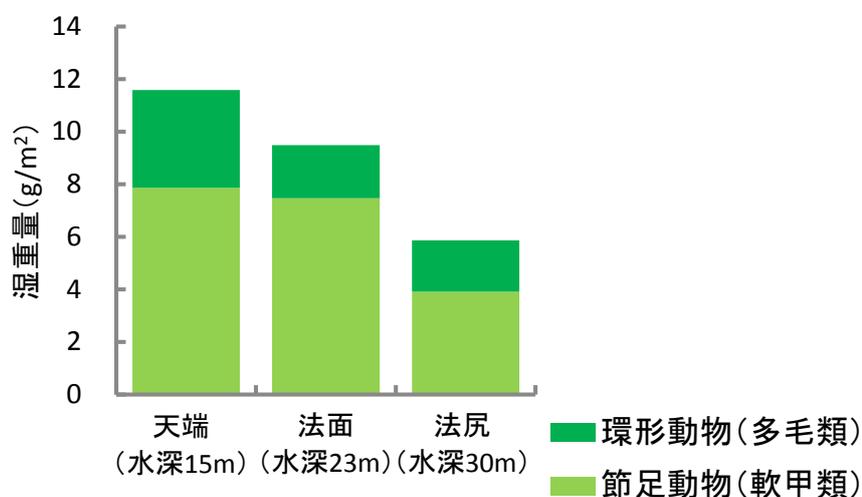
(2) 塩ビパイプ外側壁面の選好性餌料動物量

塩ビパイプ外側壁面に出現した選好性餌料動物について、設置層別の比較を行った。選好性餌料動物は、平成 26 年 9 月（設置後 2 年）各塩ビパイプの 6 か所（0-25、100-125、200-225、300-325、400-425、475-500 cm）から採取した。

塩ビパイプ外側壁面の選好性餌料動物量は、天端で約 12g/m² と最も多く、法尻で約 6 g/m² と最も少なく、下層ほど選好性餌料動物量は少ない傾向にあった（図 VI. 2. 7）。

しかし、天端（水深 15 m）、法面（水深 23 m）、法尻（水深 30 m）の設置層別の塩ビパイプ外側の選好性餌料動物量について Kruskal-Wallis 検定[※]を行った結果、有意な差はなかった（p=0. 23）。

※ 検定は、平成 26 年 9 月の天端、法面、法尻の各 6 試料（各層の塩ビパイプ外側の選好性餌料動物量の平均値）を用いて行った。



※ 各層における塩ビパイプ外側の付着生物量の平均値を示す。

図 VI. 2. 7 塩ビパイプ外側の付着生物分布状況
（平成 24 年 9 月設置、平成 26 年 9 月回収）

(3) 塩ビパイプの内外の付着生物量比較

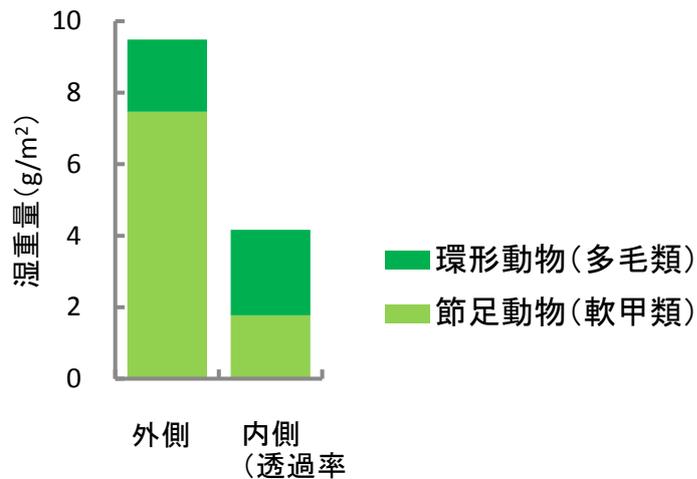
塩ビパイプ外側壁面および内側壁面の選好性餌料動物の付着生物量および組成について比較を行った。

塩ビパイプの外側壁面では選好性餌料動物量が約 9 g/m² と、内側壁面の約 4 g/m² に比べて動物量が約 2 倍多かった (図VI. 2. 8)。

また、節足動物が外側で約 7 g/m² と内側の約 2 g/m² よりも多く、環形動物は塩ビパイプ外側と内側では同程度 (約 2 g/m²) であった。

出現した動物は、塩ビパイプの外側および内側ともに、環形動物では主にゴカイ類、節足動物では主にヨコエビ類であった。

法面(水深 23m)



図VI. 2. 8 塩ビパイプ外側壁面、内側壁面の付着生物の組成
(平成 26 年 9 月、設置後 2 年、法面 水深 23 m)

(4) 検証調査

本調査は、人工マウンド礁の間隙に見立てた塩ビパイプを用いており、これまでに例のない方法で行ったことから、実験の妥当性確認のため、以下の調査を行った。

① 人工マウンド礁間隙の直径および奥行距離の確認

人工マウンド礁間隙の直径および奥行距離を明らかにするため、人工マウンド礁の天端、法面、法尻の2×5 mの範囲において潜水目視観察を行った。

その結果、人工マウンド礁間隙の奥行距離0cmでの直径は小さいもので20～40 cmであった。奥行距離は最大で200 cmであった。石材と石材が組み合わさってできた間隙は、奥行距離ごとにその直径（透過率）が多様であり、奥に行くほど狭まっていた（表VI.2.1）。

このことから、本調査で用いた直径20、30 cmの塩ビパイプは、人工マウンド礁の直径が小さな間隙と同程度であることが確認できた。長さ3 m、5 mの塩ビパイプは、観察の結果よりも長いものを用いていることから奥行の評価が可能であると考えられた。

また、人工マウンド礁の間隙は奥に行くほど狭まっていたことから、塩ビパイプの透過率は20 %のものが最も人工マウンド礁の構造に近いと考えられた。

表VI.2.1 人工マウンド礁間隙の直径と奥行距離（平成26年9月）

設置層	No.	間隙直径(cm)		奥行距離 (cm)
		短径	長径	
天端 -15m	1	30	120	80
	2	60	70	70
	3	80	100	120
	4	20	30	80
	5	80	100	180
	6	60	80	120
	7	30	50	170
	8	30	60	200
法面 -23m	1	30	40	60
	2	60	110	125
	3	60	110	125
	4	20	80	100
	5	60	80	40
法尻 -30m	1	80	120	150
	2	80	120	60
	3	20	30	80
	4	40	40	60
	5	40	60	120
	6	30	50	150
	7	30	50	80
	8	30	60	80
	9	40	40	180

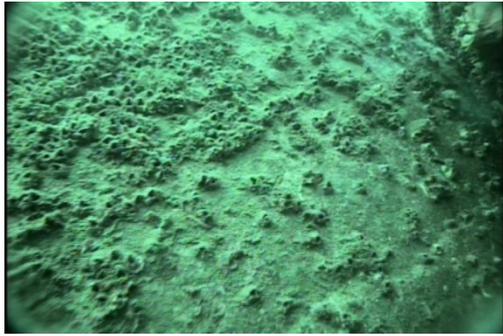
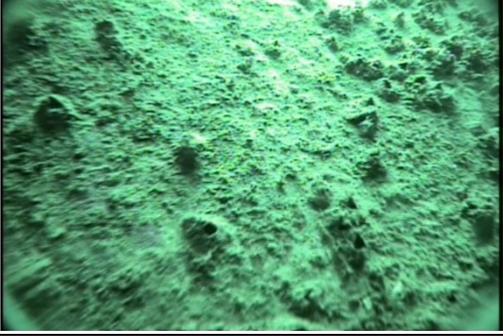
※ 観察範囲は各層で2×5 m

② 奥行距離別の人工マウンド礁間隙壁面の付着生物の確認

人工マウンド礁間隙壁面において付着生物が付着する奥行距離を確認するため、人工マウンド礁の天端（水深 15 m）において、奥行距離 25 cm 間隔でビデオ撮影を行った。

ビデオ撮影の結果、奥行距離 125 cm 程度まで目立った動物としてフジツボ類が確認された（表VI. 2. 2）。

表VI. 2. 2 人工マウンド礁間隙の付着生物のビデオ撮影結果（平成 26 年 9 月）

奥行距離	人工マウンド礁間隙	奥行距離	人工マウンド礁間隙
0-25 cm		100-125 cm	
25-50 cm		125-150 cm	
50-75 cm		150-175 cm	
75-100 cm			

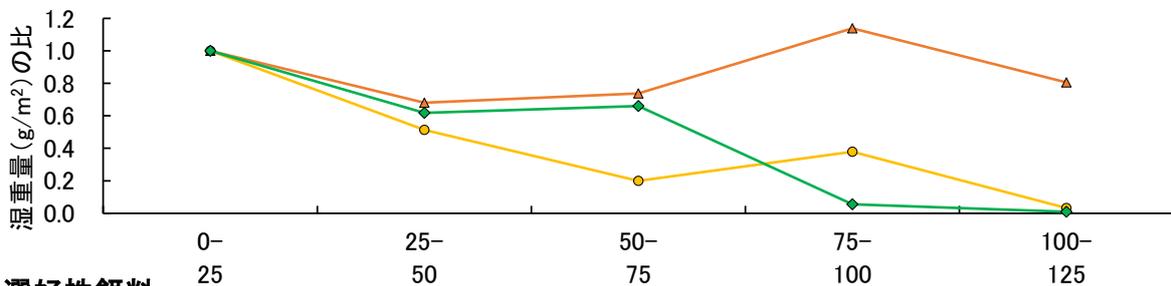
③ 人工マウンド礁間隙壁面と塩ビパイプ内側の付着生物量の奥行分布の確認

人工マウンド礁間隙と塩ビパイプ内側の異なる材質の付着生物量の奥行分布を確認するため、人工マウンド礁の天端（水深 15 m）の間隙壁面において、奥行距離 0 cm から 125 cm まで 25 cm 毎に 10 cm×10 cm (0.01 m²) の範囲で坪刈りを行い、塩ビパイプ内側の付着生物の奥行き分布と比較を行った。なお、塩ビパイプの付着面積は 0.16 m² である。奥行き距離 0-25 cm の付着生物量を 1 とした比で図示した。

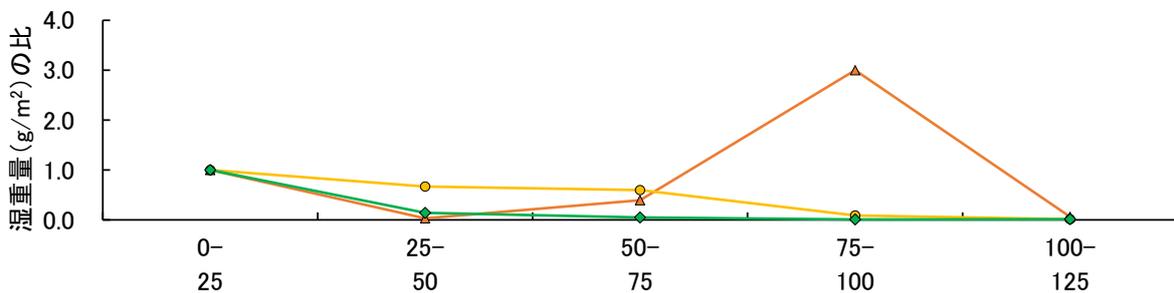
その結果、潜水土により行った坪刈りの範囲は小さいものであるが、奥行距離 125 cm まで餌料動物の付着がみられた。0 cm 付近で動物量が多く、奥へ向けて減少し、これは塩ビパイプ内側の付着生物量と同様な傾向であった（図 VI. 2. 9）。

