

改訂版

# カキ殻を利用した総合的な底質改良技術ガイドライン



2022年11月

岡山県



## 改訂版 序

岡山県では、アマモの生育環境や底生生物の生息環境を改善させるカキ殻の敷設効果に着目し、軟泥質の浅海域においてカキ殻を敷設して底質環境の改善を図る底質改良技術として実用化し、2013(平成 25)年 3 月に「カキ殻を利用した総合的な底質改良技術ガイドライン」を策定した。当時は沖合深場での実証例や基礎的知見が乏しく、その後の調査研究の進展に応じて本ガイドラインを随時見直すこととしていた。

2012(平成 24)年からは、備前市日生町大多府島沖合の深場において、軟泥質の海底にカキ殻を敷設し、その効果を把握するための底質改良試験を実施した。この結果を基に 2015(平成 27)年からは事業化し、その経過をモニタリングしたところ、一定の効果が確認されたことから、この度、「カキ殻を利用した総合的な底質改良技術ガイドライン」を改訂することとした。

最後に、改訂版の編集にあたり、多くの有益なご教示を頂いた、元岡山大学大学院 教授 大久保賢治博士と九州大学大学院工学研究院 准教授 清野聡子博士に厚くお礼申し上げます。

2022 年 11 月

岡山県



# 目 次

<b>I. ガイドラインの役割</b> .....	<b>1</b>
1. 目的.....	1
2. ガイドラインの構成と内容.....	2
<b>II. カキ殻の発生・活用状況と法令上の位置づけ</b> .....	<b>3</b>
1. 全国のカキ殻の発生量とその利用状況 .....	3
(1) 全国のカキ殻の発生量 .....	3
(2) 岡山県内のカキ殻の発生量 .....	3
(3) カキ殻の海域における利用事例 .....	4
2. 法令上の位置づけ .....	7
<b>III. カキ殻の性状について</b> .....	<b>8</b>
1. 形状.....	8
2. 構造.....	8
3. 化学的特性 .....	9
4. 物理的特性 .....	10
<b>IV. 底質改良技術の解説</b> .....	<b>12</b>
1. 総論.....	12
2. 海域条件に応じた底質改良技術.....	13
(1) 潮間帯(干潟)及びそれに続く極浅海域 .....	13
1) 対象とする海域条件 .....	13
2) 使用する材料 .....	18
3) 底質改良手法の考え方.....	19
4) 施工方法 .....	28
5) 効果の確認方法 .....	30
6) 留意点 .....	30
(2) 沖合浅場 .....	31
1) 対象とする海域条件 .....	31

2)	使用する材料 .....	33
3)	底質改良手法の考え方 .....	34
4)	施工方法 .....	46
5)	効果の確認方法 .....	47
6)	留意点 .....	47
(3)	沖合深場 .....	48
1)	対象とする海域条件 .....	48
2)	使用する材料 .....	51
3)	底質改良手法の考え方 .....	52
4)	施工方法 .....	66
5)	効果の確認方法 .....	67
6)	留意点 .....	67
<b>V.</b>	<b>参考資料 .....</b>	<b>68</b>
1.	実証海域の詳細 .....	68
2.	透水性実験について .....	74
3.	指標生物の生息環境としてのカキ殻選択性の検討 .....	75
(1)	マナマコ .....	75
(2)	イイダコ .....	76
(3)	イカナゴ .....	77
(4)	オニオコゼ .....	78
(5)	サルエビ .....	79
4.	投稿論文、学会発表等の資料、及び報告実績 .....	80
5.	参考文献 .....	82
6.	用語の説明 .....	85
	謝辞 .....	90

# 1. ガイドラインの役割

## 1. 目的

瀬戸内海は、瀬戸と灘が織りなす複雑な地形と、外洋から流入する深層水や陸域から流れ込む河川水から供給される栄養塩によって豊かな生産性と生物多様性が維持されていたが、1960～1970年代の高度経済成長期の水質汚濁や沿岸開発、海砂採取等によって、これらを支えてきた干潟や藻場、浅海域における環境が著しく悪化した。その後、1973年に制定された「瀬戸内海環境保全臨時措置法（後に特別措置法）」をはじめとした各種水質規制によって汚濁原因物質の負荷削減が進められ、水質については改善傾向が見られており、ここ数年、海砂採取の禁止等の措置によって海域の透明度が向上するとともに、漁業者による生態系保全活動等の努力とも相まって、各所で藻場の復活が確認されるなど、海域環境の改善が見られている。

しかし、これまでの長年にわたる汚濁負荷の結果、海域によっては底土に大量の栄養塩が蓄積されるとともに<sup>1)</sup>、沿岸域の泥化<sup>2)</sup>や貧酸素水塊の発生<sup>3)、4)</sup>が確認されるなど、底質環境は依然として改善が進んでいない。環境省が1981年度を起点として1991年度および2001年度からそれぞれ4、5年をかけて実施した瀬戸内海環境情報基本調査では、全硫化物が約20年間でやや増加傾向にあることが報告されている<sup>3)</sup>。また、1980年代以降の瀬戸内海の漁獲量の推移を見ると、1980年代中期をピークとしてその後急速に減少しているが、特にアサリ・ハマグリ、エビ・カニ類等の底生性魚介類の減少が顕著であること<sup>5)</sup>も底質環境が悪化した状態であることを裏付ける結果と推察される。

底質環境を改善させて底生性魚介類をはじめとした水産資源を回復させるためには、底土に偏在した栄養塩を循環させるための底質環境の改善が必要であるが、これまでは浚渫、作濘、覆砂などの土木的な底質改良に頼ってきた。しかし、岡山県ではアマモの生育環境や底生生物の生息環境を改善させるカキ殻の効果に着目し、軟泥質の浅海域においてカキ殻を散布して底質環境の改善を図る底質改良技術として実用化し、「カキ殻の有効利用に係るガイドライン(平成18年6月 岡山県)」としてとりまとめた<sup>6)</sup>。この技術をより多くの様々な海域で利用するため、2009年より3年間にわたり、農林水産省農林水産技術会議の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の採択を受けて技術開発に取り組んできた。本事業の成果を「カキ殻を利用した総合的な底質改良技術ガイドライン」としてとりまとめ、様々な海域で幅広く利用できる汎用性のある底質改良技術として発展させようとするものである。

## 2. ガイドラインの構成と内容

一般的にリサイクル材の利用に当たっては、自然生態系にどのような影響が及ぶのかということ十分に検討したうえで利用されねばならない<sup>3)</sup>。カキ殻は、海から生まれた自然物であり、海上保安庁発行の海図に Sh.、Oy. として示されているように、標準的な底質の一つとして認知された素材であり、海や人にとって極めて安全、安心で均一な品質を有するが、一旦陸揚げされ身が取り出されたカキ殻は、廃棄物として取り扱われることが多い。

そこでこのガイドラインでは、まずカキ殻の法令上の位置付けや取り扱いの考え方を整理することとした。その上で、海域を概ね L. W. L. -1m 以浅の「潮間帯(干潟)及びそれに続く極浅海域」、概ね L. W. L. -1~-10m の「沖合浅場」、概ね L. W. L. -10m 以深の「沖合深場」に区分し、2009~2011 年に実施した実証試験を基に、海域別の課題とこれを解決するための改善策、必要となるカキ殻の数量等具体的な利用・管理方法、実施後の効果把握方法等を取りまとめた。



## II. カキ殻の発生・活用状況と法令上の位置づけ

### 1. 全国のカキ殻の発生量とその利用状況

#### (1) 全国のカキ殻の発生量

カキ殻の重量は、可食部を含めたカキ重量の8割程度を占める<sup>7)</sup>。2009年度漁業・養殖業生産統計によると、2009年におけるカキの全国生産量は約21万t/年であり、これから推算されるカキ殻の発生量は約16.7万t/年、約52.3万m<sup>3</sup>/年である(表II-1)。

#### (2) 岡山県内のカキ殻の発生量

2009年における岡山県内のカキ殻の発生量は、約1.5万t/年、約4.6万m<sup>3</sup>/年であると推算される(表II-1)。

表 II-1 カキの生産量から推算したカキ殻の発生量

		カキ殻重量 (単位：100t/年)	カキ殻容量 (単位：m <sup>3</sup> /年)
全	国	1,674	523,000
広	島	847	264,750
宮	城	385	120,250
岡	山	146	45,750
岩	手	106	33,000
兵	庫	45	14,000
三	重	38	11,750
北	海 道	31	9,750
石	川	15	4,750
長	崎	11	3,500
福	岡	11	3,500
新	潟	10	3,250
香	川	10	3,250
愛	媛	6	1,750
京	都	4	1,250
静	岡	2	750
島	根	2	500
佐	賀	2	500
徳	島	1	250
大	分	1	250
福	島	0	0
福	井	0	0

※1 カキ殻容量(m<sup>3</sup>/年)は、カキ殻重量(t/年)を見かけの比重0.32t/m<sup>3</sup>を除いて求めた(参照：p.10 表Ⅲ-2)。

※2 カキ殻重量の「0」は、100t/年に満たないものである。

※3 カキ殻容積の「0」は、1m<sup>3</sup>/年に満たないものである。

(3) カキ殻の海域における利用事例

表 II-2 カキ殻の実用化事例

項目	結果
	<p><b>餌場機能、隠れ場機能、産卵場機能等の増殖機能の強化のために、カキ殻を利用した人工魚礁が製作されている<sup>8), 9)</sup>。</b></p> <p><b>水深帯: 潮下帯～280m 程度</b></p> <p>直径 15cm、長さ 100cm のポリエチレンメッシュパイプにカキ殻を満充填した「カキ殻基質」は、魚介類の餌料となるエビ類、カニ類、多毛類を中心とする付着生物を沈設後 23 カ月で同形のコンクリート基質と比較して最大 294 倍多く増殖させ、これを配置した人工魚礁の餌場機能を著しく強化する。</p> <p>また、カキ殻基質内に形成される空隙には小型のハタ類、カサゴ類、ハゼ類、スズメダイ類、マダコ、サザエ等が潜入する様子が観察されており、このような空間が隠れ場を提供することで食害による初期減耗を抑制する。さらに、カキ殻基質を付加した人工魚礁は産卵床の造成、繁殖行動の促進等の産卵場機能も備えており、これまでにアйнаメ、マダコ、ヤリイカ、アオリイカ等の卵塊・卵のうの着生が観察された他、マアジ、イサキ、キジハタ、カサゴ等の抱卵魚が確認されている。</p>
漁場造成	<p><b>イセエビやマナマコの資源増大のために、人工魚礁にカキ殻が利用されている<sup>10), 11)</sup>。</b></p> <p><b>水深帯: 潮下帯～20m 程度</b></p> <p>イセエビ資源の増大を目指し事業化された人工魚礁は、餌場機能の強化と様々な成長段階のイセエビの生息に適するように、上記のカキ殻基質を一行に 10 本程度並べたパネルをくさび形の棚状に配置している。</p> <p>またカキ殻は、海面に吊るして種苗を採取する等マナマコとの関わりが強いことが知られているが、カキ殻基質を付加した試験礁でも体長 5 cm未満を中心とする個体が蝸集している様子が確認されており、その結果を踏まえて事業化された人工魚礁には、12 月～4 月の活動期を中心に様々なサイズのマナマコの蝸集が認められた。</p>
	<p><b>藻場造成のために、人工魚礁にカキ殻が利用されている<sup>12), 13)</sup>。</b></p> <p><b>水深帯: 潮下帯～10m 程度</b></p> <p>海藻類の着生基盤として事業化されているカキ殻基質を付加した人工魚礁では、付着生物の活動等による浮泥堆積の抑制、ウニ類による食害の抑制、コンブ類の固着力強化等の効果がある。</p>
アマモ場造成	<p><b>軟泥域において、アマモのアンカー材としてカキ殻が利用されている<sup>6)</sup>。</b></p> <p><b>水深帯: 水深 3m 以浅</b></p> <p>アマモは底土中にカキ殻が存在すると、地下茎のひげ根を絡ませて草体を維持するため波や流れ等の外力に対する抵抗力が強くなるとともに、濁りの抑制に役立つことが明らかにされている。これを利用して、軟泥域においてカキ殻をアンカー材として散布することが事業化されており、これまでにアマモの流失が抑制され安定した繁茂が認められている。</p>

表 II-3 カキ殻の実験・効果事例(その1)