このことから、塩ビパイプを用いた調査では、人工マウンド礁間隙における付着生物の付着状況を再現できていると考えられた。

全出現種



選好性餌料



※ 縦軸は奥行き距離 0-25 cm の付着生物量を 1 とした比で示した。

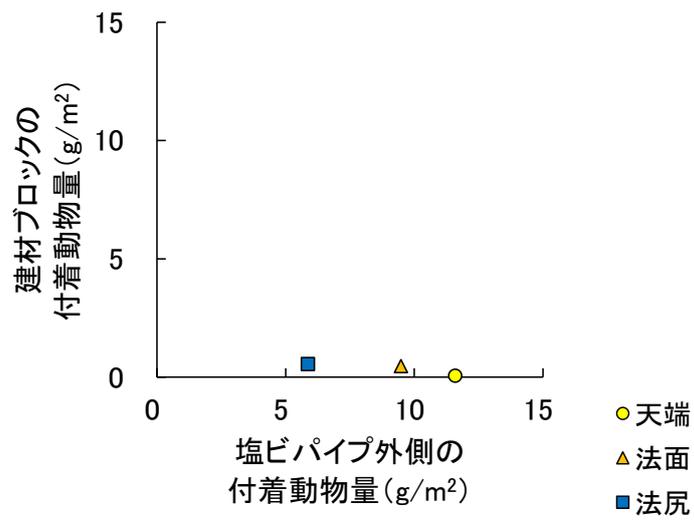
図 VI. 2. 9 人工マウンド礁間隙と塩ビパイプの奥行距離別付着生物量
(平成 26 年 9 月)

(5) 基質別の選好性餌料動物量

天端（水深 15 m）、法面（水深 23 m）、法尻（水深 30 m）の 3 層から建材ブロック各 1 個を回収し、塩ビパイプ外側壁面の選好性餌料動物量と比較した（図 VI. 2. 10）。

なお、比較した建材ブロックと塩ビパイプは同時期に設置し、選好性餌料動物量は平成 26 年 9 月の結果を用いた。塩ビパイプ外側壁面については各層の塩ビパイプの選好性餌料動物量を平均した値で示した。

塩ビパイプ外側壁面の選好性餌料動物量は、約 6~12g/m² であったが、これに対して建材ブロックでは約 1 g/m² と少なかった。



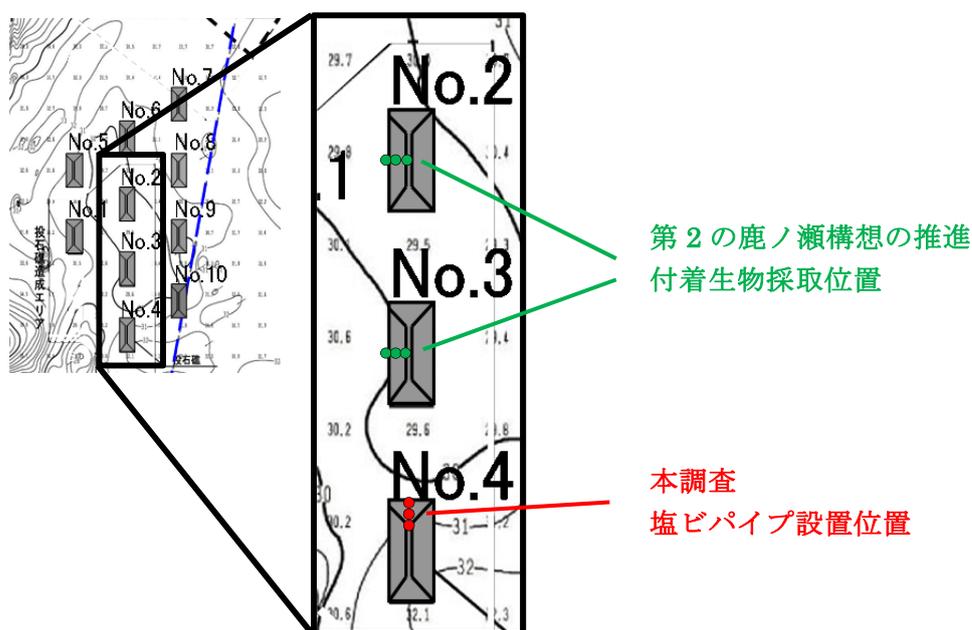
図VI. 2. 10 建材ブロックと塩ビパイプ外側壁面の選好性餌料動物量の関係（湿重量）

(6) 他調査との比較

第2の鹿之瀬構想の推進（兵庫県）における石材礁（No. 2、No. 3）の表面、対馬沖の水深90mにおけるコンクリート製のテストピースおよび本調査における塩ビパイプ（内側壁面、外側壁面）の付着生物量（全出現種、選好性餌料動物）について比較を行った。

※ 本調査における付着生物量は平成22年8月に設置した直径20cm、長さ3m、透過率0%の塩ビパイプの結果を用いた。第2の鹿之瀬構想の推進における付着生物量は、石材礁（No. 2、No. 3）の天端、中央部（法面）、海底付近（法尻）の3地点について、各3検体を潜水士により採取した結果を用いた（図VI. 2. 11）。対馬沖（90m）における付着生物量は、水深90mに設置したコンクリート製のテストピース（20×20×20cm）から採取した結果を用いた。

※ 付着生物を採取した材質は、本調査では塩ビパイプ、第2の鹿之瀬構想の推進では石材、対馬沖ではコンクリートであるため、材質が異なる。



図VI. 2. 11 各調査位置

① 全出現種の付着生物量

第2の鹿之瀬構想の推進における石材礁No. 3の全出現種の付着生物量は、設置からの経過年数が1~2年時および3~4年時に約3000g/m²に増加した（図VI. 2. 12）。

経過年数1年では塩ビパイプ外側壁面および対馬沖（90m）における付着生物量は約500g/m²であり、石材礁No. 3の付着生物量と同程度の推移がみられた（図VI. 2. 12）。一方、塩ビパイプ内側壁面の付着生物量は経過年数1年で約100g/m²とその他の付着生物量よりも少なかった。

② 選好性餌料動物量

第2の鹿之瀬構想の推進における石材礁No. 3の選好性餌料動物量は、期間の経過と共に徐々に増加し、設置からの経過年数が3年時以降に大きく増加していた（図VI. 2. 12）。

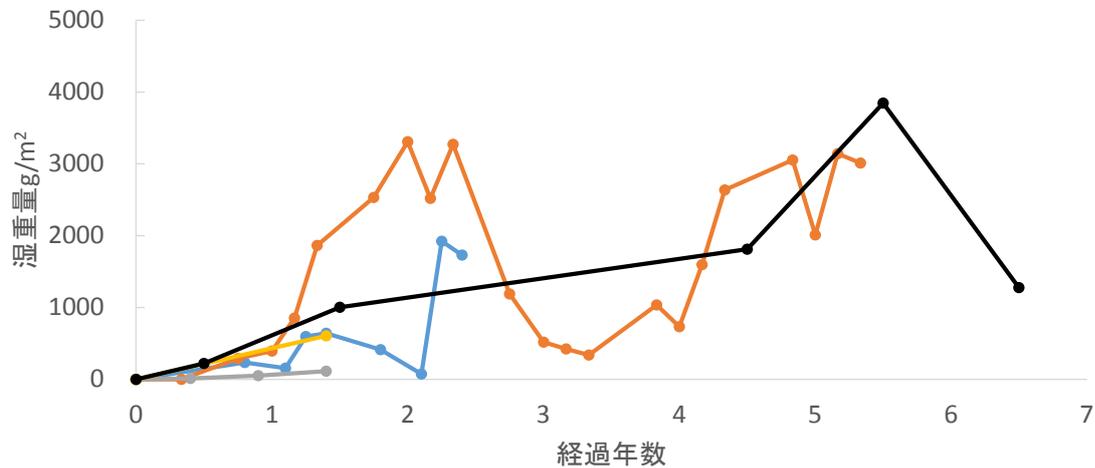
一方、経過年数1.5年で対馬沖では100g/m²以上の付着量がみられるが、その他では10g/m²未満と少なかった。また、対馬沖では経過年数1.5年以降に増加量は小さくなって

いるが、家島海域では経過年数5年後以降にも大きく増加している（図VI.2.12）。

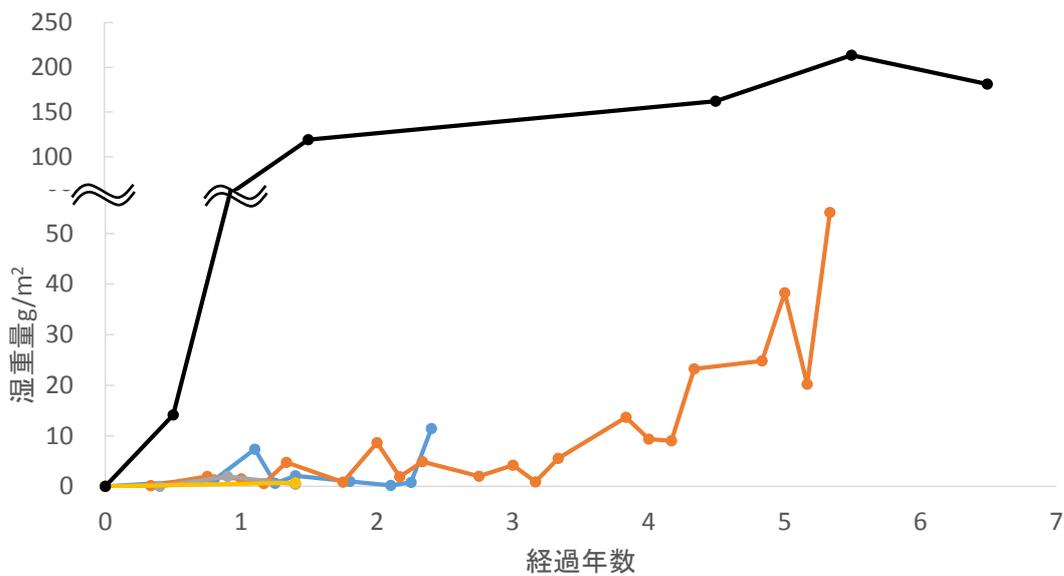
以上のことから、海域と設置水深の違いによって付着生物の付着量と増加傾向が大きく異なることが考えられた。

法面 水深 23 m（対馬海域除く）

全出現種



選好性餌料動物



- 石材礁No.2表面 ● 塩ビパイプ(間隙)
- 石材礁No.3表面 ● 塩ビパイプ(外側)
- 対馬沖(90m)

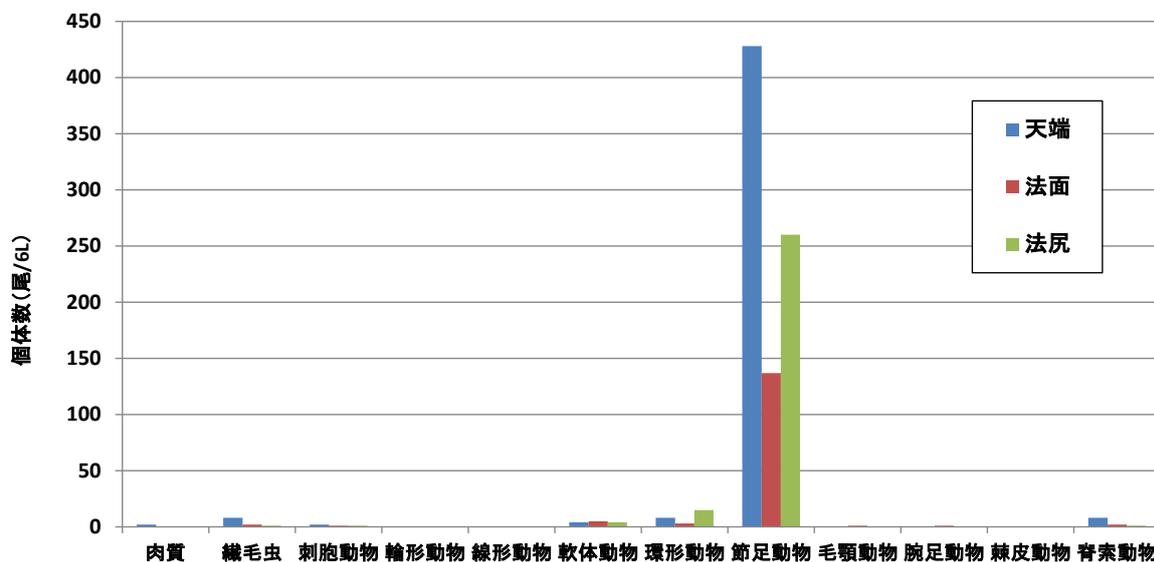
※ 塩ビパイプは平成22年8月に設置した直径20 cm、3 m、透過率0%のものを用い

図VI.2.12 石材礁表面および塩ビパイプの経過年数別の付着生物湿重量

VI. 2. 2 浮遊幼生調査

平成 26 年 9 月の設置層別の動物プランクトンの個体数は、天端で 460 個体、法面で 152 個体、法尻で 282 個体であり、いずれの設置層も節足動物が多く出現している(図VI. 2. 13)。

付着生物は動物プランクトンを餌料とする種類が多くおり、動物プランクトンは付着生物の成育に重要な環境因子であることから、付着生物の餌料としては節足動物が多く利用されている可能性が考えられた。



図VI. 2. 13 設置層別の動物プランクトン個体数 (平成 26 年 9 月)

動物プランクトンのうち、塩ビパイプに出現した付着生物(軟体動物、環形動物、節足動物(軟甲綱)、棘皮動物)の浮遊幼生の個体数は、法尻で 25 個体、天端で 22 個体、法面で 12 個体と大きな違いはみられなかった(表VI. 2. 3)。

このことから、人工マウンド礁の天端、法面、法尻には同程度の幼生が浮遊していると考えられた。

表VI. 2. 3 浮遊幼生の分類および個体数 (平成 26 年 9 月)

門	綱	目	科	種名	天端	法面	法尻
軟体動物	腹足	—	—	GASTROPODA (larva)		1	
	二枚貝	—	—	BIVALVIA (umbo larva)	4	4	4
環形動物	ゴカイ	—	—	POLYCHAETA (larva)	8	3	15
節足動物	軟甲	十脚	ユメエビ	<i>Lucifer</i> sp. (zoea)	2		
				<i>Lucifer</i> sp. (protozoea)		1	1
				<i>Lucifer</i> sp. (nauplius)	8	3	4
	—	—	—	Macrura (zoea)			1
合計					22	12	25

VI. 2. 3 魚礁効果調査

(1) 潜水目視観察

塩ビパイプ回収時に行った魚類の観察結果を表VI. 2. 4に示す。

設置層別の魚類観察尾数は、法尻から天端にかけて多くなる傾向にあった。

目視観察により観察された魚種は全 18 種であり、そのうち石材礁の間隙内側で観察された魚類は、メバル、カサゴ等であった。

間隙内側での観察尾数は、メバルが天端で6尾、法面で5尾、カサゴが天端で2尾、法面で7尾、法尻で6尾であった。魚類の出現傾向は、石材表面では上層ほど多く、間隙では設置層別の違いがみられなかった。

表VI. 2. 4 魚類の蜻集状況（目視観察 平成 26 年 9 月）

No.	種名・全長範囲(cm)	天面				法面				法尻									
		間隙内				表面				間隙内				表面					
		120× 30×80	100× 80× 120	20×30 ×80	60×30 ×200	500× 200	30×40 ×60	110× 60× 125	110× 60× 125	20×80 ×100	60×80 ×40	500× 200	120× 80× 150	30×20 ×80	60×40 ×120	50×30 ×150	50×30 ×80	60×30 ×80	500× 200
1	キジハタ	18																	1
2	コズイ	4~6		200	200														
3	カマス属	10~13			100														50
4	ブリ	50~60			4														
5	マアジ	10~15			100														40
6	イサキ	3~6			50														3
		6~8			20														
7	マダイ	40~50			10														
		5~25			10					4									
8	スズメダイ	6~15			100		1	2		2	80								9
		3~4			30														3
9	コブダイ	12			1														
10	ホシササノハベラ	10~20	1		15			1		11									
		20~27			1					1									
11	キュウセン	5~20			20					11									8
		20~27								3									
12	ハゼ科	3~5								7									
13	メバル	15~20	3	3	5			2	1	2	19								3
		20~25								1	25								6
14	カサゴ	7~15								2	13								
		15~20	1		2		1	4		2		1		1	1				8
		20~27			1	3				2							1	1	5
15	オニオコゼ	17~25			1														
16	カワハギ	8~12			10														1
17	ウマツラハギ	27~35								11									
		35~40			2														
18	ネブツダイ	6																	1
合計			3	5	200	1		9	1	7	240	1	1	1	1	1	1	1	137

(2) 漁獲調査

平成 26 年 9 月 4~5 日に設置した刺し網による漁獲調査の結果、メバルが 49 尾と最も多く、次いでカサゴ 12 尾、キジハタ 12 尾が漁獲された（表VI. 2. 5）。

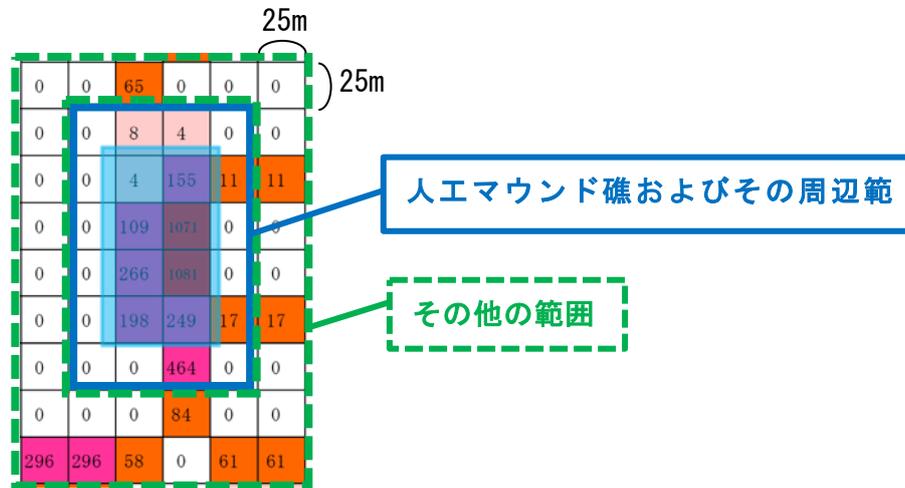
表VI. 2. 5 刺し網による漁獲結果（平成 26 年 9 月）

魚種	合計尾数	平均		
		全長(cm)	体長(cm)	体重(g)
イシダイ	1	11.4	9.4	35
カサゴ	12	19.9	16.4	98
キジハタ	12	25.1	20.4	194
ササノハベラ	1	21.5	18.1	180
ショウサイフグ	2	22.7	18.7	188
シログチ	10	25.8	22.3	233
スズメダイ	3	14.9	11.2	60
トカゲエソ	3	39.9	34.6	313
ハモ	2	98.6	43.3	1300
マサバ	2	21.6	18.8	96
マダイ	9	23.7	18.5	257
メイタガレイ	1	13.8	10.8	32
メバル	49	21.7	17.7	187
ワニゴチ	1	41.6	37.1	424

(3) 計量魚探調査

人工マウンド礁および周辺（25 m 以内）とその他（人工マウンド礁から 25 m 以上離れた範囲）で推定された魚群量の平均値を求め、比較を行った（図VI. 2. 14）。