項目	結果
干潟造成	<p><b>カキ殻を敷設した干潟では、移植したアサリ幼貝の滞留率が高くなる<sup>14)</sup>。</b></p> <p><b>水深帯:潮間帯</b></p> <p>カキ殻を敷設した干潟にアサリ幼貝を移植してモニタリングを行った結果、カキ殻区では12~65個体(平均46個体、調査面積0.0625m<sup>2</sup>)と対照区の5個体よりも多くなり、カキ殻敷設と幼貝移植を組み合わせることで資源量を増大させることが出来た。</p>
底質改善	<p><b>カキ殻を敷設した底土では、硫化物量が減少する<sup>15)、16)</sup>。</b></p> <p><b>水深帯:3m程度</b></p> <p>カキ殻を敷設した実海域の底土では、硫化物量が87日間で1.12mg/g(乾泥)から0.76mg/g(乾泥)へと減少したのに対し、対照区では同期中に1.10mg/g(乾泥)から2.16mg/g(乾泥)へと増加した。一方、水槽実験下では、粉碎カキ殻の吸着特性はラングミュアの吸着等温式によく従い、最大で12mg-S/g(乾泥)を記録した。従って、カキ殻が富栄養化した堆積物中の間隙水から硫化水素を効果的に吸着することが実証され、上層水の貧酸素化を抑える効果があることも示した。</p> <p>さらに、粉碎カキ殻を付加した底土は対照区よりも酸化還元電位が高くなることから、カキ殻は富栄養化した堆積物の中和、緩衝に有効な材料となり得ることが分かった。</p>
	<p><b>カキ殻を敷設した底土では、汚濁指標種が減少する<sup>17)</sup>。</b></p> <p><b>水深帯:13m程度</b></p> <p>カキ殻を敷設した底土では底生生物の種、個体数、湿重量ともに増加したが、その一方で汚濁指標種であるシズクガイやヨツバナスピオは減少した。</p>
養殖漁場の環境改善	<p><b>カキ殻を利用した人工中層海底を設置することにより、養殖筏から沈降する擬糞や剥落物等による有機物を捕捉し、海底への負荷を軽減する<sup>18)</sup>。</b></p> <p><b>水深帯:10m程度</b></p> <p>カキ筏直下の貧酸素水塊よりも上層の水深帯に、カキ殻基質を10本程度水平に並べたパネルを人工中層海底として設置することにより、カキ筏から海底へ沈降する擬糞や剥落物等を捕捉し、増殖する付着生物によりこれらの分解を促した。その軽減効率は沈設69日後で6.6%(カキ筏からの沈降有機物フラックス5.16gC/m<sup>2</sup>-底質への沈降有機物フラックス4.82gC/m<sup>2</sup>/日)/カキ筏からの沈降有機物フラックス5.16gC/m<sup>2</sup>×100)と見積もられ、対照とした竹炭製の人工中層海底の3.3%と比べて高かった。</p>
	<p><b>貧酸素水塊が発生する海域において、カキ殻を利用した人工中層海底を設置することにより、小型生物の生息環境を創出する<sup>18)</sup>。</b></p> <p><b>水深帯:水深5m程度</b></p> <p>貧酸素水塊が発生する海域において、それが届かない中層の水深帯にカキ殻を利用した人工中層海底を配置することにより、5カ月後の人工中層海底に生息した付着生物の種、個体数、湿重量は周辺海底よりもそれぞれ2倍以上となった。また、人工中層海底には、魚類の蛸集や海藻類の着生も確認されたことから、小型生物の好適な生息環境の創出及び生態系の多様化に寄与していることが実証された。</p>

表 II-4 カキ殻の実験・効果事例(その2)

実施例	結果
漁港・港湾施設における生物多様性の促進	<p><b>カキ殻を利用した施設を漁港・港湾施設に併設することにより、小型動物や魚介類などの生物生息機能が増強する<sup>20)</sup>、<sup>21)</sup>。</b></p> <p><b>水深帯:水深 5~15m</b></p> <p>生物生息施設として漁港・港湾施設にカキ殻基質を併設したところ、防波堤の側面部の付着生物や周囲海底に生息する底生生物とは異なる生物相を形成し、また、その付着生物は対照とした同形のコンクリート基質と比較して、種類数では 1.1~1.2 倍、湿重量では 2.9~10.8 倍多くなった。このことから、形状が比較的単純であるコンクリート構造物にカキ殻基質を併設することで、生態系の多様化に寄与することが明らかとなった。</p>
	<p><b>カキ殻基質は、濁度の減少や有機物の取り込みに寄与する<sup>22)</sup>。</b></p> <p><b>水深帯:水深 12m 程度</b></p> <p>港湾施設に設置したカキ殻基質には植物プランクトンを捕捉する濾過食者が増殖し、これらは 9 カ月後には湿重量で全体の約 74%を占めた。このカキ殻基質を水槽内に静置して珪藻を添加しモニタリングした結果、珪藻を捕捉、消化していることが実証され、その減少速度は二枚貝類の生息する干潟と比較してクロロフィル a 量で 10.1 倍、SS で 1.7 倍、有機態窒素量で 17.2 倍となった。このことより、港湾施設にカキ殻を使用した構造物を付加、併設することにより、バイオディポジション(生物源堆積現象)<sup>*</sup>の機能を高め、周囲の水質環境を改善する効果が認められた。その機能は内部に潜入する小型動物によるバイオターベーション(生物による攪乱作用)<sup>*</sup>により、さらに高められるものと期待される。</p> <p>※ 詳細は、巻末に記載。</p>
水質浄化	<p><b>カキ殻には、全窒素の除去効果が認められる<sup>23)</sup>。</b></p> <p>カキ殻を充填した施設に人工排水を供給、循環させた結果、24 時間で 10mg/L の濃度のアンモニア性窒素のほぼ 100%が硝化作用により除去された。</p>
	<p><b>底生生物が生息するカキ殻には、植物プランクトン除去効果が認められる<sup>24)</sup>。</b></p> <p>底生生物が生息するカキ殻を充填した施設に水域で採取した水を供給して植物プランクトンの濾水速度を測定した結果、カキ殻 1m<sup>3</sup> 当たり 31.6m<sup>3</sup>/日となった。</p>

## 2. 法令上の位置づけ

### (1) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和 45 年法律第 137 号、以下「廃棄物処理法」という。） における位置付け

本ガイドラインで使用するカキ殻は、適正に有価物として取り扱われるものに限定するため、廃棄物処理法の適用は受けないものである。

（参考）

- 1) 「廃棄物」とは、ごみ、粗大ごみ、燃え殻、汚泥、ふん尿、廃油、廃酸、廃アルカリ、動物の死体その他の汚物又は不要物であつて、固形状又は液状のもの（放射性物質及びこれによつて汚染された物を除く。）をいう。（廃棄物処理法第 2 条第 1 項）
- 2) 廃棄物は、一般廃棄物と産業廃棄物に区分される。
- 3) 貝類養殖の生産工程において、海域から陸揚げされ、むき身加工に伴い発生するカキ殻等の貝殻が不要物として処理される場合は廃棄物処理法が適用される。
- 4) 漁業活動に伴い排出されるカキ殻は一般廃棄物に、食料品製造業等によって排出されるカキ殻は産業廃棄物に区分される。

### (2) 海洋汚染防止法等及び海上災害の防止に関する法律（昭和 45 年法律第 136 号、以下「海防法」という。）における位置付け

- 1) 海防法は、船舶、海洋施設等から海洋に油、有害液体物質等及び廃棄物を廃棄することを禁じているが、同法第 3 条により、廃棄物は「人が不要とした物（油及び有害液体物質を除く）をいう。」とされていることから、カキ殻は廃棄物には該当しないと解される。
- 2) 昭和 61 年 7 月 2 日付け運環第 31 号で運輸省運輸政策局環境課長回答において、ある時点で一般に廃棄物に該当するものであっても、海洋に投入される時点で当該物が施工者側における十分な管理の下に積極的に使用される場合は、海防法上は廃棄物とはならないと解されるとしている。
- 3) 本県が策定した「カキ殻の有効利用に係るガイドライン（平成 18 年 6 月 岡山県）」について平成 18 年 6 月に海上保安部と協議したところ、「ガイドラインに基づきカキ殻を使用することは安全性の問題はなく、廃棄物にも該当しない。海洋環境の面では何ら問題がない。但し、事業の実施にあたっては、航行安全対策として通常の協議が必要である。」との回答を得ている。

### III. カキ殻の性状について

#### 1. 形状

カキ殻の形状は左右非対称の卵形で(写真 III-1)、膨らみが大きな左殻で基質物に固着する。右殻は平たく、蓋のようになっている。殻表には粗い成長脈の襞が波打っており、高く発達した襞は半管状の突起になる。カキ殻の外表面は淡い黄白色で、紫褐色の放射状の帯が走り、カキ殻の内表面は白色である<sup>25)</sup>。

我が国に分布するマガキには地方による品種の違いがあり、成長、殻の形態等に遺伝的な差が大きい<sup>26), 27)</sup>。一例として、岡山県備前市日生町産の全形カキ殻(粉碎していないカキ殻)の表面積は、約 $0.009\text{m}^2/\text{個}$ <sup>28)</sup>で、全形カキ殻 $1\text{m}^3$ の総表面積は約 $239.4\text{m}^2$ ( $1\text{m}^3$ 当たりカキ殻約27,350個として試算)である。



写真 III-1 カキ殻(左:左殻、右:右殻)

#### 2. 構造

カキ殻の構造は、外側から殻皮、稜柱層、葉状層またはチョーク層が混在する層(写真 III-2)の3種類が重なった構造になっており、殻皮を除いた部分は殻質と呼ばれている<sup>29)</sup>。

殻皮は有機物のみでできており、タンパク質が主成分である。また、殻皮は炭酸カルシウムが主成分である殻質を包んで保護する役割があり、殻質は薄い酸にも少しずつ溶解するが、殻皮で保護されていれば容易には溶解されない。稜柱層は炭酸カルシウムとその結晶間のコンキオリンと総称されるタンパク質でできており、有機物が比較的多く弾力性があるので、多少曲がっても簡単に折れることはない。また、稜柱層は酸で溶かすとハチの巣のようになる<sup>29)</sup>。一方、葉状層やチョーク層は緻密で硬い。これにより、カキ殻は浸食や破壊から中身(軟体部)を守ることができる<sup>29)</sup>。

二枚貝類では断面に年輪と考えられる層状構造が見られるため、これらを酢酸塩被膜に転写したレプリカを使って、年齢査定が行われており、カキ殻では殻頂部の断面の年輪模様に基づいて年齢査定が行われている<sup>30)</sup>。

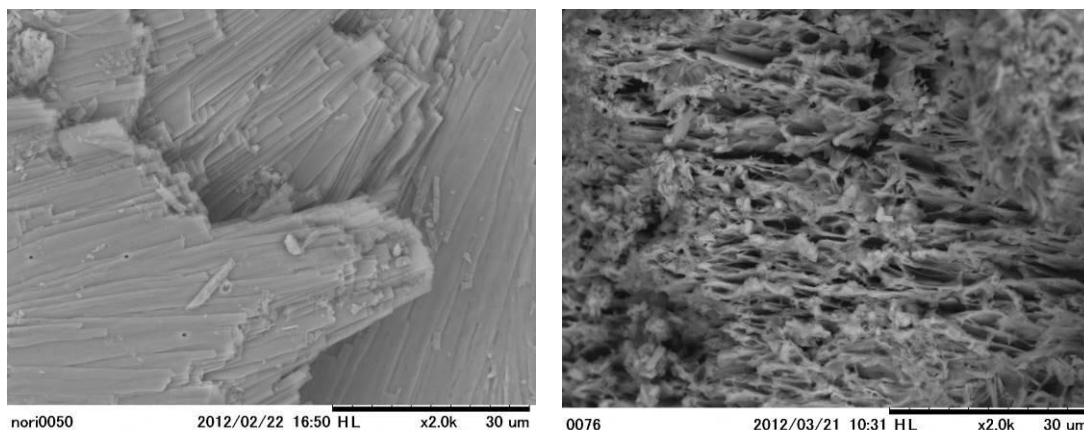


写真 III-2 走査型電子顕微鏡によるカキ殻構造(左:葉状層、右:チョーク層) <sup>31)</sup>

### 3. 化学的特性

カキ殻の成分の82%は炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)によって構成されている。さらに、水、塩類水溶液、有機溶媒、希酸やアルカリ等に不溶性の硬タンパク質であるコンキオリンと微量の炭酸マグネシウム、リン酸カルシウム、硫酸カルシウム、酸化鉄等を含んでいる(表 III-1)。なお、カキ殻は有害物質を含有しておらず、安全性の高い材料と言える <sup>6), 7)</sup>。

表 III-1 カキ殻の成分 <sup>32)</sup>

成分	単位	カキ殻
H <sub>2</sub> O	%	0.36 - 0.52
CO <sub>2</sub>	%	42.74 - 42.92
Ca	%	38.71 - 38.82
Mg	ppm	820 - 1,420
Sr	ppm	750 - 825
Li	ppm	1.3 - 1.8
Na	ppm	5,560 - 6,580
K	ppm	47 - 76
Mn	ppm	5 - 20
Fe	ppm	2.0 - 6.0
Cu	ppm	0.2 - 1.4
Zn	ppm	0.8 - 5.2
SO <sub>4</sub>	ppm	2,140 - 2,630
Cl	ppm	164 - 412
P	ppm	279 - 858

#### 4. 物理的特性

カキ殻は、丸みを持ち、かつ凹凸を持つ形状であるため、粉碎した場合でも空隙を多く有する。このため、見かけの体積としては砂とほぼ同等であっても、透水性に優れるという特徴を持っている<sup>33)</sup>。

カキ殻のN値は1~2であり、これからせん断抵抗角を試算すると23.5~24.9°となった。また、安息角の計測値は33.7~34.5°であり、この値はせん断抵抗角よりも大きい。これはカキ殻のかみ合わせ(インターロッキング)効果等が影響していると考えられている<sup>34)</sup>。

カキ殻の見かけの比重( $t/m^3$ )は、粒径が細くなるほど空隙が小さくなるので大きくなるが(表 III-2)、真の比重は粒径にかかわらず $2.0t/m^3$ である(表 III-3)。

表 III-2 粒径別の粉碎したカキ殻の見かけの比重

カキ殻の粒径	体積(ml)	重量(g)	見かけの比重( $t/m^3$ )
2.0cm以上	6,000	1,944	0.32
2.0~1.0cm	1,350	573	0.42
1.0~0.7cm	800	371	0.46
0.7~0.4cm	130	74	0.57
0.4~0.2cm	730	404	0.55
0.2~0.1cm	300	190	0.63
0.1cm以下	280	221	0.79