魚群量は 625 m²（25 m×25 m、1 メッシュ）あたりの平均値で比較した。



図VI. 2. 14 人工マウンド礁および周辺、その他の解析範囲の模式図

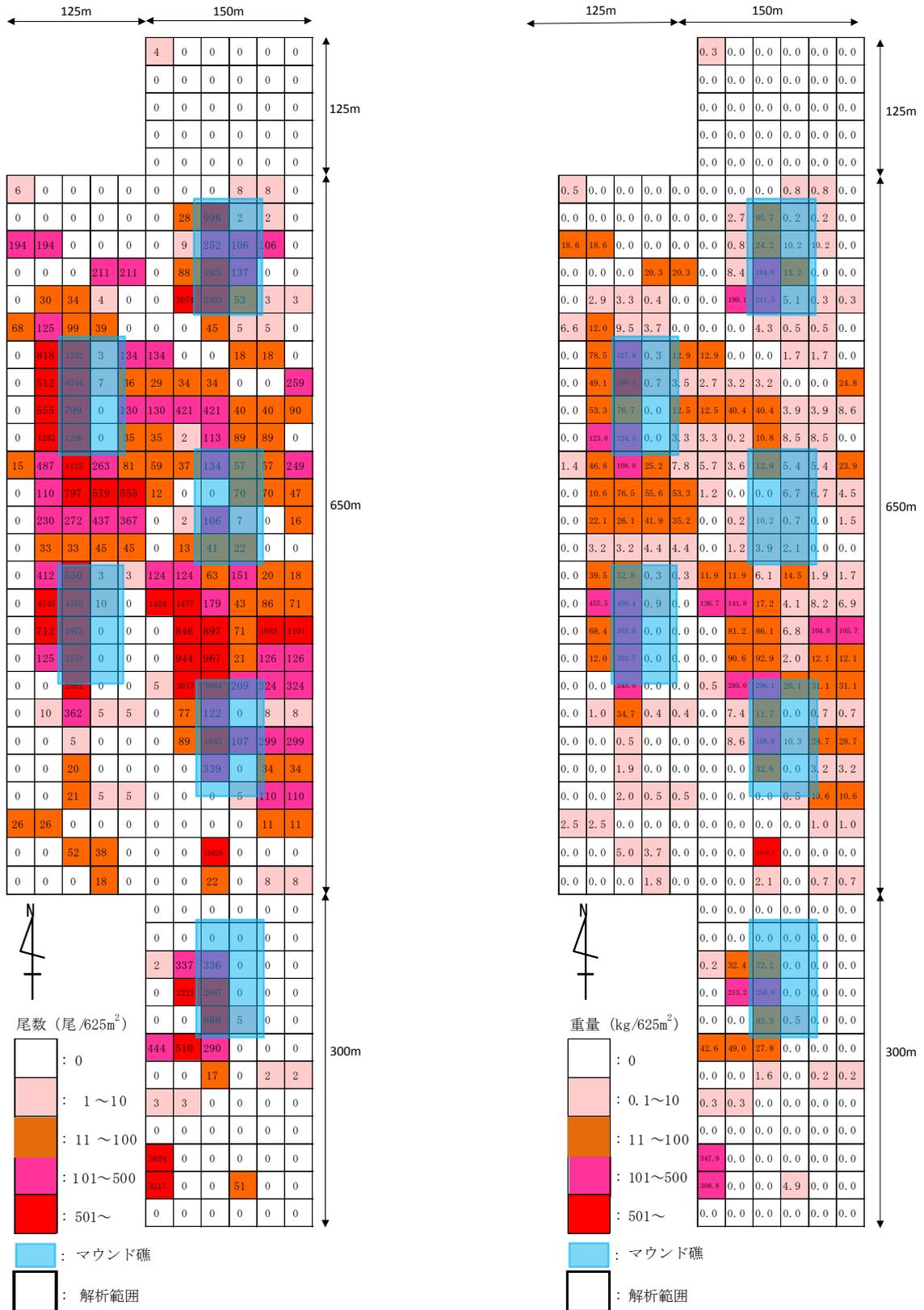
人工マウンド礁およびその周辺範囲の蛸集量は、その他の範囲よりも、岩礁性魚類では約 10 倍、浮魚類では約 3 倍多かった（表VI. 2. 6）。

岩礁性魚類であるカサゴ、メバル等は付着生物を餌料としていることから、餌場となる人工マウンド礁に蛸集していると考えられた。

表VI. 2. 6 人工マウンド礁および周辺とその他の範囲にみられた魚群の蛸集量（25 m×25 m 面積あたりの平均値）

魚種	魚群位置	個体数 (尾)	重量 (kg)
岩礁性魚類	人工マウンド礁 およびその周辺範囲	690	126. 3
	その他の範囲	70	12. 7
浮魚類	人工マウンド礁 およびその周辺範囲	438	42. 1
	その他の範囲	162	15. 5

浮魚類



図VI. 2. 16 人工マウンド礁周辺での魚類の蜻集状況 (浮魚類)

(4) 石材間隙のビデオ撮影

人工マウンド礁の間隙内側における魚類の利用状況を把握するため、人工マウンド礁の間隙にビデオカメラを設置して、魚類の撮影を行った（表VI. 2. 7）。

その結果、間隙を出入りするカサゴおよびメバル、間隙内側に滞在するカサゴ、石材表面をついばむマダイ、間隙内側を遊泳しているアミ類を摂餌するスズメダイが観察された。

ビデオカメラを設置し撮影することにより、これまで潜水士の観察では確認できなかった魚類による人工マウンド礁間隙の利用と、間隙に生息する付着生物および浮遊動物の摂餌が確認された。

表VI. 2. 7 ビデオ撮影による人工マウンド礁の間隙を利用する魚類

	
<p>間隙内側のカサゴ、メバル</p>	<p>間隙内側のカサゴ</p>
	
<p>付着生物を摂餌するマダイ稚魚 (奥行距離約 50 cm)</p>	<p>間隙内側のアミ類を摂餌するスズメダイ (奥行距離約 100 cm)</p>

VI. 2. 4 付着生物の餌料性調査

人工マウンド礁における捕食-被捕食の関係を把握するため、人工マウンド礁に分布する付着生物と魚類の安定同位体比および魚類の胃内容物を分析した。

(1) 炭素・窒素安定同位体比分析

$\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップを作成し、魚類の餌料生物を推定した。

餌料生物から捕食者へ栄養段階が1つ上がると、炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) が約1‰、窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) が約3‰高くなる¹⁾。この法則に従い、本結果から魚類(カサゴ、キジハタ、メバル、カワハギ)の餌料生物の $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ を推定した(表VI. 2. 8)。

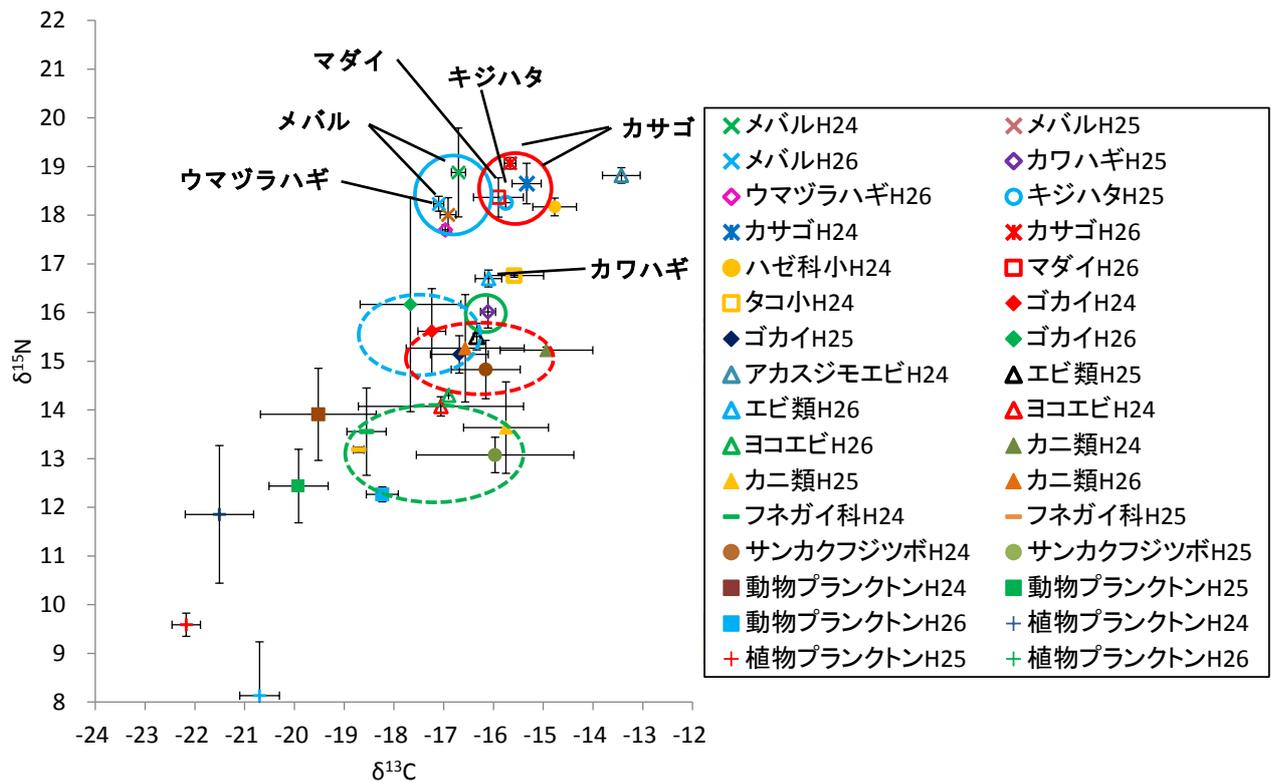
表VI. 2. 8 本調査で出現した魚類の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ と推定された餌料生物の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$

魚種	平均全長 (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	推定された餌料 動物の $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	推定された餌料 動物の $\delta^{15}\text{N}$ (‰)
カサゴ (H24)	18.1	-15.3±0.29	18.6±0.42	-16.8±0.29	15.6±0.42
カサゴ (H26)	22.4	-15.7±0.12	19.1±0.12	-16.7±0.12	16.1±0.12
キジハタ (H25)	29.4	-15.8±0.11	18.2±0.10	-17.3±0.11	15.2±0.10
メバル (H24)	20.5	-16.7±0.14	18.8±0.91	-18.2±0.14	15.8±0.91
メバル (H25)	23.1	-16.9±0.16	18.0±0.35	-18.4±0.16	15.0±0.35
メバル (H26)	21.7	-17.1±0.10	18.2±0.15	-18.1±0.10	15.2±0.15
カワハギ (H25)	18.0	-16.1±0.15	16.0±0.33	-17.6±0.15	13.0±0.33
マダイ (H26)	24.7	-15.9±0.50	18.4±0.40	-16.9±0.50	15.4±0.40
ウマヅラハギ (H26)	22.9	-16.9±0.06	17.7±0.10	-17.9±0.06	14.7±0.10

※ $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ は、平均±標準偏差を示す。

魚類と餌料動物の $\delta^{13}\text{C} - \delta^{15}\text{N}$ マップを作成し、人工マウンド礁に分布する魚類の餌料動物を推定した（図VI. 2. 17）。魚類の餌料動物には複数種が寄与していると考えられることから、推定された餌料動物の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ およびその周辺の範囲を魚類の餌料動物と考えた。

カサゴ、キジハタ、マダイではゴカイ、エビ類、カニ類、サンカクフジツボが、メバル、ウマヅラハギではゴカイ、エビ類が、カワハギではフネガイ科の貝類、ヨコエビ、カニ類、サンカクフジツボが餌料動物として推定された（表VI. 2. 9）。



※植物プランクトンは POM を代用とした。

図VI. 2. 17 $\delta^{13}\text{C} - \delta^{15}\text{N}$ マップ

表VI. 2. 9 人工マウンド礁に出現した魚類と推定された餌料動物

魚類	推定された餌料動物
カサゴ、キジハタ、マダイ (図VI. 2. 17 赤色実線)	ゴカイ、エビ類、カニ類、サンカクフジツボ (図VI. 2. 17 赤色破線)
メバル、ウマヅラハギ (図VI. 2. 17 青色実線)	ゴカイ、エビ類 (図VI. 2. 17 青色破線)
カワハギ (図VI. 2. 17 緑色実線)	フネガイ科、ヨコエビ、カニ類、サンカクフジツボ (図VI. 2. 17 緑色破線)

(2) 胃内容物分析

平成 26 年 9 月の調査時に刺網およびカゴ網により漁獲したマダイ、メバル、ウマヅラハギ、カサゴの各 3 検体から胃を取り出し、胃内容物の分析を行った。

胃内容物には、ウマヅラハギでは人工マウンド礁に分布する節足動物（端脚類）や棘皮動物等がみられ、メバルでは人工マウンド礁で観察されたアミ類がみられた（表 VI. 2. 10）。