表 III-3 粉碎及び全形カキ殻の真の比重

カキ殻	粒径 (cm)	真の比重( $t/m^3$ )	
		湿式 <sup>※1</sup>	乾式 <sup>※2</sup>
粉碎	5.0×3.5	2.0	2.1
全形	9.3×5.2	2.0	

※1 湿式の重量は、カキ殻を海水に1カ月程度浸漬し、その後、付着物を剥ぎ落として蒸留水で洗い、30分程度放置後に測定した。また、体積は、そのカキ殻を蒸留水(20°C)に浸漬させ排斥水量を測定した。

※2 乾式の重量は、カキ殻を100°Cで20時間乾燥させて重量を測定した。また、体積は、そのカキ殻を蒸留水(20°C)に浸漬させ排斥水量を測定した。



カキ殻片の流動に対する限界掃流速を図 III-1 に示した実験水槽で調べた。本実験水槽で作ることができる最大底層流速(底から 2cm で測定)は 57cm/s(1.11 ノット)であり、その範囲内では粒径 2mm 以上のカキ殻片は流失しなかった。

なお、本実験は水平方向の一様流によるものであり、河川流や潮流が卓越する水域においては参考となるが、波浪等の影響が大きい水域においては不規則な振動流が発生することを視野に入れる必要がある。

また、カキ殻を水面付近から投入して敷設する場合、カキ殻が水流の影響を受けて投入予定位置から外れてしまう恐れがあるので、流況などを事前に確認した上で施工する。

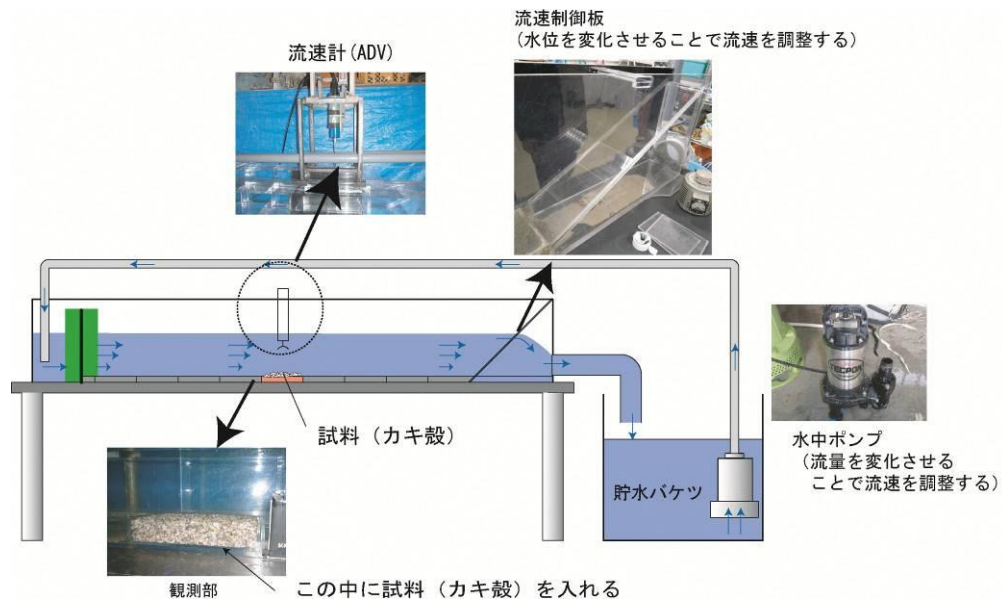


図 III-1 限界掃流速の実験装置

海域におけるカキ殻の耐久性については、岡山県備前市の片上湾において、簡易垂下式カキ養殖が行われていた等の理由で、1965 年頃からカキ殻が数 10cm~1m の厚さで堆積している海域があり、ここでは少なくとも 25 年以上に亘り、ほぼ原型のカキ殻堆積層が維持されており、そこには底生生物が多様に生息していることも確認されていることから、十分にあるものと考えられる<sup>35)</sup>。

## IV. 底質改良技術の解説

### 1. 総論

これまでの調査で得られた成果については、利用する海域の条件に応じた要素技術として、適宜使い分けることが重要である。本節では、図 IV-1 のとおり海域条件によって利用する海域を分類、定義した上で、各々の底質改良技術について説明する。

#### 【ガイドラインにおける海域分類の定義】

(1) 潮間帯(干潟)及びそれに続く極浅海域

年平均高潮位(H. W. L.)から年平均低潮位(L. W. L.)まで及びそれに続く極浅海域(L. W. L. -1m まで)

(2) 沖合浅場

年平均低潮位(L. W. L.)-1~-10m 程度\*の沿岸海域

\* 瀬戸内海での補償深度と小型機船底曳網漁業の操業実態などを加味して、概ね水深 10m までとした。

(3) 沖合深場

沖合浅場よりも深い年平均低潮位(L. W. L.)-10m 以深の沿岸海域

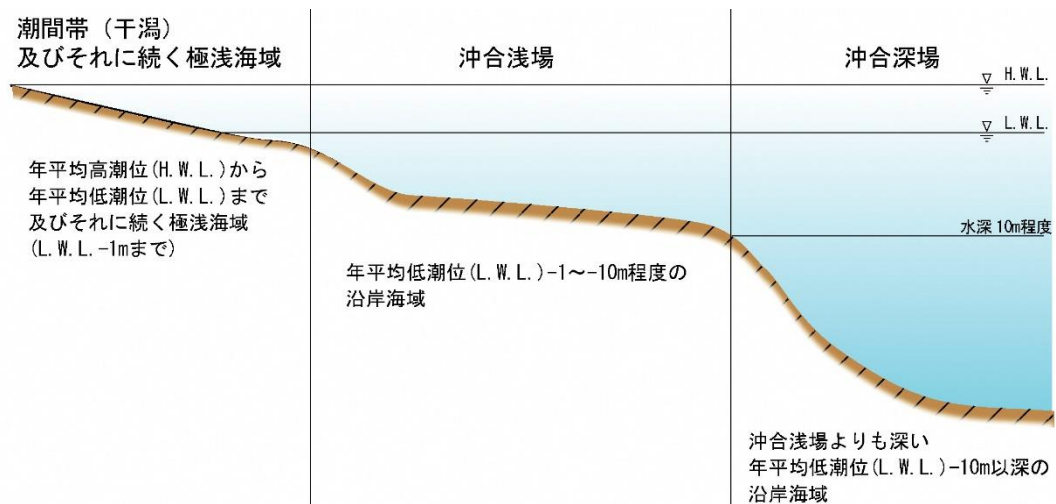


図 IV-1 ガイドラインにおける海域分類の定義

## 2. 海域条件に応じた底質改良技術

### (1) 潮間帯(干潟)及びそれに続く極浅海域

#### 1) 対象とする海域条件

水産有用種であるアサリ等の二枚貝類をはじめとする底生生物が著しく減少している河口干潟など、カキ殻を敷設しても流失してしまうような流れ条件が厳しい海域、締め固め等により底質の透水性が悪化している海域を対象とする。

なお、シルト・粘土分の割合が高い軟弱な底質の改良技術については、「カキ殻の有効利用に係るガイドライン(平成18年6月 岡山県)」によるものとする。

#### 解説:

##### 実証試験の海域について

実証試験の海域は、岡山県岡山市の吉井川河口部にある約30haの干潟を選定した(図 IV-2)。その詳細は、p.68 V.参考資料に示す。

試験区施工前の2009年8月に実施した調査では、実証試験海域は粒径0.063~1.0mmの砂が82.8%を占める細かな底土であり、ORP(酸化還元電位)は-63mVで還元状態が進んでいた(

##### 表 IV-1)。

底生生物の個体数は408~492個体/m<sup>2</sup>、湿重量は1.6~3.8g/m<sup>2</sup>で、イトゴカイ目や端脚目が個体数で85%以上を占める単純な生物相であった。

p.15の参考を示す②IL(強熱減量)、TS(全硫化物)、MC(泥分含有率)、H'(底生生物群集の多様度)から求める合成指標と④IL、TS、MCから求める合成指標により、有機汚染の程度を判定した結果、前者は-1.95、後者は-2.11で負の値となり、正常な底質と判定された。文献調査<sup>36)</sup>によれば1975年頃にはアサリやマテガイが多く生息していたが、漁業者からの聞き取りでは、「現在では貝類が激減しており、潮干狩りを楽しむ人々もほとんどいない状況にまで悪化している。」とのことであった。

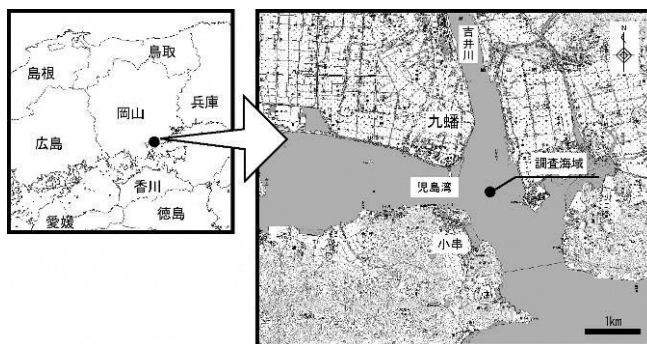


図 IV-2 岡山県岡山市吉井川河口干潟

表 IV-1 岡山県岡山市吉井川河口干潟の環境と底生生物(2009年8月実施)

底質				
IL (%)	COD (mg/g 乾泥)	ORP (mV)	TS (mg/g(乾泥))	MC (%)
2.35	6.5	-63	0.03	16.6
底生生物				
出現種類数 (目数)	個体数 (個体/m <sup>2</sup> )	湿重量 (g/m <sup>2</sup> )	H'	
7	450	3.5	2.96*	

※ 底生生物群集の多様度(H')は、2009年8月調査の分析レベルが「目」であったため、「種」まで実施した2010年9月の対照区の結果を使用し参考値として試算した。

### 実証試験の方法について

2009年10月に吉井川河口干潟の20m×50mの範囲にカキ殻を原地盤に鋤き込んだ試験区を、西側に約60m離れた地点に同面積の対照区を設置した(図 IV-3)。2009年11月～2011年11月までの期間、両区で環境、底生生物に係るモニタリング調査を原則として四季を通じて行ったほか、底生生物が多様となる水温約20℃の時期に実施した。

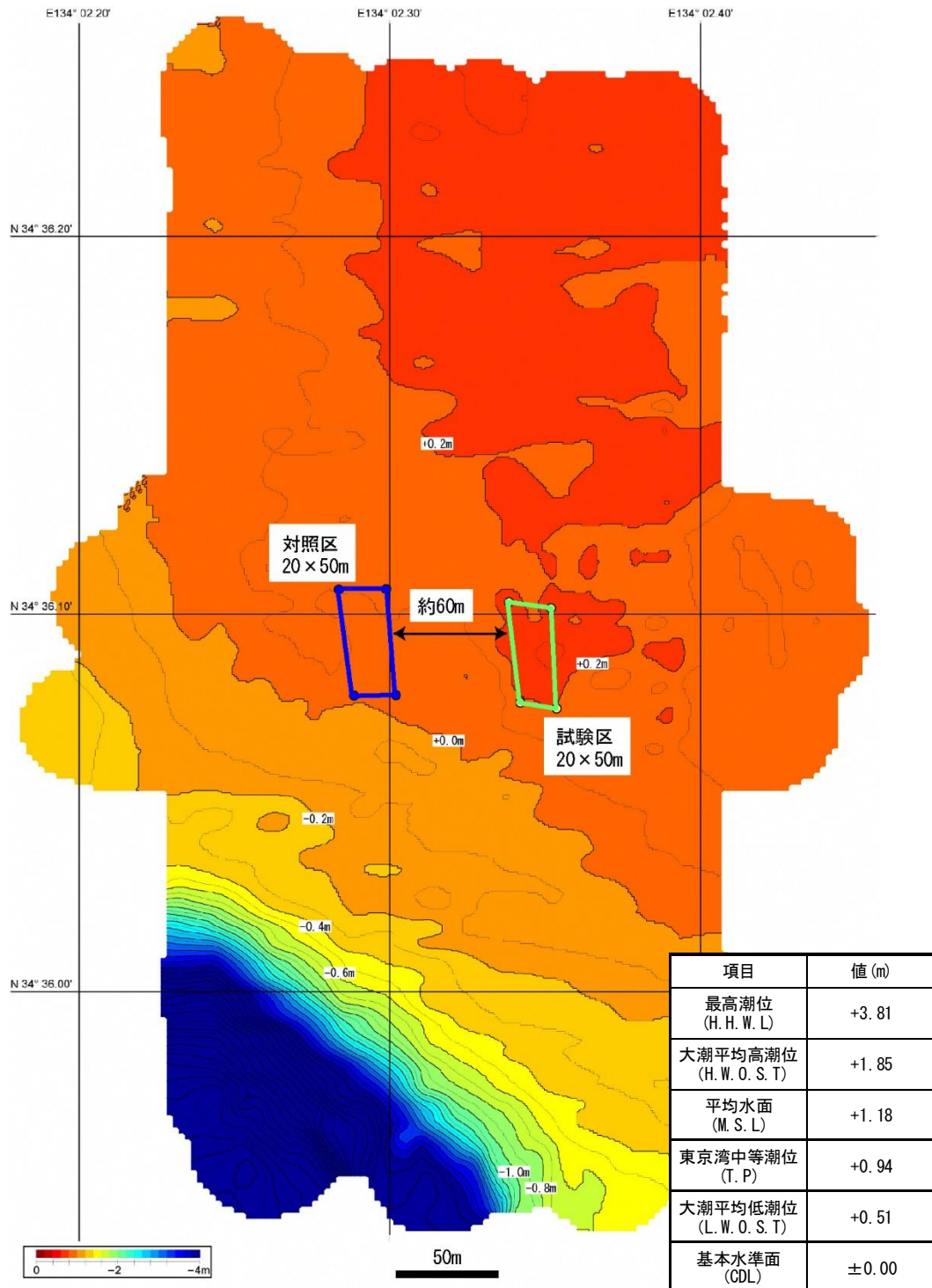


図 IV-3 試験区と対照区の配置

図中の数値は、基本水準面(CDL)からの高さを表している

【参考 海域の環境状態を判定する方法について】

a. 底質項目により有機汚染の合成指標を求めて判定する方法

この合成指標は、海水交換が制限され、有機物の付加量が多く、夏季に成層が発達しやすい閉鎖的な海域の有機汚染の程度を評価する際に用いる。底質項目である COD(化学的酸素要求量)、IL(強熱減量)、TS(全硫化物)、MC(泥分含有率)、H' (底生生物群集の多様度) 等の有機汚染に関する測定項目の結果を利用し、以下の 4 通りの中から算出方法を選んで合成指標を求め、合成指標が正の値であれば汚染された海域と判定される。

底質項目による有機汚染の合成指標の求め方<sup>37)</sup>

① COD、TS、MC、H' から求める合成指標

合成指標

$$=0.504(\text{COD}-20.9)/15.4+0.513(\text{TS}-0.51)/0.60+0.506(\text{MC}-64.9)/30.5-0.474(\text{H}'-2.69)/1.30$$

② IL、TS、MC、H' から求める合成指標

合成指標

$$=0.504(\text{IL}-7.99)/4.52+0.510(\text{TS}-0.51)/0.60+0.513(\text{MC}-64.9)/30.5-0.466(\text{H}'-2.69)/1.30$$

③ COD、TS、MC から求める合成指標

合成指標

$$=0.582(\text{COD}-20.9)/15.4+0.568(\text{TS}-0.51)/0.60+0.580(\text{MC}-64.9)/30.5$$

④ IL、TS、MC から求める合成指標

合成指標

$$=0.582(\text{IL}-7.99)/4.52+0.559(\text{TS}-0.51)/0.60+0.580(\text{MC}-64.9)/30.5$$

判断基準	合成指標
正常な底質	負の値
汚染された底質	正の値

**COD(化学的酸素要求量)**:底土に含まれる有機物量、有機性汚濁の指標である。底土の被酸化性物質を酸化剤によって化学的に酸化される際に消費される酸素量のこと、数値が大きくなるほど汚濁していることを示す。

**IL(強熱減量)**:底土中の有機物含量の指標であり、底土を強熱(約 600°C)した際に生じる減少質量が占める割合を表したもの。

**TS(全硫化物)**:硫化物は、有機性浮遊物等が底土上に沈降し、その分解によって酸素が消費されて還元状態になると、硫酸塩還元細菌の増殖によって硫化水素(H<sub>2</sub>S)が発生し、これによって底土中に金属等とともに生成される。このため底質が悪変し、底生生物の生息に対して影響を与える。さらに状態が悪くなると、底土から上層の水に対して二次的な汚染が起こる場合もある。遊離硫化物と結合硫化物との和を全硫化物としている。

**MC(泥分含有率)**:泥分とは、シルト(粒径 0.0039~0.0625mm)・粘土(粒径 0.0039mm 未満)の総称であり、泥分含有率はシルト及び粘土が底土に占める割合を表したもの。

**H'** :Shannon-Wiener 関数により導かれる多様度を示す指数。 $-\sum (n_i/N) \log_2(n_i/N)$ の数式で表され、このとき  $n_i$  は第  $i$  番目の種に属する個体数、 $N$  は総個体数を示す。多様性を示す指標として広く用いられるが、「全ての種を平等に取り扱う」性格を持つため優占種が大きな割合を占めると低い値が示され、その他の希少種や指標種の存在が数値に反映しにくくなる。したがって、これらを設定している場合は種別の構成比などを併せて評価する必要がある。

b. 底生生物相から判定する方法

底生生物相は、底質環境の影響を受けて大きく変化する。そこで、底生生物を定量採集し、種組成、生物量等について過去との比較を行ったり、環境指標種の出現状況等を調べたり、底質項目による有機汚染の合成指標値を求めたりすることにより、海域の複合的な環境状態を判定する手がかりとなる<sup>38)</sup>、<sup>39)</sup>。

表 IV-2 に示したのは、底生生物を指標として内湾性を表現したものであり、ホトトギスガイやシズクガイの生息が確認できれば強内湾性の海域とされ、ハナカンムリやナメクジウオが確認できれば弱内湾性の海域と推定される。

図 IV-4 に示したのは底生生物群集構造の変化と汚染度区分を模式化したものであり、汚染が進んだ海域ほど甲殻類の比率が低く、多毛類の比率が高くなり、個体数や Biotic index (個体数/種数) の値が大きくなる。

アサリについては、海水中の D0 (溶存酸素濃度) が 1mg/L 以下の環境下では 2 日後から斃死する個体が見られたり<sup>40)</sup>、ORP が +120mV 以下の干潟ではほとんど生息しない<sup>41)</sup> 等の知見も底質改善の必要性を検討することに参考となる。

表 IV-2 底生生物を指標とする内湾性の表現<sup>38)</sup>

		湾 奥 ← (内 湾) → 湾 口				
		← 強内湾性		→ 弱内湾性		
		泥 底	泥 底	泥 底	砂泥底	砂 底
		富栄養極浅域	一時停滞域	中・富栄養非停滞域	中・貧栄養性	貧栄養性
貝類	ホトトギスガイ	シズクガイ	シズクガイ	シズクガイ	マメグルミ	
	ヒメシラトリ	チヨノハナガイ	イヨスダレ	ケシトリガイ	マグラチゴドリ	
	シズクガイ	チゴトリガイ	ヒメカノコアサリ	ヒメカノコアサリ	ミジンシラオガイ	
	ウメノハナガイ		ゴイサギ	マメグルミ	アデヤカヒメカノコアサリ	
多毛類	ギボシイソメ	ヨツパネスピオ	ヨツパネスピオ	ホソタケフシ	ハナカンムリ	
			タマガシフサゴカイ	コウキケヤリ属	コウキケヤリ属	
			ダルマゴカイ			
			マサゴウロコムシ			
その他			カキクモヒトデ	クシノハクモヒトデ	クシノハクモヒトデ	
			ウチワイカリナマコ	ヨコエビ類	ヨコエビ類	
				ドロクダムシ科	スガメソコエビ科	
				スガメソコエビ科	クダオソコエビ科	
				モルグラ属ホヤ	ナメクジウオ	
				ラスパンマメガニ		

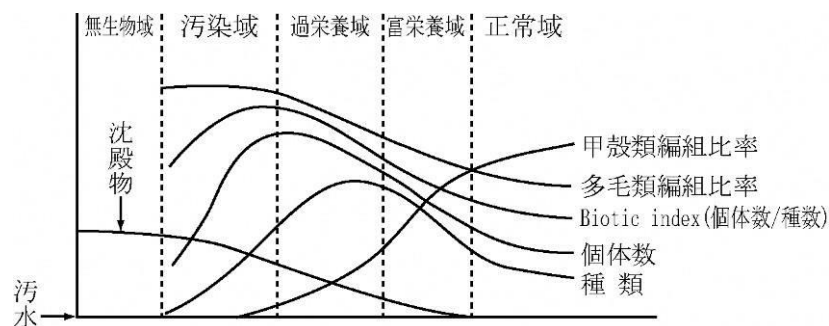


図 IV-4 底生生物群集構造の変化と汚染度区分の模式図<sup>38)</sup>

## 2) 使用する材料

「カキ殻の有効利用に係るガイドライン(平成 18 年 6 月 岡山県)」による品質管理基準(表 IV-3)を満たした粉碎カキ殻を使用する。

### 解説：

一般に、カキむき直後のカキ殻には身肉の残滓に加えて、様々な付着生物が残っている。こうしたカキ殻をそのままの状態でも大量に原地盤に鋤き込むことは、底土中の有機汚濁を進行させる原因となる。したがって、使用するカキ殻は、その表面に付着した身肉の残滓や付着生物が除去されたものを原則とし、底質の水産用水基準<sup>37)</sup>を基に定めた「カキ殻の有効利用に係るガイドライン(平成 18 年 6 月 岡山県)」による品質管理基準に適合したものとする。

本実証試験では、図 IV-5 に示した粒度分布の粉碎カキ殻で品質管理基準を満たしたものを使用した。

表 IV-3 カキ殻の品質管理基準<sup>37)</sup>

物質	基準値
COD <sub>OH</sub> (アルカリ性法)	20mg/g (乾泥) 以下
硫化物	0.2mg/g (乾泥) 以下
ノルマルヘキサン抽出物	0.1%以下 (1,000mg/kg以下)

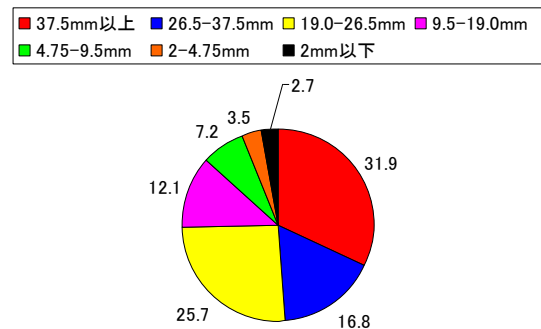


図 IV-5 使用したカキ殻の粒度分布 (%)



### 3) 底質改良手法の考え方

底土中にカキ殻を鋤き込むことで、粒度組成を改善(粗粒化)させて透水性の向上を図り、底生生物の生息環境を改善する(図 IV-6)。

#### 解説:

干潟の粒度が粗粒化(図 IV-7)して透水性が向上し(表 IV-4)、COD、ORP、TS 等の底質が改善され、底生生物量が增大、多様化する。さらに、底生生物による摂餌や分解、多毛類や甲殻類等による作巢や匍匐による底土の攪拌作用(バイオターベーション)の活性化により底質改善<sup>42)</sup>が促進される。また、アサリ等の二枚貝類が生息・増大し、これらの濾過食による水質浄化<sup>42)、43)</sup>が期待される。

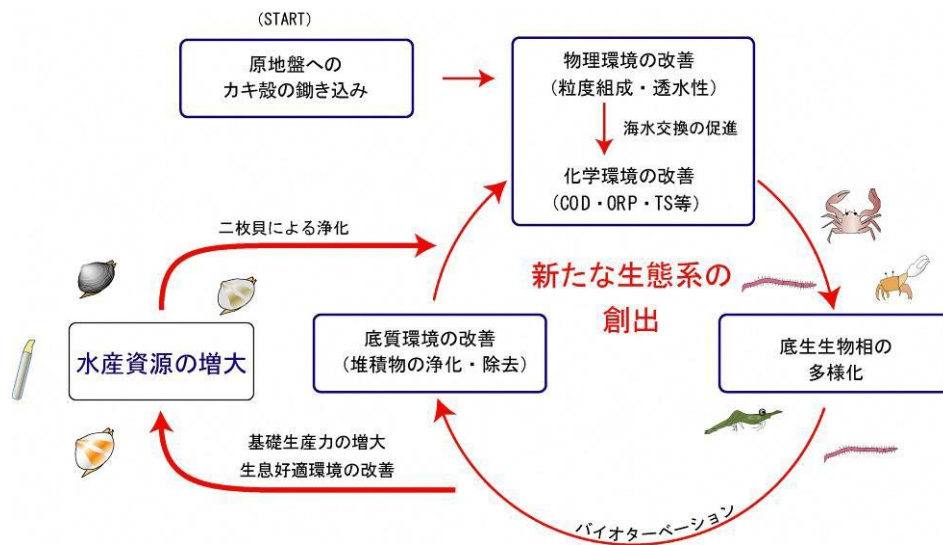


図 IV-6 潮間帯(干潟)の改善のメカニズム

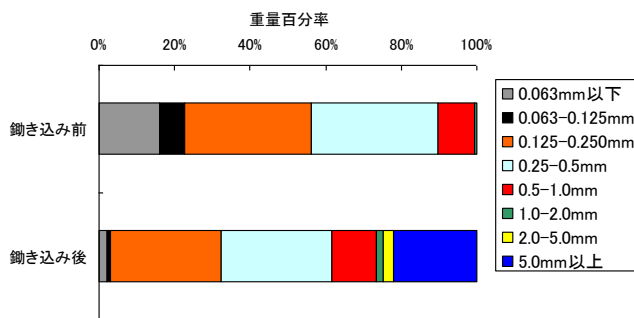


図 IV-7 試験区の鋤き込み前と鋤き込み後の粒度別による底泥の重量百分率(%)

表 IV-4 試験区と対照区の透水係数

区	透水係数 (cm/s)	試験区/対照区
試験区 (n=8)	$(3.0 \pm 2.7) \times 10^{-3}$	7.5
対照区 (n=6)	$(4.0 \pm 4.1) \times 10^{-4}$	

※透水性の実験の詳細は、p. 74 V. 参考資料に示す。

### a. カキ殻鋤き込みによる底質改善

試験区と対照区の上層(干潟表面～深さ 10cm までの範囲)で調べた IL、COD、ORP、TS の結果を 図 IV-8 に示す。

試験区の IL は、鋤き込み 1 カ月後の 2009 年 11 月は 3.0% で対照区よりも高い値を示したが、それ以後は対照区とほぼ同値もしくは低い値の 1.2～2.6% で推移していた。