表 VI. 2. 10 胃内容物の分類および湿重量（平成 26 年 9 月）

門	綱	目	科	種名	魚種	マダイ	メバル	ウマヅラハギ	カサゴ
刺胞動物	ヒドロ虫	-	-	ヒドロ虫綱		-	-	0.01	-
触手動物	苔虫	唇口	アミコケムシ	アミコケムシ科		-	-	0.03	-
節足動物	軟甲	アミ	アミ	アミ科		-	0.11	-	-
節足動物	軟甲	端脚	ユホソコエビ	ユホソコエビ科		-	-	0.001	-
棘皮動物	クモヒトデ	閉蛇尾	スナクモヒトデ	スナクモヒトデ科		0.01	-	-	-
その他	-	-	-	ヨコエビ 亜目棲管		-	-	0.32	-
その他	-	-	-	消化物		-	0.01	0.26	0.02
単位：湿重量 (g)					合計 (g)	0.01	0.12	0.63	0.02

※ 数値は各魚種 3 検体の合計値を示す。

また、既往知見によると、カサゴ、キジハタ、メバル、カワハギが下記の生物を餌料としていることが報告されており、本調査の $\delta^{13}\text{C}-\delta^{15}\text{N}$ マップで推定した分類群と一致している（表 VI. 2. 11）。

表 VI. 2. 11 既往知見による魚類とその餌料動物

魚類	餌料動物
カサゴ	多毛類、エビ・カニ類、フジツボ類、底魚類、アミ類、ヨコエビ類等 ²⁾ 、甲殻類 ³⁾
キジハタ	多毛類、カニ類、エビ類、サンカクフジツボ、ヨコエビ類、ヒトデ類、魚類等 ⁴⁾
マダイ	多毛類、エビ・カニ類、ヨコエビ類、アミ類、魚類等 ²⁾
メバル	エビ・カニ類、魚類、端脚類、巻貝類、軟体類等 ²⁾ 、アミ類、端脚類および多毛類等 ⁵⁾
ウマヅラハギ	カニ類、端脚類、魚類、アミ類等 ²⁾
カワハギ	貝類、ヨコエビ類、甲殻類、カイアシ類、多毛類、海藻類等 ²⁾ 、フジツボ類 ⁶⁾

以上のことから、塩ビパイプの内側に生息する付着生物（エビ・カニ類、サンカクフジツボ、ゴカイ）が、人工マウンド礁のカサゴ、メバル、カワハギ、キジハタ、マダイ、ウマヅラハギの餌料となっていることが示唆された。

4.5 環境調査

(1) 水温

平成 24 年 9 月 5 日 11 時～平成 26 年 9 月 1 日 9 時の期間の各設置層における水温を図 VI. 2. 18 に示す。

塩ビパイプの設置を行った平成 24 年 9 月 5 日から約 1 週間、平成 25 年および平成 26 年の 3 月後半から 8 月後半までは、天端で水温が高く、法尻で低い傾向がみられ、8 月後半から 3 月は均一になる傾向がみられた。

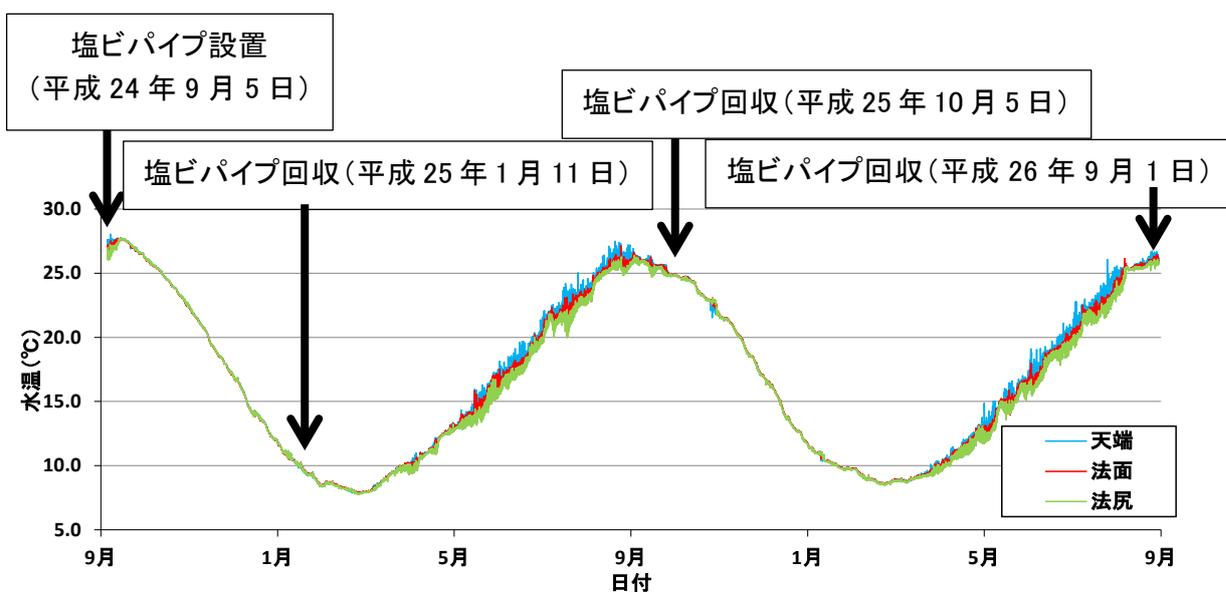


図 VI. 2. 18 水温の推移

(2) 水質

水温、塩分の鉛直測定結果について、平成 26 年 9 月 1 日の結果を図 VI. 2. 19 に示す。

表層の水温は約 27 °C、底層では水温は約 26 °C であった。塩分は表層から底層まで 31 程度であった。水深 9 m で躍層がみられ、それ以深の人工マウンド礁設置水深では水温、塩分ともに大きな変化はみられなかった。

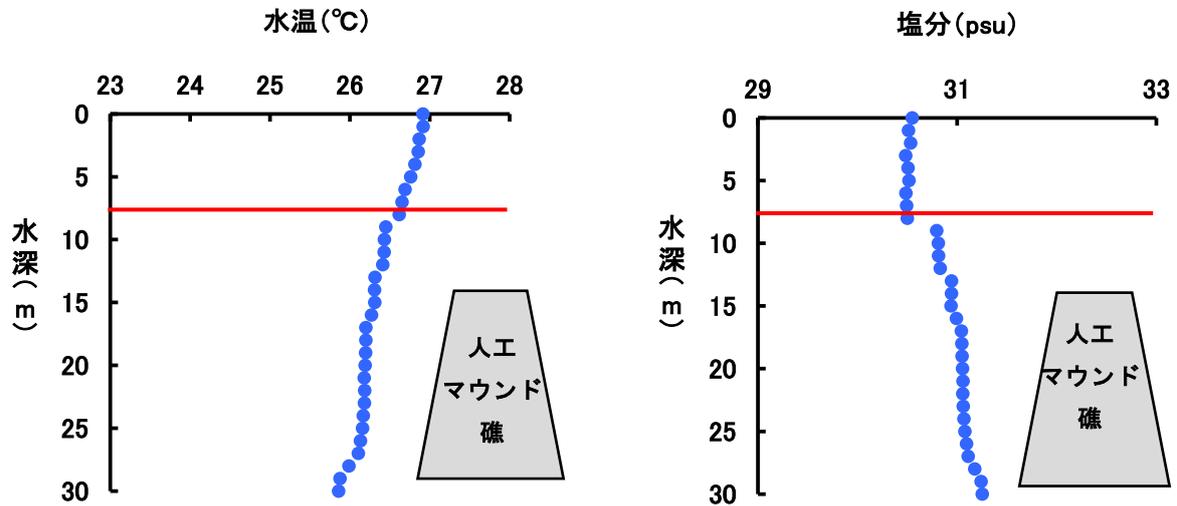


図 VI. 2. 19 水温および塩分の鉛直分布（平成 26 年 9 月）

(3) 流向・流速

平成 26 年 9 月 3 日 12 時～9 月 4 日 12 時に測定した各設置層における流向・流速を図 VI. 2. 20 に示す。

① 流速

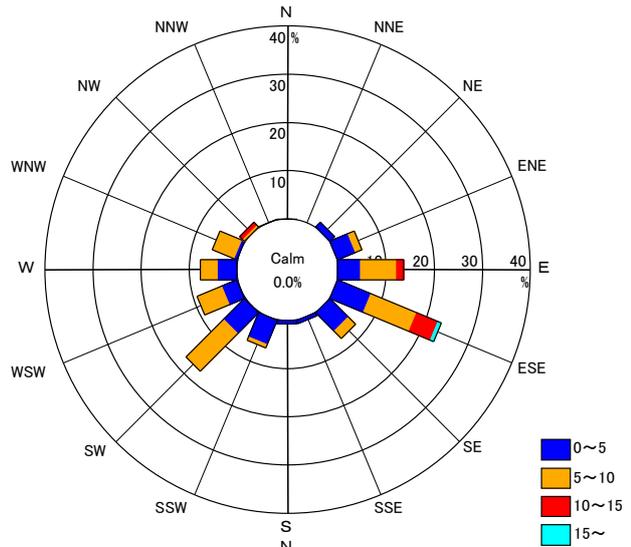
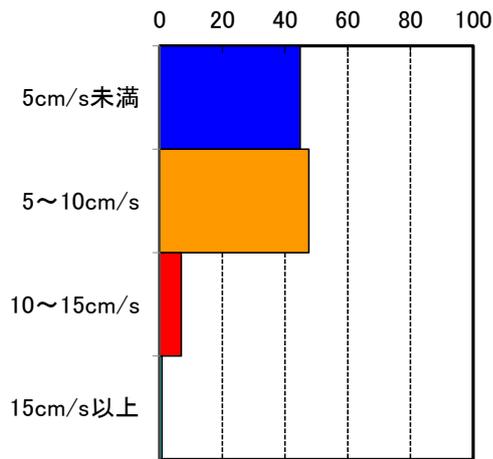
流速 10 cm/s 以上の出現頻度は、天端で 7.6 %、法面で 2.1 %、法尻で 1.4 % であった。流速は、天端で大きく、法面で小さい傾向にあった。

② 流向

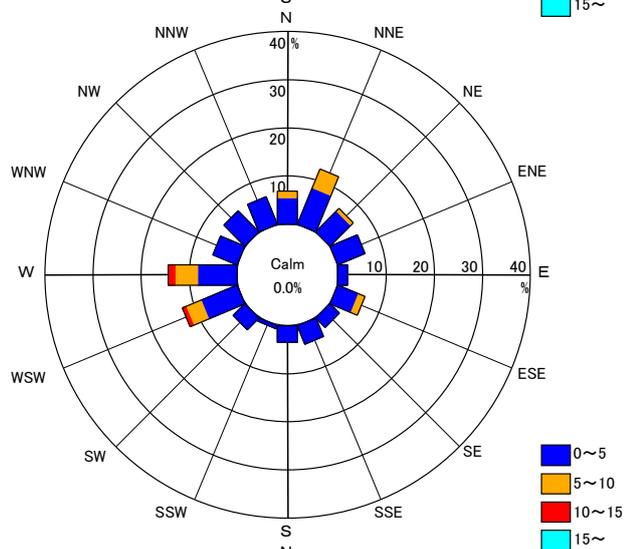
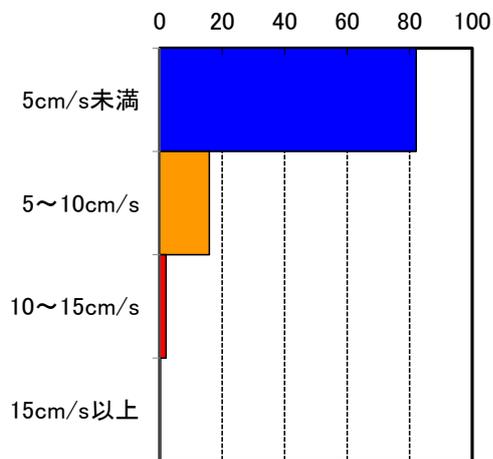
10 % 以上の頻度を占めた流向は、天端では東南東、東方向、法面では西方向、法尻では北北西および南東方向の流れであった。

流向は、塩ビパイプの設置方向に対しておおよそ平行になる方向であった。

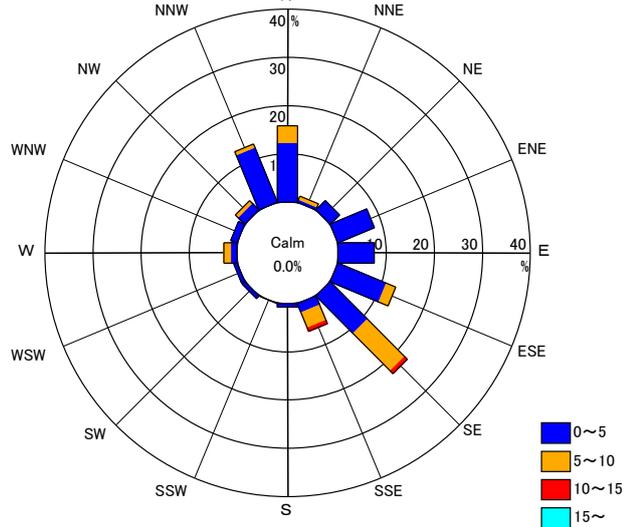
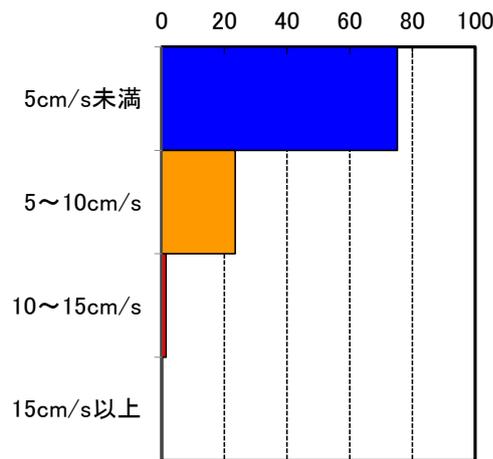
天端 (水深 15 m)



法面 (水深 23 m)



法尻 (水深 30 m)



図VI. 2. 20 各層における流向流速 (平成 26 年 9 月)

Ⅶ 考察

Ⅶ.1 水深別付着生物量と環境要因の把握

水深 40m以浅と水深 90mで付着生物の種類や量に明らかな差異がみられたことは、これまで述べたとおりである。今回の3ヶ年調査についてみると、水深 40m以浅でフジツボ類が早期に多量に付着したのに対し、水深 90mの主な付着生物は軟甲類、多毛類、貝類等（個体数ベース）であった。

その要因として考えられるのが、出現幼生類及び餌料環境の水深による違いである。フジツボ類の幼生の水深 90mにおける出現量は極めて少なかった。また、餌料に関しては、水深 40m以浅に植物・動物の両プランクトンが比較的多く分布していたのに対し、水深 90mにおいては極めて少なかった。一方、全窒素、全りんは水深 90mで多く、デトリタスの集積が考えられた。

以上のことから、水深 40m以浅にはプランクトン食性の付着生物が優占し、水深 90mでは、動物プランクトンやデトリタスを食する付着生物が適応したと考えられる。

付着生物相が変化する水深は当然、海域により異なるが、上記の食性区分からその海域の補償深度あたりではないかと考える。

原単位の設定に向け、漁場施設の付着生物データの蓄積が必要であり、採集に際しては、付着生物相の変化する水深を予想し、深浅のデータを収集することが望ましい。ただし、補償深度以深のサンプリングは潜水調査では困難なため、付着板等を船上から引き揚げることになる。本調査では、ROVを用いて付着板を回収する方法を採用し、必要数を不足なく回収できた。

本調査で得た水深別の付着情報をもとに、対馬海域における原単位について若干の考察を行った。原単位の信頼区間を推定するには標本数が少ないため、ここでは、原単位推定の考え方を示すに止める。

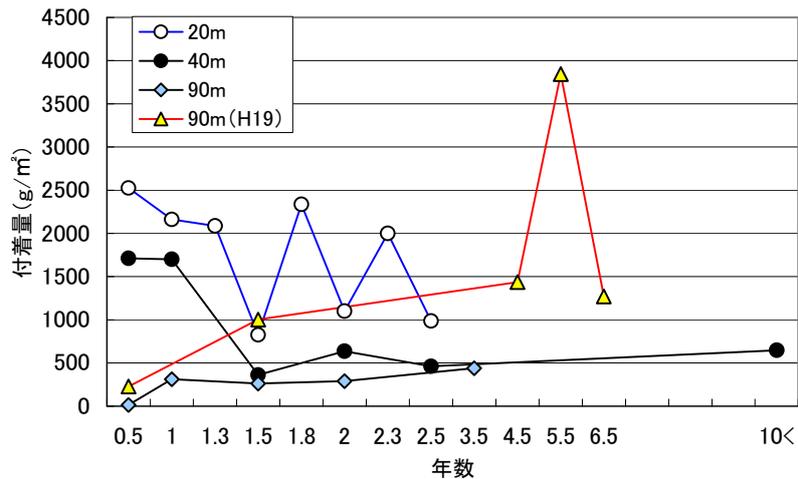
図Ⅶ.1.1は付着生物量の経時変化を水深別に示したものである。

水深 20mはおよそ3ヶ月の間隔で増減がみられ、変動幅は1～2 kg/m²程度である。よって、原単位はこの範囲内に設定するのが適当と考える。

水深 40mについては1.5年以降、0.5 kg/m²前後を示しており、原単位は水深 20mに比べてやや小さめに設定する。もしくは、水深 20mと40mの付着生物の種類、付着傾向が類似していることから、簡単のため、両者の平均的な値を採用する。

水深 90mに平成19年に設置した付着板では5～6年間、一貫して増加した後、急減した。ホヤの減少によるものであるが、劇的な減少の背景には、ホヤ類の年齢組成がピラミッド型ではなく、高齢の単一年級群が卓越した状態にあることが考えられる。

このようなケースでは数年間隔で付着量の変動すると考えられ、4.5年から6.5年の間に示された付着量の中程の2～3 kg/m²程度が原単位として適当と考える。



図VII. 1. 1 水深別付着生物量の経年変化

調査結果を基に、対馬東海域における付着生物量の目安を示したが、地理的条件等により生息する付着生物の種類、生息環境が異なるため、原単位は海域毎に設定することになる。

漁場施設の生物付着量の既往知見を表VII. 1. 1 及び図VII. 1. 2 に示した。

表VII. 1. 1 及び図VII. 1. 2 から、瀬戸内海では対馬海域に比べて付着量が多いことが分かる。また、10年以上経過した魚礁においてもフジツボ類が多数見られる点も対馬海域と異なる。

北日本の海域における主な付着生物はホヤ、カキ類等であり、対馬及び瀬戸内海と種の組成が大きく異なっている。

図VII. 1. 3 及び図VII. 1. 4 には水深及び経過年数と付着量の関係を示したが、標本数が少ないにもかかわらずバラツキが非常に大きい。

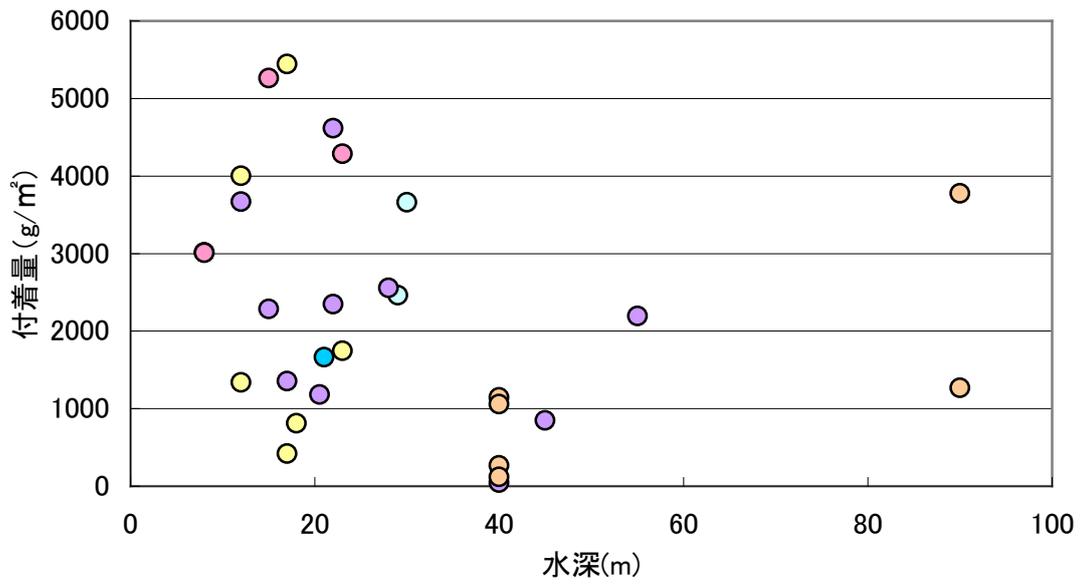
原単位の信頼区間を狭めるためには標本数を増やすことが前提であり、データの蓄積は重要な課題である。

単位:g/m²

水深(m)	設置年数										
	~1年	~2	~3	~4	~5	~6	~7		10~15	15~20	20~
5~10							3010		3015		
~15	1872	4046	1863						4001 1337 5261		
									3671		
~20	2346	1143	1358 610						810	5455	418
									2285	1356	
~25	827	1940 2116	1542 1343						2346 4618 1180	1746 4286	2462
				1231	4833						
~30		1532				2558				3663	
~35	63	391	638	10559						27318	
~40	12	1455		5940							
	1706	1032	548						647		
~50									849		
~60										2194	
~80											
~85	195	2508									
~90	15	289	369								
	228	1003			1800	3775	1268				