試験区の COD は、事前調査の 2009 年 8 月や 2009 年 11 月は 4.9～5.4mg/g(乾泥)と高かったが、その後、鋤き込み 1 年 10 カ月後の 2011 年 8 月までは 0.2～2.6mg/g(乾泥)と対照区と比べて低い値で推移した。なお、鋤き込み 2 年 1 カ月後の 2011 年 11 月には対照区とほぼ同値の 4.1mg/g(乾泥)となったが、これは同年 9 月に接近した台風第 12 号により吉井川の流量が増大して干潟に砂泥が堆積し、影響を与えたことが要因の一つとして考えられた。

試験区の ORP は、鋤き込み 8 カ月後の 2010 年 6 月までは対照区と大きな差は無かったが、それ以後は +68～+173mV で推移しており、対照区よりも常に良好な値を示した。

TS は、2011 年 8 月には対照区で 0.10mg/g(乾泥)を示したが、それ以外は両区ともに 0.04mg/g(乾泥)以下の良好な値で推移し、試験区が対照区よりも概ね低い値を示した。

これらの結果は、カキ殻を底土中に鋤き込むことで、粒度組成を改善(粗粒化)させて透水性が向上したことによるものと考えられた。

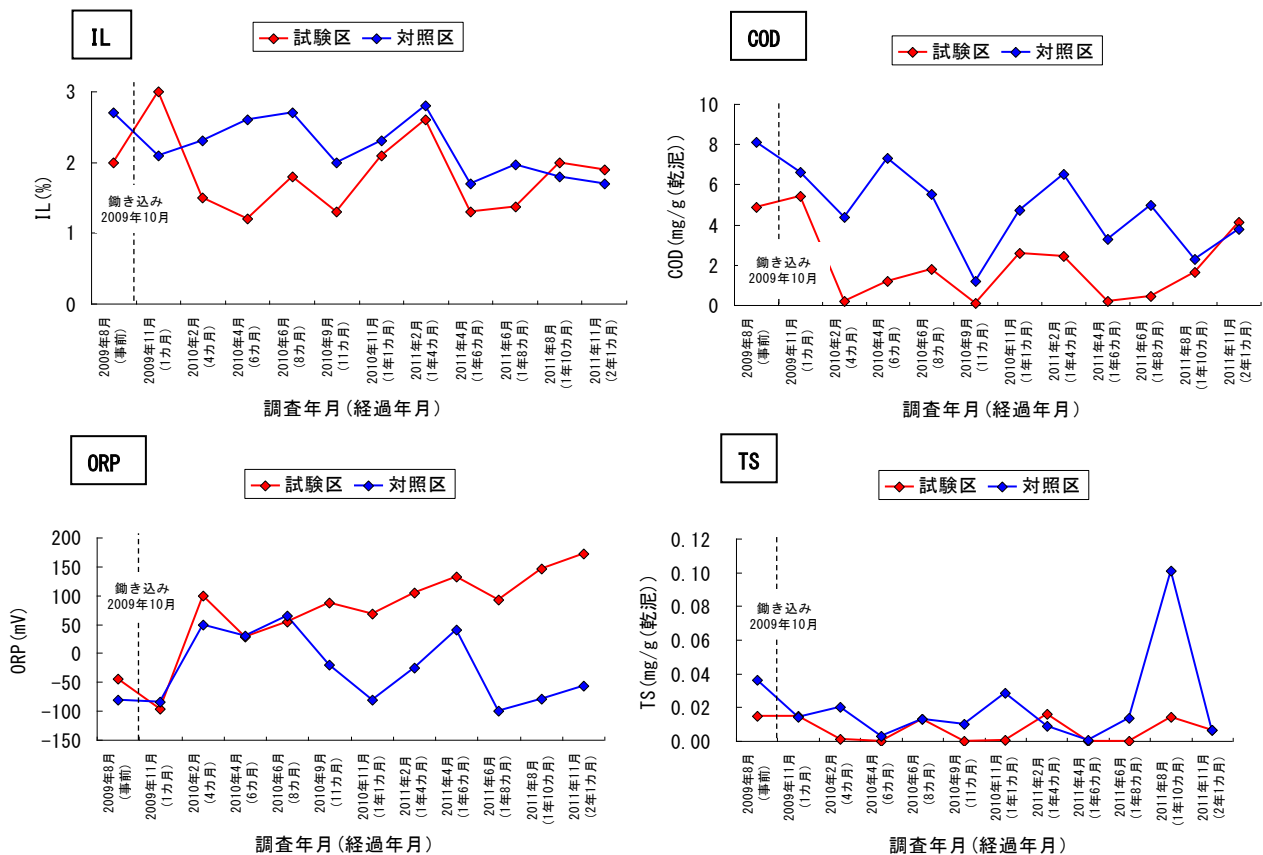


図 IV-8 試験区と対照区の上層(干潟表面～深さ 10cm の範囲)における IL、COD、ORP、TS の推移

## **b. 底質改善に伴う底生生物相の多様化**

試験区と対照区の上層(干潟表面～深さ 10cm までの範囲)における底生生物相の変化をそれぞれ図 IV-9、図 IV-10 に示す。

試験区での出現種数は、6～36 種で推移しており、鋤き込み 1 年 6 カ月後の 2011 年 4 月には 36 種で最大となったが、対照区は 3～21 種で、ほとんどの調査日で試験区の方が多く、その差は 4～15 種であった。

試験区の個体数は、試験区施工前の 2009 年 8 月から鋤き込み 6 カ月後の 2010 年 4 月までは 30～492 個体/m<sup>2</sup> で対照区とほぼ同じ傾向で推移していたが、それ以降増加し、鋤き込み 11 カ月後の 2010 年 9 月にはフジツボ科のほか、マテガイ、アサリなどの二枚貝綱の出現、増大により、対照区よりも 4.8～6.2 倍多くなった。また、試験区の調査期間中のピークは、鋤き込み 1 年 10 カ月後の 2011 年 8 月の 3,273 個体/m<sup>2</sup> であり、対照区との差は 27.0 倍であった。

試験区の湿重量は、2009 年 8 月から鋤き込み 8 カ月後の 2010 年 6 月までは 0.1g/m<sup>2</sup> 未満～10.5g/m<sup>2</sup> と少なかったが、2010 年 9 月から 2011 年 8 月まではアサリ、マテガイ、ホトトギスガイが増えて 22.2～104.9g/m<sup>2</sup> で推移した。一方、対照区については、調査期間中、0.1g/m<sup>2</sup> 未満～22.3g/m<sup>2</sup> で推移しており、主に汚濁指標種であるイトゴカイ目やニホンドロソコエビなどが出現した。

また、両区ともに水温の変動とともに出現種数、個体数、湿重量が増減し同様の季節変動が見られたが、鋤き込み 2 年 1 カ月後の 2011 年 11 月では極端に値が変動したのが見られた。これは、台風第 12 号の接近の影響により吉井川の流量が増大して干潟に砂泥が堆積し、影響を与えたことが要因の一つとして考えられた。

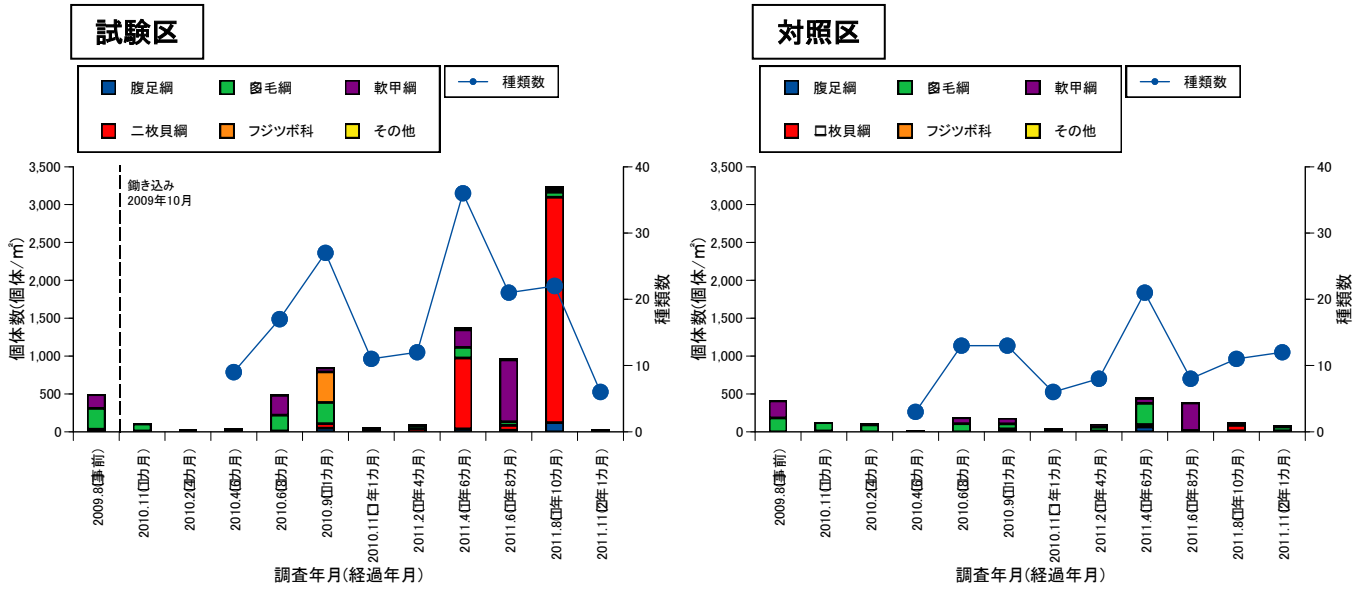


図 IV-9 試験区と対照区の上層(干潟表面～深さ 10cm の範囲)における底生生物の種類数、個体数の推移

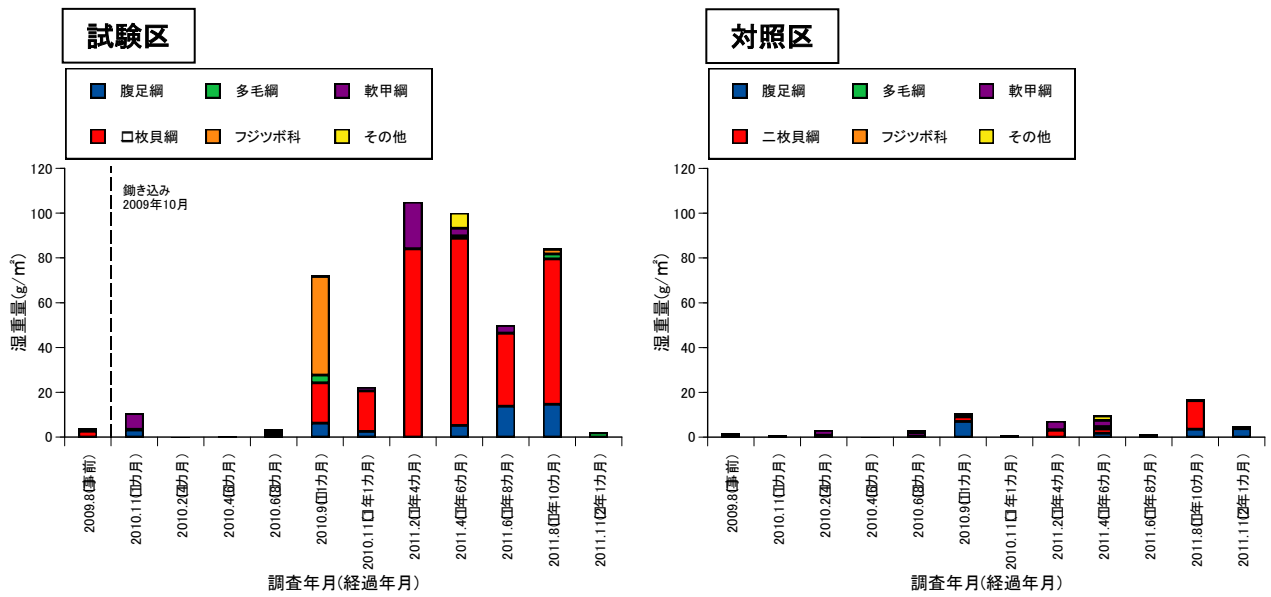


図 IV-10 試験区と対照区の上層(干潟表面～深さ 10cm の範囲)における底生生物の湿重量の推移

### c. 底質改善に伴う二枚貝類の生息

試験区では、アサリが2010年6月(鋤き込み8カ月後)以降、マテガイが2010年9月(鋤き込み11カ月後)以降、ほぼ連続して出現し(表 IV-5)、成長していく様子が確認された。また、種苗生産した殻長約2mmのハマグリ稚貝にALC(アリザリンコンプレキソン)標識をして(写真 IV-1)、2010年11月25日、同年12月6日に試験区及び対照区にそれぞれ約40万個ずつ放流し、2011年8月29日～12月27日(放流277～397日後)に計5回の追跡調査を実施した。その結果、対照区では殻長29.1mmの種苗が1個体確認されたのみであったが、試験区では殻長16.3～34.0mmの種苗計83個体を再捕することができた(図 IV-11)。

これらの結果は、IL、COD、ORP、TS等の底質環境の改善により、底生生物量が増大、多様化し、さらに、底生生物によるバイオターベーションにより底質改善が促進されたためと考えられた。

表 IV-5 試験区と対照区で出現したアサリ、マテガイの出現時期と密度

調査年月 (経過年月)	2009.8 (事前)	2009.11 (1カ月)	2010.2 (4カ月)	2010.4 (6カ月)	2010.6 (8カ月)	2010.9 (11カ月)	2010.11 (1年1カ月)	2011.2 (1年4カ月)	2011.4 (1年6カ月)	2011.6 (1年8カ月)	2011.8 (1年10カ月)	2011.11 (2年1カ月)	
アサリ	試験区	×	×	×	×	2	5	5	7	20	12	12	7
	対照区	×	×	×	×	×	×	×	×	3	×	×	×
マテガイ	試験区	×	×	×	×	×	167	118	78	29	×	343	×
	対照区	×	×	×	×	×	78	39	10	×	×	284	×

※ 表中の数値は1m<sup>2</sup>当たりの密度を、「×」は出現しなかったを表す。

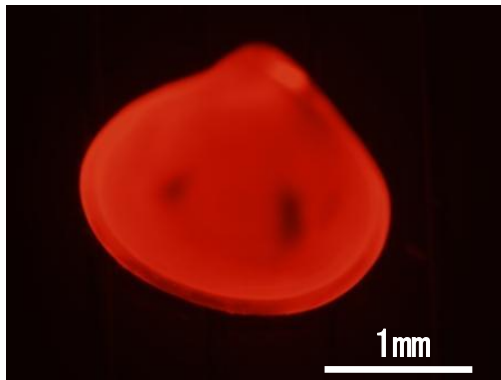


写真 IV-1 ALC 標識を施した稚貝

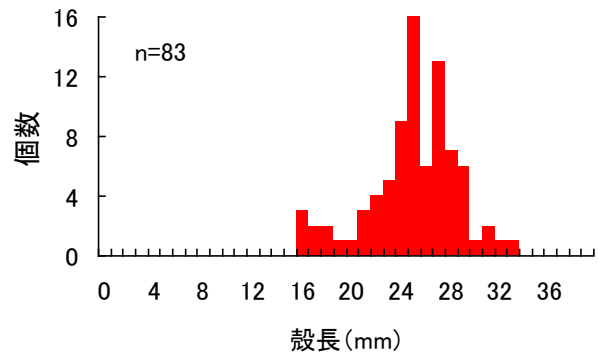


図 IV-11 試験区で再捕したハマグリ殻長のヒストグラム

## カキ殻の使用量と鋤き込み深さ

カキ殻の使用量は造成面積 1,000m<sup>2</sup> 当たり 500m<sup>3</sup> 以上、鋤き込む深さは 50cm 程度を目安として計画する。

### 解説:

造成面積 1,000m<sup>2</sup> 当たり 500m<sup>3</sup> のカキ殻を鋤き込んだ本試験では、カキ殻の鋤き込み量は場所により異なり(表 IV-6)、平面的にも鉛直的にもモザイク状になっていた。

試験区においては、対照区に比して、上層から下層に深くなるに従い、底質、底生生物相ともに大きな差はなくなるものの、深さ 30cm 層までは COD が低く(図 IV-12)、汚濁指標種(図 IV-13)が少ないなど底質改善効果が認められた。

また、鋤き込み深さの平面分布をコアサンプリングにより調べたところ、いずれの場所でも深さ 30cm までは達していたが、カキ殻の鋤き込み量は均一ではないため、少なくとも 30cm 層までの底質改良を確実に実施するには海上作業の施工精度を考慮し、深さ 50cm 程度を目安とするのが妥当である。

表 IV-6 試験区に鋤き込まれた層別のカキ殻量(m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>(造成面積))

層	St. A	St. B	St. C
上層	0.040±0.026	0.094±0.068	0.056±0.042
中層	0.034±0.052	0.049±0.054	0.047±0.043
下層	0.057±0.057	0.080±0.054	0.057±0.044

※ St. A~Cは目視により、St. Aはカキ殻の鋤き込み量が平均的な場所、St. Bはカキ殻量が比較的多い場所、St. Cはカキ殻量が比較的少ない場所を選んだ。

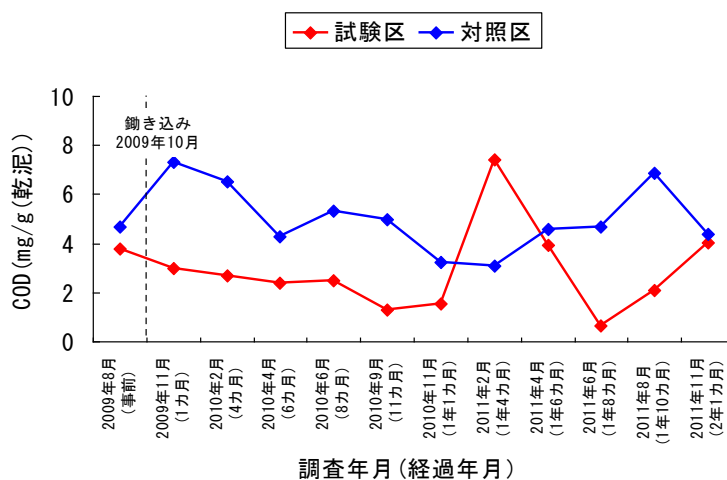


図 IV-12 試験区と対照区の下層(干潟表面から深さ 20~30cm の範囲)における COD の推移

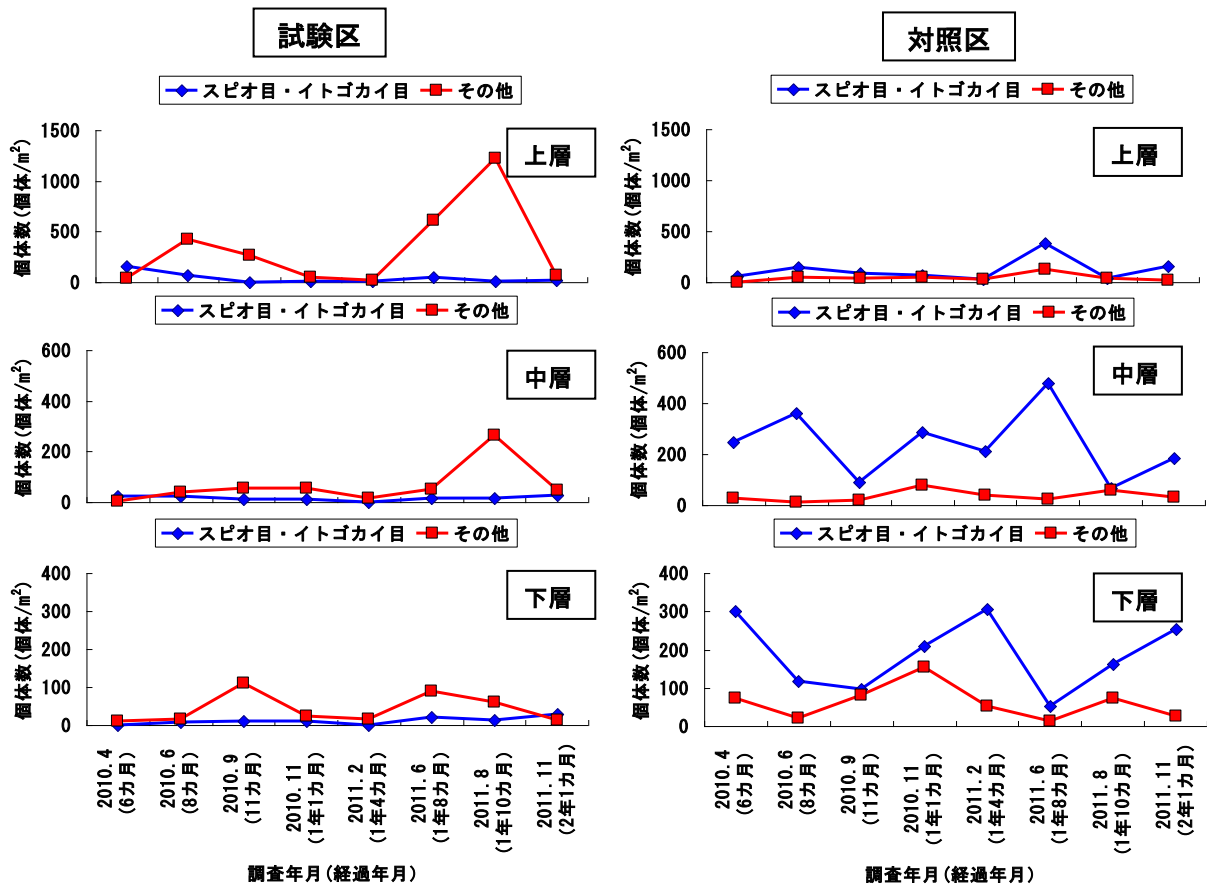


図 IV-13

試験区と対照区の各層で出現した汚濁指標種(スピオ目・イトゴカイ目)とその他の生物の個体数の推移  
 ※ 上層：干潟表面～深さ 10cm の範囲、中層：干潟表面から深さ 10～20cm の範囲、下層：干潟表面から深さ 20～30cm の範囲

## 効果範囲

鋤き込んだカキ殻が周辺海底に生息する底生生物に与える効果の範囲は、試験区の縁辺から 5m 程度の範囲内である。

### 解説:

カキ殻は試験区の外側にはほとんど拡散しておらず、鋤き込み 1 年 8 カ月後の 2011 年 6 月に、流れ方向に沿って試験区縁辺から 5m、10m、15m 離れた地点で粒度組成（カキ殻を含む）を調べた結果でも、カキ殻を含む粒径 2mm 以上の底土はほとんど見られなかった（図 IV-14）。ORP については、試験区内で +42mV、試験区から 5m で +37mV、10m で -125mV、15m で -180mV となり、IL は試験区内で 1.7%、試験区から 5m 以上離れると 3.1~3.6%、COD は試験区内で 2.5mg/g（乾泥）、試験区から離れるにつれて値が大きくなり、15m では 21.5mg/g（乾泥）となった。

底生生物については（図 IV-15）、試験区内ではホトギスガイが 47 個体/m<sup>2</sup> 見られたが、試験区から 5m で 10 個体/m<sup>2</sup> 出現したものの、それ以上離れると全く見られなくなった。アサリは試験区内及び 5m では 10 個体/m<sup>2</sup> 確認されたが、10m、15m では見られなかった。汚濁指標種であるスピオ科、イトゴカイ科は、試験区内部では 50 個体/m<sup>2</sup> と少なかったが、試験区から 5~15m 離れた地点では 180~340 個体/m<sup>2</sup> と多かった。端脚目は試験区内では 753 個体/m<sup>2</sup> であったが、試験区から 15m 離れた地点では 180 個体/m<sup>2</sup> と少なかった。十脚目については試験区内とその周辺において、顕著な差は見られなかった。

以上のことから、カキ殻の鋤き込みが周囲の底生生物に与える効果の範囲は試験区の縁辺から 5m 程度の範囲内であると考えられた。

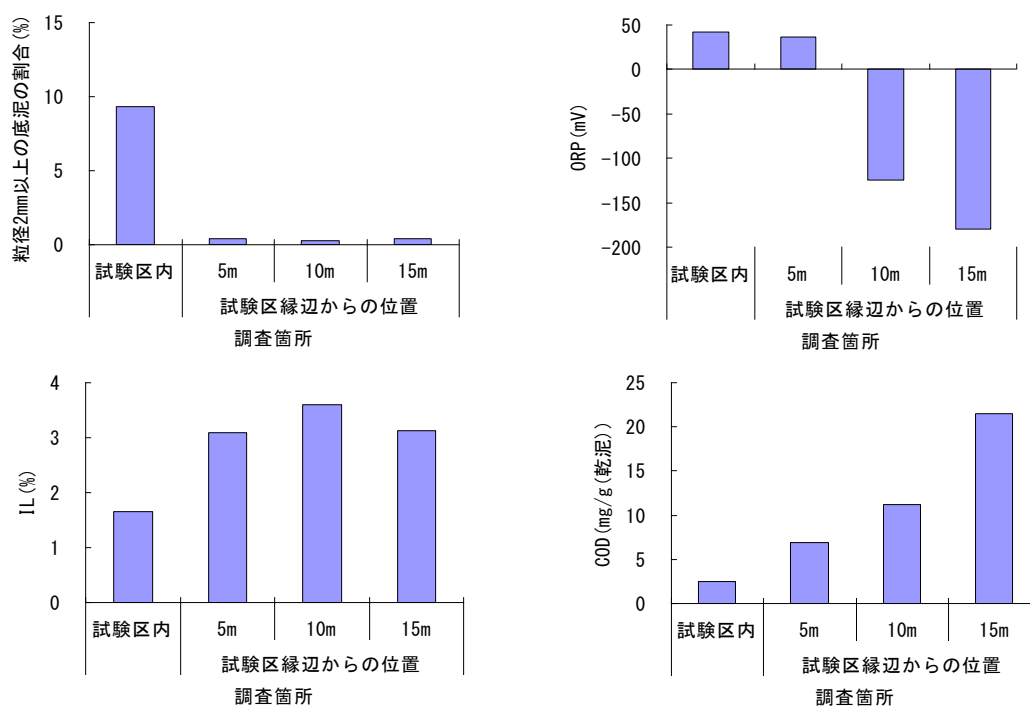


図 IV-14

鋤き込み 1 年 8 カ月後の 2011 年 6 月に調べた試験区内、試験区縁辺から 5m、10m、15m の粒径 2mm 以上の泥底の割合、ORP、IL、COD の測定結果