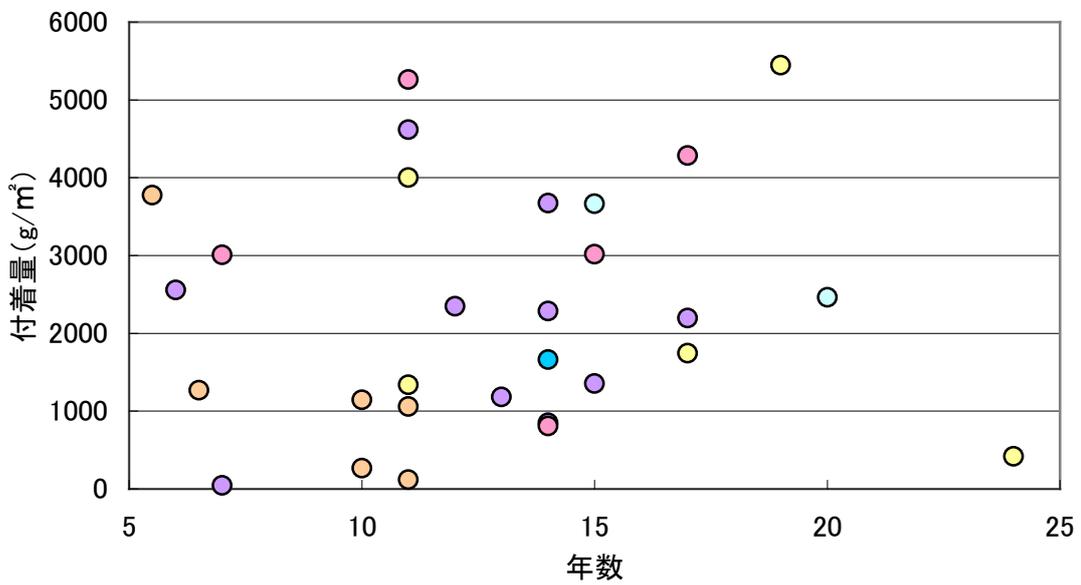
	瀬戸内海		生月沖		大村湾
	対馬		下関		日本海
					津軽海峡

図VII.1.2 漁場施設における水深・経過年別の付着生物量



東シナ海 日本海北部 津軽海峡 瀬戸内海 瀬戸内海(銅製) 太平洋北部

図VII.1.3 水深と付着量の関係 (5年以上構造物)



東シナ海 日本海北部 津軽海峡 瀬戸内海 瀬戸内海(銅製) 太平洋北部

図VII.1.4 年数と付着量の関係 (5年以上構造物)

表Ⅶ.1.1(1) 漁場施設における水深・経過年別の付着生物量

海域	水深	設置年	基盤	年数	付着量(g/m ²)			主な生物(%)			
					総量	選好性餌料	餌料動物				
東シナ海 対馬東※ (佐賀)	90m	H19	コンクリ	0.5	228	14	213	二枚貝類(87)、ホヤ類(5)			
				1.5	1,003	119	259	ホヤ類(74)、二枚貝類(13)			
				4.5	1,800	162	972	ホヤ類(30)、二枚貝類(26)			
				5.5	3,775	214	2,279	ホヤ類(39)、花虫類(39)			
				6.5	1,268	181	1,095	花虫類(52)、貝類(14)			
				H24	コンクリ	0.5	15	8	14	軟甲類(46)、フジツボ類(26)	
						1.0	319	88	136	苔虫類(31)、多毛類(23)	
		1.5	258			34	223	二枚貝類(70)、苔虫類(11)			
		40m	H24	コンクリ	0.5	1,706	1	1,704	フジツボ類(100)		
					1.0	1,703	28	1,656	フジツボ類(91)		
					1.5	361	6	330	フジツボ類(84)		
					2.0	631	18	499	フジツボ類(58)		
					2.5	465	14	378	フジツボ類(51)		
					H15以前	コンクリ	10	1,144	9	1,034	貝類(75)、フジツボ類(8)
	10						266	5	253	フジツボ類(47)、貝類(20)	
	11						1,057	10	907	貝類(59)	
	20m				H24	コンクリ	11	121	4	101	花虫類(45)、貝類(29)
							0.5	2,527	1	2,525	フジツボ類(100)
	20m				H24	コンクリ	1.0	2,164	9	2,148	フジツボ類(98)
			1.3	1,454			6	2,070	フジツボ類(99)		
			1.5	831			6	828	フジツボ類(96)		
		2.0	1,094	5			1,086	フジツボ類(94)			
		2.3	1,994	11			1,991	フジツボ類(94)			
		2.5	987	11			978	フジツボ類(66)			
	対馬西(鹿見)※ (女連)	30m	H22	コンクリ	1.3	1,532	36	384	ホヤ類(72)、フジツボ類(22)		
		20m	H22	コンクリ	2.5	610	83	607	カキ類(81)		
	生月島沖 ^{2),3)}	80m	H10	石炭灰	1.0	195	5	173	貝類(77)、フジツボ類(12)		
コンクリ				2.0	2,508	1	2,203	フジツボ類(75)、カキ類(12)			
大村湾※	25m	H19	コンクリ	0.3	608	10	556	フジツボ類(89)			
				0.7	1,046	1	1,029	フジツボ類(98)			
				1.4	1,602	6	1,596	フジツボ類(95)			
				1.8	2,279	45	2,247	フジツボ類(79)、貝類(15)			
				2.8	1,541	28	1,523	フジツボ類(66)、貝類(23)			
				H17	コンクリ	2.0	2,115	65	1,241	フジツボ類(54)、ホヤ類(36)	
						2.5	1,343	7	1,327	フジツボ類(73)、シャミセンガイ(23)	
						3.0	1,170	2	1,095	フジツボ類(91)	
						3.5	1,292	7	1,288	フジツボ類(98)	
						4.5	4,833	16	4,254	フジツボ類(79)、ホヤ類(12)	
				雲仙※	15m	H22	コンクリ	2.5	20	2	10
下関※ (豊浦)	10m	H14	コンクリ	1.0	1,872	9	1,804	フジツボ類(95)			
				2.0	4,046	128	2,607	フジツボ類(60)			
				3.0	1,863	134	561	苔虫類(28)、ホヤ類(23)			
	30m	H14	コンクリ	1.0	63	4	46	貝類(51)、ホヤ類(24)			
				2.0	391	28	115	ホヤ類(71)、貝類(26)			
				3.0	638	37	210	ホヤ類(66)、フジツボ類(25)			

表Ⅶ. 1. 1 (2) 漁場施設における水深・経過年別の付着生物量

海域	水深	設置年	基盤	年数	付着量(g/m ²)			主な生物(%)	
					総量	選好性餌料	餌料動物		
日本海	新潟(寒川) ⁴⁾	38m	H57	コンクリ	1.0	12	6	多毛類(52)、フジツボ類(41)	
			H56	コンクリ	2.0	1,455	1	イワガキ(95)、フジツボ類(5)	
	(椎谷) ⁴⁾	35m		コンクリ	4.0	5,940	6	イワガキ(97)	
	(桑川) ⁴⁾	33m		コンクリ	4.0	10,553	16	イワガキ(98)	
	青森(つがる) ⁵⁾	30m	H7-13		15	3,663	19	2,793	カキ類(74)
青森(中泊) ⁵⁾	29m	H15		20	2,462	15	1,897	カキ類(73)	
津軽海峡 ⁵⁾	青森(外ヶ浜)	55m	H6-11		17	2,194	1	61	ホヤ類(96)
	青森(外ヶ浜)	16-18m	H10-12		15	1,356	4	454	ホヤ類(58)
	青森(脇ノ沢)	22m	H114		12	2,346	7	231	ホヤ類(92)
	青森(今別)	28m	H18-21		6	2,558	28	417	ホヤ類(77)
	青森(今別)	22m	H14-16		11	4,618	14	1,270	ホヤ類(72)
	青森(佐井)	45m	H11-13		14	849	7	48	ホヤ類(94)
	青森(佐井)	20-21m	H11-13		13	1,180	2	224	ホヤ類(79)
	青森(大間)	40m	H18-19		7	46	0	46	ウミユリ類(82)
	青森(風間浦)	14-16m	H10-12		14	2,285	17	439	ホヤ類(79)
	青森(風間浦)	32m	H8-12		16	27,318	267	5,743	ホヤ類(45)、花虫類(35)
青森(東通)	12m	H10-12		14	3,671	23	3,749	ホヤ類(89)	
太平洋 ⁵⁾	青森(東通)	20-22m	H9-13		14	1,664	9	340	ホヤ類(77)
瀬戸内海	岡山 [※] (白石島)	8m	H10	鉄	15.0	3,015	135	2,665	フジツボ類(76)、海綿類(9)
		8m	H18	鉄	7.0	3,010	54	2,610	フジツボ類(79)、ホヤ類(12)
		12m	H14以前	コンクリ	11<	4,001	126	3,620	フジツボ類(50)、貝類(36)
		12m	H14以前	コンクリ	11<	1,337	69	920	フジツボ類(51)、ホヤ類(28)
		15m	H14以前	鉄	11<	5,261	95	4,523	フジツボ類(59)、クモヒトデ類(19)
	広島湾 [※]	17m	H1	コンクリ	24.0	418	22	403	フジツボ類(69)、腕足類(11)
		17m	H6	コンクリ	19.0	5,455	27	5,391	フジツボ類(92)
		18m	H11	コンクリ	14.0	810	52	683	貝類(41)、フジツボ類(33)
		23m	H8	コンクリ	17.0	1,746	55	148	フジツボ類(88)
		23m	H8	鉄	17.0	4,286	1,707	3,748	フジツボ類(60)、貝類(16)

注) ※は当研究の内部資料であることを示す。

VII. 2 構造物内部における生物付着状況

人工マウンド礁間隙内における魚類の餌料量は、間隙の大きさの違いによって差はみられないと考えられた。一方、奥側が閉鎖された間隙に対し、奥側が解放された間隙では餌料量は多くなると考えられた。また、これらのことはいずれの設置層でも共通してみられたことから、水深 15-30 m 程度の水深の幅では餌料量に差はないものと考えられた。

奥行き距離 200cm 程度までは付着生物が付着していると考えられた。なお、匍匐性の動物は 5 m 程度の奥行きでは、固着性動物よりも更に奥側も利用しているものと考えられた。

人工マウンド礁の表面に対し、間隙の餌料量は 2 分の 1 程度少ないものとみられた。魚類は人工マウンド礁の表面および間隙内の付着生物を餌料として利用していた。

VIII 摘要

VIII. 1 水深別付着生物量と環境要因の把握

(1) 短期における付着状況

調査期間（2.5 年）における生物の付着状況は以下のとおりであった。

① 個体数

- ・水深 20m 及び 40m では設置 1 年目の個体数が最も多く、以後、漸減した。主な生物はフジツボ類であるが、その割合は時間が経過するにつれ低下した。
- ・90m は 1 年目の付着数は極めて少なかったが、2 年目に増加し、以後横這い推移した。その結果、水深 40m 以浅と 90m の付着数の差は徐々に縮まり、2.5 年後には水深 40m 以浅の 7 割程となった。また、水深 90m はフジツボ類の付着が殆どみられない点が特徴的であった。
- ・フジツボ類以外の生物の個体数は、全ての水深において、時が経つにつれて増加する傾向にあった。