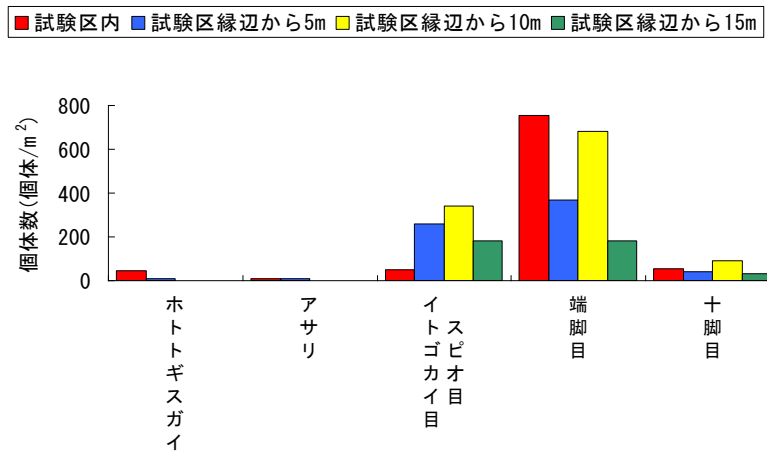


図 IV-15

鋤き込み1年8カ月後の2011年6月に調べた試験区内、試験区縁辺から5m、10m、15mの主な底生生物の個体数

#### 4) 施工方法

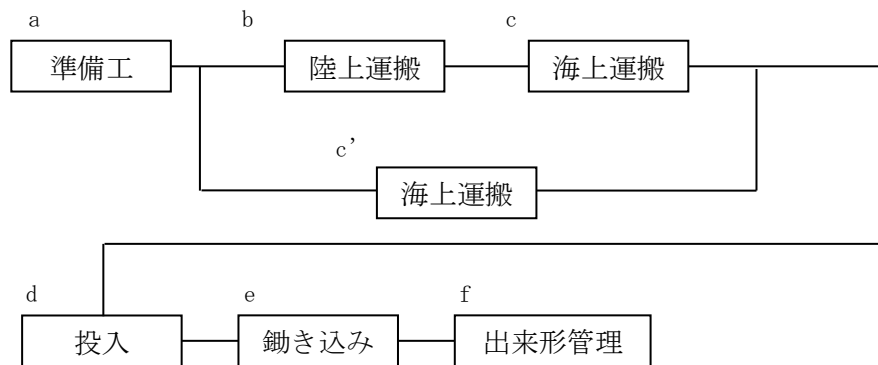


図 IV-16 標準的な施工フロー

##### a 準備工

カキ殻を投入するにあたり、事前に海底地形を把握するため深浅測量を行う。また、以前に調べられた資料がある場合は、それを利用することもできる。

投入場所の位置出しは GPS を使用して行い、区域表示は旗竿等を基点及び区域境界に設置する。



▲区域表示

##### b 陸上運搬

陸上のカキ殻集積場のカキ殻を使用する場合には、トラック等により岸壁等の積み込み場所まで運搬する。



▲集積されたカキ殻

##### c 海上運搬

岸壁等の積み込み場所に運搬されたカキ殻を、ガットまたはバケットで岸壁に接岸させた作業船に積み込む。なお、作業船は投入場所の水深、運搬数量、経済性等により、適切な規格のものを選定する。

海中のカキ殻集積場のカキ殻を使用する場合は、作業船のガット等により積み込んで運搬する。

※ 干潮時には作業船が投入場所へ入れないことも考えられるため、現地の潮汐を調べて工程を検討する。



▲カキ殻の積込

##### d 投入

カキ殻の投入は、レッド等を用いて、施工場所の水深を確認しながら、極端な凹凸が出来ないように行う。



▲運搬（海上）

### e 鋤き込み

カキ殻と原地盤の鋤き込みは、作業船上に積載したバックホウ等(本実証試験では先端にツインヘッドを装着したものを使用)により行う。

濁りの拡散防止が必要な場所での鋤き込み作業には、汚濁防止膜を展張する。

### f 出来形管理

出来形管理は、カキ殻投入後及び鋤き込み後に深淺測量等によって実施する。底土表面の起伏の許容範囲は、カキ殻投入後が0～+50cm、鋤き込み後は±50cmを目安とする。



▲カキ殻の投入



▲汚濁防止膜の展張



▲カキ殻の鋤き込み

#### 【参考 ツインヘッドによるカキ殻の鋤き込み工法】

吉井川河口干潟における実証試験では、締め固めにより硬くなった原地盤にカキ殻を攪拌し鋤き込むために、先端にツインヘッド(株)三井三池製作所製)を装着したバックホウを使用する工法を採用した。その結果、カキ殻を層厚50cmの計画で施工したところ、深さ30cm以深まで確実に鋤き込むことを確認した。このことから、ツインヘッドを使用した工法がカキ殻の鋤き込みには有効であると考えられた。

ただし、対象とする原地盤の硬さやコスト等を勘案し、さらなる効果的な工法の検討も必要である。



ツインヘッド



鋤き込まれたカキ殻

## 5) 効果の確認方法

カキ殻の鋤き込み後は、底質環境の変化、底生生物をはじめとした生物相の変遷をモニタリングにより検証する。

### 解説:

干潟は、空気との暴露と冠水を繰り返すことにより、特有の物理環境条件の下で特異な生態系が形成されるので、施工後、一定期間継続して調査を行う必要がある。効果の評価方法としては、施工前の干潟の状態、対照区等との比較を行うほか、水産用水基準等の各種環境基準により定められた項目を参考にしながら、経時的な変化を追跡する。

調査時期、調査回数については、干潟は波浪等による影響を受けやすく、不安定な環境にあるので、施工後1年程度は季節毎に四季を通じて4回/年の頻度<sup>44)、45)</sup>で実施することが望ましい。また、施工後2年目以降については、年2~4回の頻度で調査を一定期間行い、モニタリングにより効果を検証しつつ、課題をフィードバックさせて順応的に管理を行うことが重要である(表IV-7)。

表 IV-7 効果を確認するための調査項目と調査頻度

調査項目	目的	調査時期		必要項目
		施工後1年程度	施工後2年目以降	
底質環境	粒度組成 (MCを含む)	2~4回/年	1~2回/年	◎
	水深			◎
	砂面変動			◎
	流況	1~2回/年	1回/年	
	透水性			
	COD	4回/年	2~4回/年	◎
	TOC (全有機炭素)			
	TS			◎
	ORP			◎
	pH			
IL	◎			
泥温	◎			
色・臭気	◎			
水質環境	水温	4回/年	2~4回/年	
	塩分			
	DO			
生物調査	底生生物 (多様度を求める)	4回/年	2~4回/年	◎
	魚介類			
	他 (鳥類) 等			

## 6) 留意点

干潟の地形は、供給土砂量や流況・波浪の変化等により、絶えず変化している。干潟生態系は、このような流動的な環境の下で成立していることから、施工前に干潟の成因や干潟を特徴づける環境要素を大まかに把握しておくことが重要であり、干潟及びその周辺での地形、流況、河川流量等の観測記録や過去の文献等を整理した上で調査計画を立てることが望ましい。

(2) 沖合浅場

1) 対象とする海域条件

港湾区域など閉鎖性海域で流れが停滞し、シルト、粘土分の割合が多く、底生生物が減少している海域を対象とする。ただし、貧酸素水塊が発生する海域では、その対策も併せて検討する必要がある。

解説:

実証試験の海域について

実証試験の海域は、岡山県倉敷市玉島小原地先にある玉島ハーバアイランドや一文字防波堤に囲まれた、およそ基本水準面(CDL)-1.6mの閉鎖的な海域を選定した(図 IV-17)。その詳細は、p. 51のV. 参考資料に示す。

試験区施工前の2009年9月に実施した調査では、底土は95%以上が泥分(シルト・粘土)でORPは-289mVと還元層が発達していた。

底生生物の個体数は840個体/m<sup>2</sup>、湿重量は65.1g/m<sup>2</sup>で(表 IV-8)、多毛類やシズクガイ等の強内湾性の種が優占していた(写真 IV-2)。

また、底質項目からみた有機汚染の程度は、p. 15の②IL、TS、MC、H'から求める合成指標と④IL、TS、MCから求める合成指標で試算した結果、前者は0.25、後者は0.53で正の値となり、汚染された底質と判定された。

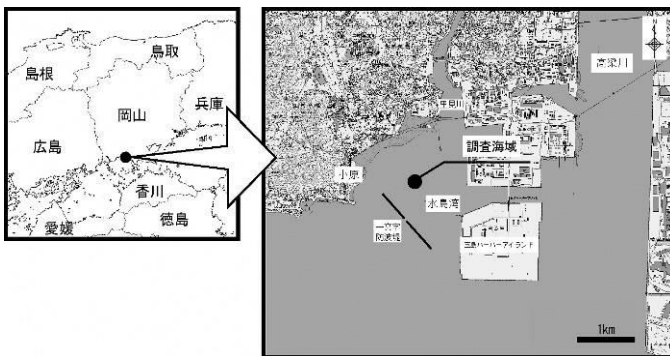


図 IV-17 岡山県倉敷市玉島小原地先

表 IV-8 岡山県倉敷市玉島小原地先の環境と底生生物(2009年9月実施)

水質(海底上-0.1mで測定)				
水温(°C)	塩分	DO(溶存酸素量)(mg/L)	濁度(mg/L)	クロロフィルa(mg/L)
25.7	31.6	4.1	9.0	11.6
底質				
IL(%)	COD(mg/g(乾泥))	ORP(mV)	TS(mg/g(乾泥))	MC(%)
8.8	16.37	-289	0.31	96.8
底生生物				
出現種類数(目数)	個体数(個体/m <sup>2</sup> )	湿重量(g/m <sup>2</sup> )	H'	
18	840	65.1	3.27 <sup>※)</sup>	

※ 底生生物群集の多様度(H')は、2009年9月調査の分析レベルが「目」であったため、「種」まで実施した2010年8月の対照区の結果を使用し参考値として試算した。



写真 IV-2 試験区施工前の調査で確認された底生生物(多毛類など)

### 実証試験の方法について

2009年12月に小原地先の32m×32mの範囲に計画敷設厚50cmでカキ殻を敷設した試験区を、西側に約55m離れた地点に同面積の対照区を設置した(図 IV-18)。2010年1月～2011年11月までの期間、両区で底質環境、底生生物に係るモニタリング調査を原則として四季を通じて行ったほか、底生生物が多様となる水温約20℃の時期に実施した。

カキ殻敷設から1年4カ月後の2011年4月に、試験区周辺の地盤高を測深器により精査したところ、原地盤より20～50cm高くなっており、30cm程度の凹凸が生じていた(図 IV-18)。また、原地盤はシルト・粘土が95%以上を占める軟弱地盤であったが、敷設2年後のカキ殻の原地盤へのめり込み量(原地盤とカキ殻の混合層の深さ)は、10cm程度であった。

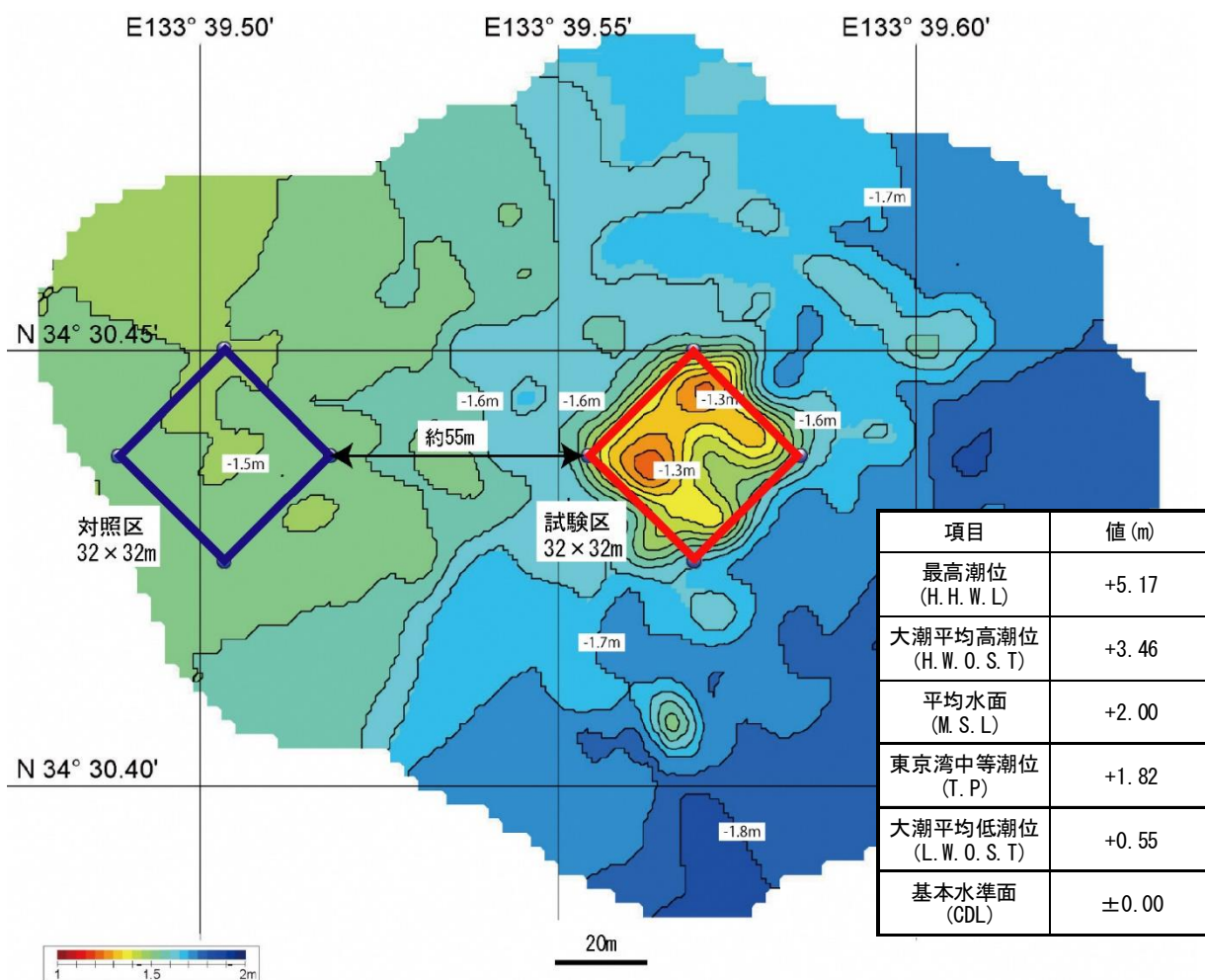


図 IV-18 試験区とその周辺で行った深浅測量(敷設1年4カ月後)  
 図中の数値は、基本水準面 (CDL) からの高さを表している

## 2) 使用する材料

「カキ殻の有効利用に係るガイドライン(平成 18 年 6 月 岡山県)」による品質管理基準(表 IV-9)を満たした全形カキ殻(粉碎していないカキ殻)を使用する。