② 重量

- ・調査期間中の付着量を押し並べてみると、水深 20m、40m、90m の順で多かった。
- ・水深 40m 以浅の主な生物はフジツボ類であり、0.5 年後には最大付着量を得た。水深 90m ではフジツボ類の付着は見られず、0.5 年後は生物が殆ど付着してない状態であった。
- ・水深 20m は 3 ヶ月間隔で増減がみられるが、調査期間全体でみれば横這いである。
- ・水深 40m は最初の 1 年後は水深 20m と遜色なかったが、1.5 年に急減し、その後は横這い推移している。
- ・水深 90m は初期の付着量は少なかったが、徐々に増加し、2.5 年後には水深 40m と同等の付着量となった。
- ・フジツボ類以外の生物の重量は、全ての水深において、時が経つにつれて増加する傾向にあった。

(2) 中長期における付着状況

① 水深 40m の 10 年後

- ・水深 40m において、付着板と沈設後 10 年以上が経過した魚礁の付着生物重量を 4

回にわたり比較した結果、両者の重量はほぼ同等であった。

- ・ただし、両者の種組成は大きく異なり、設置 2.5 年内の付着板がフジツボ類主体であったのに対し、10 年経過の魚礁面ではフジツボ類は少なく、貝類、苔虫類、ホヤ類等の割合が高かった。
- ・本調査期間内（2.5 年）にフジツボ類が徐々に減少したことは先に述べた。10 年以上経過した魚礁でフジツボ類が少ない事については、こうした現象が継続した結果としてみれば理解できる。

② 水深 90m の 5 年以上

- ・平成 19 年に設置した付着板では、付着生物の重量は 5.5 年まで一貫して増加した後、6.5 年には半減した。
- ・付着重量の減少はそれまで優占種として出現していたホヤ類が減少したことによるものであった。

(3) 生物の付着条件

各水深における付着生物の成育環境は以下のとおりであった。

- ・水温：調査期間の平均水温は水深 20m が 19.5℃、40m、90m がそれぞれ 18.6℃、16.2℃であった。夏季の水深 20m、水深 40m では水温の日較差が大きく、著しい場合は 10℃近くに及んだ。これらの水深帯では秋季にフジツボ類の減少がみられたが、こうした急激な水温変化が影響しているかもしれない。
- ・流速：大潮期の流速は、水深 20m は内湾地形の影響もあり 5 cm/s 以下と小さかった。水深 40m、90m ではそれぞれ 7～23 cm/s、21～28 cm/s と沖合ほど速かった。
- ・幼生量：付着生物の幼生としての可能性がある動物プランクトンの密度は水深 20m、40m、90m の順で高かった。生物の付着数は付着基盤周辺に供給される幼生の数に依存し、供給される幼生の数は幼生密度と移送速度（流速）に依存する。
- ・餌料：付着生物の多くは植物プランクトン、動物プランクトン、デトリタスを餌としている。プランクトン量は水深 20m、40m、90m の順で多く、特に水深 20m で多かった。植物プランクトンの増殖要素である栄養塩類は水深 90m に多いが、有光層以深のためここでは植物プランクトンが増殖し難い。

(4) 漁場施設への魚類蛸集等

付着板直近の漁場施設における魚類の蛸集状況及び底生生物の出現状況は以下の通りであった。

- ・水深 40m の人工魚礁と水深 90m のマウンド礁における魚類蛸集量は、全ての調査回で内部に空間を有する人工魚礁がマウンド礁を上回った。主な蛸集魚は人工魚礁がアジ類、ブリ類、メジナ、イサキなどであり、マウンド礁がブリ類、メダイ、アジ類であった。
- ・マウンド礁で採捕したウマヅラハギとイシダイの胃内容物は、全て付着板に付着していた生物であり、両魚種は漁場施設の付着生物を摂餌していると考えられた。

- ・漁場施設直近と対照区の底生生物量を比較した結果、マウンド礁の直近で多い傾向がみられた。一方、人工魚礁の直近は底質の攪乱が激しく、対照区に比べて底生生物量が少なかった。

種組成に関しては施設際と対照区の差が明瞭であった。構造物直近では流況の変化に伴い底質が粗粒化し、このことにより甲殻類、棘皮類の割合が対照区に比べて高くなっていた。

VIII. 2 構造物内部における生物付着状況

(1) 塩ビパイプ内側壁面の選好性餌料動物量

① 塩ビパイプの直径と選好性餌料動物量

塩ビパイプの直径 20 cm と 30 cm の選好性餌料動物量には有意な差がなかったことから、人工マウンド礁の間隙の大きさと選好性餌料動物量は関係ないものと考えられた。

② 塩ビパイプの透過率と選好性餌料動物量

塩ビパイプの蓋の透過率別（透過率 0 %、20 %、100 %）の選好性餌料動物量には有意な差がなかった。しかし、透過率 0 % と 20 %、0 % と 100 % の間では有意な差があった。

このことから、透過率 20 % 以上の間隙では選好性餌料動物量に差はないと考えられた。

③ 塩ビパイプの設置層と選好性餌料動物量

天端（水深 15 m）、法面（水深 23 m）、法尻（水深 30 m）の層別（水深別）の塩ビパイプ内側の選好性餌料動物量には有意な差がなかった。

このことから選好性餌料動物量は、水深 30 m に設置された人工マウンド礁の高さ 15 m 程度の水深では差はないものと考えられた。

(2) 塩ビパイプの奥行きと選好性餌料動物の分布

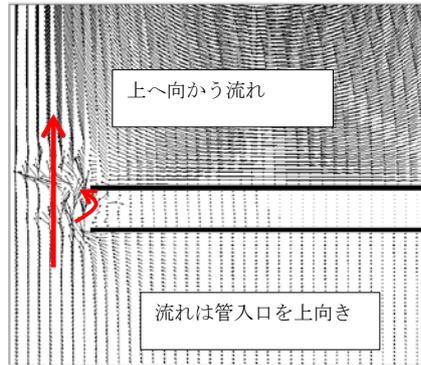
透過率 20 % では奥行距離 0 cm 付近で選好性餌料動物量が多く、奥に向けて減少した。

また、固着性と匍匐性の選好性餌料動物に分けると、固着性の動物は透過率 20 % では開放側（0 cm）から 200 cm 程度まで多く、匍匐性の動物はそれよりも奥側で多く出現した。

固着性の動物は流れによって流動的に移動し付着する動物であるが、匍匐性の動物は付着後にも移動する。

塩ビパイプを設置した海域の流れは、いずれの層でも塩ビパイプの設置方向に対して垂直となる南東や南西方向の流向がみられている。このような流れは、図 VIII. 2. 1 に示すようにパイプの奥側へ流れが流入しにくくなる。

以上のことから、開放側（0 cm 付近）では選好性餌料動物が到達する機会が多く、閉鎖されている奥側に向かうほどその機会が少なくなると考えられ、生物の付着面としては奥行距離 200 cm 程度までが有効であると考えられた。



図Ⅷ. 2.1 CADMUS-SURF/3D によるパイプに作用する流れの解析結果

(3) 塩ビパイプ外側壁面の選好性餌料動物量

天端（水深 15 m）、法面（水深 23 m）、法尻（水深 30 m）の層別の塩ビパイプ外側の選好性餌料動物量には、有意な差がなかった。

このことから人工マウンド礁表面の選好性餌料動物量は、水深 30 m に設置された人工マウンド礁の高さ 15 m 程度の水深の幅では差はないものと考えられた。

(4) 塩ビパイプの外側壁面と内側壁面の付着生物量と組成の違い

塩ビパイプの外側壁面の選好性餌料動物量が約 9.5 g/m^2 であるのに対し、内側壁面では約 4.2 g/m^2 と、2 分の 1 以下であった。

また、節足動物は、塩ビパイプの外側壁面では 7.5 g/m^2 と、内側の 1.8 g/m^2 よりも多く出現し、環形動物は塩ビパイプ外側と内側では同程度（ 2 g/m^2 程度）であった。

このことから、人工マウンド礁の表面に対し、間隙壁面の選好性餌料動物量は 2 分の 1 程度と少ないものとみられ、その要因は節足動物の出現量に左右されているものと考えられた。

(5) 人工マウンド礁における魚類の蝸集状況の把握

（潜水目視観察、漁獲調査、計量魚探調査、間隙内のビデオ撮影）

漁獲調査および水中目視観察では、メバル、カサゴ等の岩礁性魚類が人工マウンド礁に蝸集していることが明らかとなった。

間隙内のビデオ撮影では、岩礁性魚類が石材礁の間隙に滞在し、付着生物や浮遊幼生を餌料としていることが確認された。

計量魚探調査では、岩礁性魚類の人工マウンド礁周辺範囲での蝸集量は、その他の範囲での蝸集量よりも多かった。

以上から、人工マウンド礁に蝸集する魚類は、人工マウンド礁間隙内側の付着生物を餌料として利用していると考えられた。

(6) 人工マウンド礁における付着生物の餌料性の把握

（炭素・窒素安定同位体比分析、胃内容物分析）

炭素・窒素安定同位体比分析および胃内容物分析の結果から、人工マウンド礁に蝸集する魚類が人工マウンド礁の付着生物と捕食-被捕食関係が示された。

このことから、炭素・窒素安定同位体比分析、胃内容物分析からも人工マウンド礁に蝸

集する魚類が、人工マウンド礁間隙内側の付着生物を餌料としていることが考えられた。

IX 引用文献

IX.1 水深別付着生物量と環境要因の把握

- 1) 勝山一朗, 平山和次 (1993) フジツボ類の殻のタールエポキシ塗膜への食い込みに対する塗膜硬度の影響. 材料と環境, 42, 428-434
- 2) 平成 11 年度マウンド漁場造成システムの開発に関する報告書 (1999) 社団法人マリノフォーラム 21
- 3) 平成 12 年度マウンド漁場造成システムの開発に関する報告書 (2000) 社団法人マリノフォーラム 21
- 4) 新潟県水産試験場 (1984) 海中構築物周辺の魚類の資源生態研究報告書
- 5) 青森県漁港漁場整備課 (2014) 平成 25 年度ヤリイカ増殖場実態調査結果

IX.2 構造物内部における生物付着状況

- 1) 石樋由香, 横山寿 (2008) 濃縮係数の変動性 魚類を例として. 安定同位体スコープで覗く海洋生物の生態 アサリからクジラまで, 水産学シリーズ 159, 恒星社厚生閣, 31-45.
- 2) 社団法人 全国豊かな海づくり推進協会 (2007) 平成 18 年度水産基盤整備調査委託事業報告書, 主要対象生物の発育段階の生態的知見の収集・整理 報告
- 3) 矢富洋道, 宮川友則, 秋葉正史 (2005) 静岡県清水港に棲息するカサゴの生態的特性と遺伝的特性, 「海—自然と文化」東海大学紀要海洋学部 3 (2), 21-38
- 4) 萱野泰久 (2001) 人工魚礁域に蝟集するキジハタの食性, 水産増殖 49 (1), 15-21
- 5) 松尾健司, 宮川昌志, 神田優, 山岡耕作 (1997) 伊吹島岩礁性魚類の食性, Bull. Mar. Sci. Fish. Kochi Univ. 17, 41-61
- 6) 原口浩一, 山本民次, 片山貴之, 松田治 (2009) 人工魚礁に形成される食物連鎖を通じた炭素フロー, 日本水産学会誌 75 (5), 810-818