### 解説:

潮間帯(干潟)及びそれに続く極浅海域と同様に、使用するカキ殻は、その表面に付着した身肉の残滓や付着生物が除去されたものを原則とし、底質の水産用水基準<sup>37)</sup>を基に定めた「カキ殻の有効利用に係るガイドライン(平成 18 年 6 月 岡山県)」による品質管理基準に適合した全形カキ殻を使用するものとする。なお、2~3 分割程度のカキ殻は、全形カキ殻と同等の効果があることから、同様に扱うこととする。

表 IV-9 カキ殻の品質管理基準<sup>37)</sup>

物質	基準値
COD <sub>OH</sub> (アルカリ性法)	20mg/g(乾泥)以下
硫化物	0.2mg/g(乾泥)以下
ノルマルヘキサン抽出物	0.1%以下(1,000mg/kg以下)

### 3) 底質改良手法の考え方

海底にカキ殻を敷設することで新たな生物生息層が形成され、底生生物が増大し、バイオターベーションによる底質改善が行われる。また、カキ殻敷設によって底泥の巻上げによる再懸濁が抑制されて透明度が向上し、付着藻類や海藻類が着生し、さらに生物相が多様化する(図 IV-19)。

#### 解説：

カキ殻を海底に敷設することによって、表面積が大きく複雑な薄層構造等を有する新たな生物生息層が形成され(図 IV-20)、様々な底生生物が着底、増殖する。さらに、底生生物によるバイオターベーションの活性化により底泥中の有機物が除去されて底質が改善される。また、カキ殻の敷設により、波浪などの外力による底泥の再懸濁が抑制され、底生生物の餌料となる付着珪藻や海藻類の生育が促進<sup>46)</sup>される。

加えて、底生生物を餌料として利用するイダコやカレイ類の他、マナモコ等の水産有用種が増集、増加して、その活動が底質改善に役立ち<sup>47)、48)</sup>、これらの水産有用種が漁獲によって系外へ持ち出されることにより、物質循環が促進される。

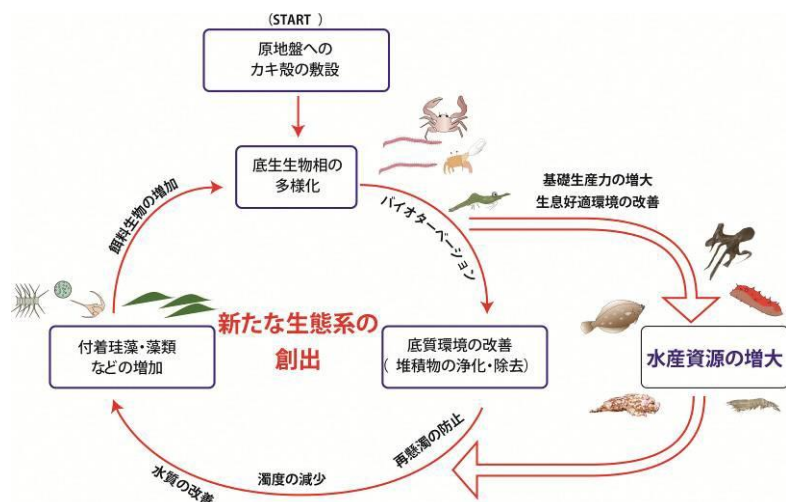


図 IV-19 沖合浅場の改善のメカニズム

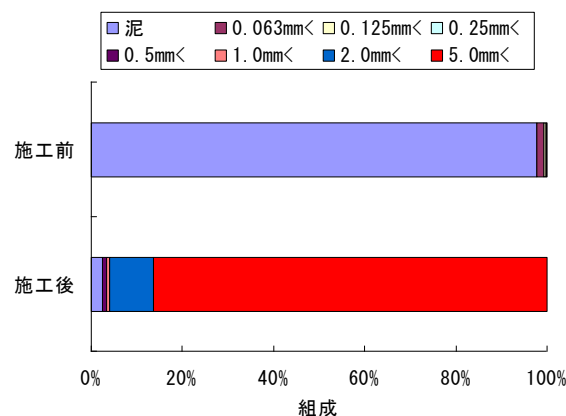


図 IV-20 試験区の施工前と施工後の粒度別による底泥の重量百分率(%)



#### a. カキ殻敷設による底生生物相の多様化

試験区と対照区の上層(海底表面から深さ 10cm までの範囲)における底生生物相の変化をそれぞれ図 IV-21、図 IV-22、写真 IV-3 に示す。

試験区での出現種数は、64~117 種で推移しており、敷設 1 年 4 カ月後の 2011 年 4 月には 117 種と最多となったが、対照区は 6~51 種で、調査期間を通じて試験区が対照区よりも 20~78 種多かった。

試験区の個体数は、工事の影響のためか敷設 1 カ月後の 2010 年 1 月では大きく減少したが、敷設 4 カ月後の 2010 年 4 月には対照区と同程度に回復し、その後、季節的な増減はあるものの、時間の経過とともに増加し、敷設 1 年 6 カ月後の 2011 年 6 月に 5,935 個体/m<sup>2</sup> と最大になり、調査期間中、敷設直後の 2010 年 1、2 月を除いて対照区よりも 1.7~46.7 倍多かった。対照区の個体数は、調査期間中、57~2,015 個体/m<sup>2</sup> で推移していた。また、試験区ではウロコムシ科、サシバゴカイ科等(多毛綱)やフトウデネジレカニダマシ、シワオウギガニ等(軟甲綱十脚目)が主に出現したのに対し、対照区ではドロココエビやドロクダムシ科等(軟甲綱端脚目)、スピオ目やイトゴカイ目等(多毛綱)が目立った。

両区の底生生物の湿重量は、敷設 1 カ月後の 2010 年 1 月までは大きな差はなかったが、それ以降は調査期間を通じて試験区が対照区よりも多かった。敷設 8 カ月後の 2010 年 8 月には、試験区における湿重量は 1,143.5g/m<sup>2</sup> と最大に達し、対照区(40.1g/m<sup>2</sup>)との差は 28.5 倍に及んだが、これは敷設 4 カ月後からユキミノ属(二枚貝綱)やカタユウレイボヤ、スジキレボヤ(ホヤ綱)等の大型生物が急増したためである。その後、時間の経過とともに底生生物の種組成が変遷し、敷設後 1 年前後からこれら大型生物が減少し、*Thelepus* sp. や *Terebella* sp. 等のフサゴカイ科(多毛綱)、トゲワレカラ、オサテワレカラ、アリアケドロクダムシ等の軟甲綱端脚目、テッポウエビ科、フトウデネジレカニダマシ、シワオウギガニ等の軟甲綱十脚目が増大し(図 IV-23)、これによって 2011 年 2 月以降は 288.3~661.3g/m<sup>2</sup> 程度で推移した。

また、調査期間中、対照区では水産有用種はほとんど見られなかったが、試験区ではマナマコ、カレイ科、カサゴ、アイナメ、クロダイなど計 12 種の魚介類が出現した(表 IV-10)。マナマコは敷設 2 カ月後の 2010 年 2 月から調査期間を通じて見られ、全長 2~3cm のカレイ科稚魚は着底期である 4~6 月に出現した。イイダコは 2~4 月、9~11 月に出現し、カキ殻の内側に産卵をした個体も採捕され(写真 IV-4)、敷設したカキ殻は産卵場としても活用されていることが明らかになった。

これらの結果は、カキ殻を海底に敷設することによって、表面積が大きく複雑な薄層構造等を有する新たな生物生息層が形成されたことによるものと考えられた。

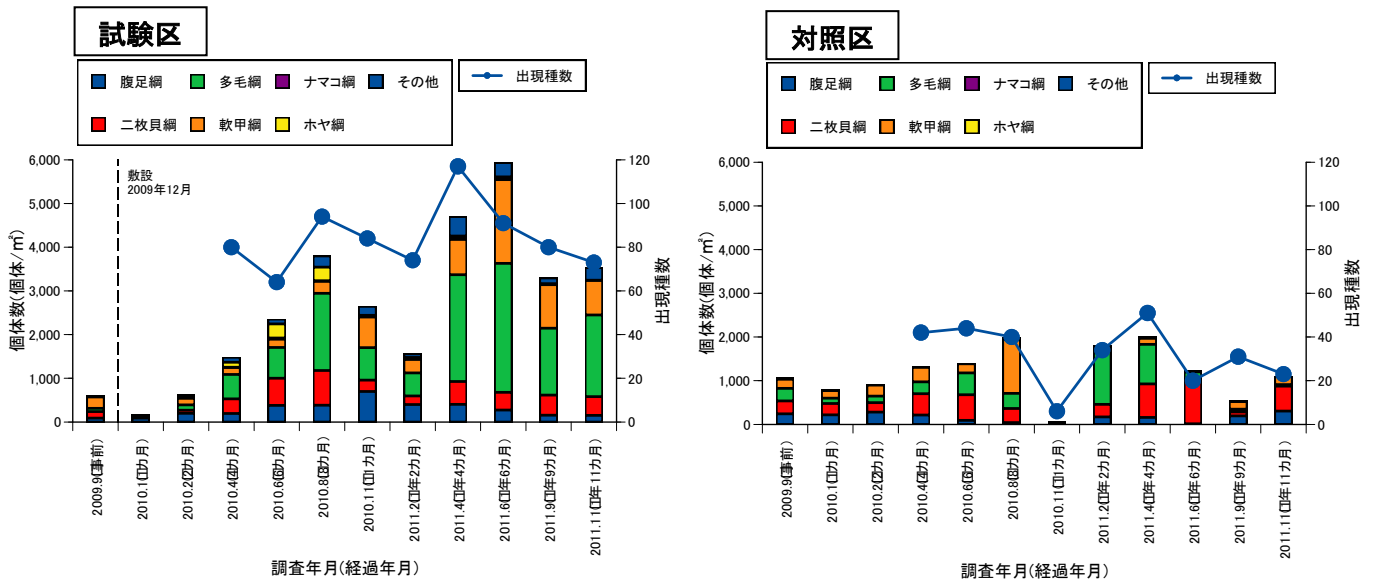


図 IV-21 試験区(左)及び対照区(右)で確認された底生生物の種類数及び個体数の推移

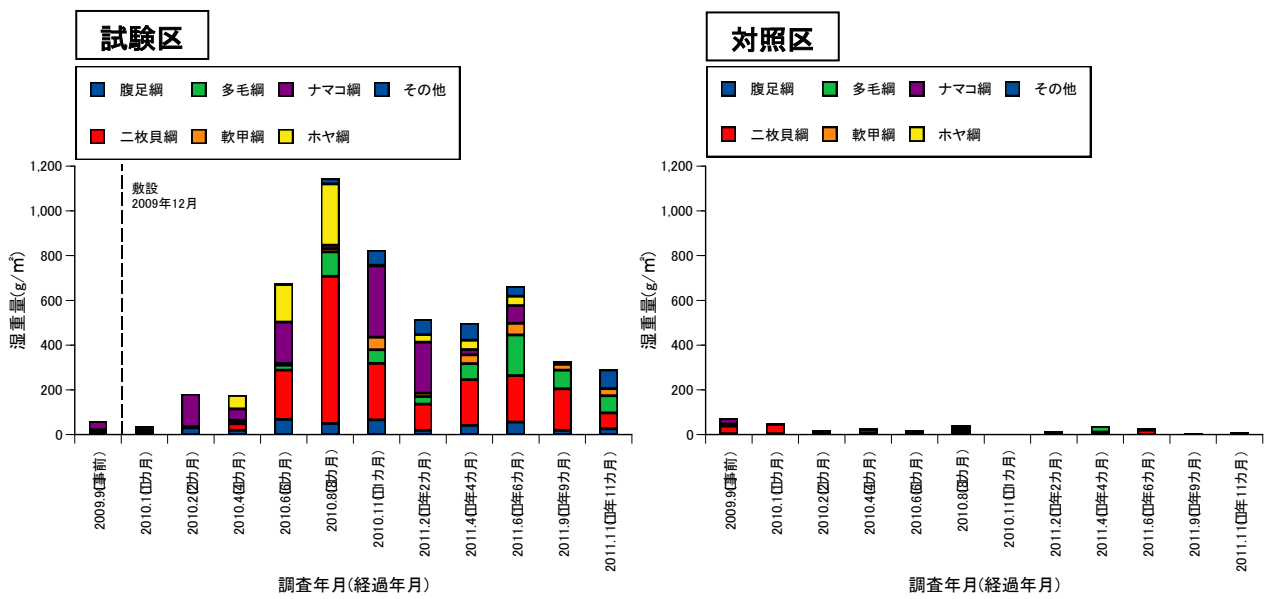


図 IV-22 試験区(左)及び対照区(右)で確認された底生生物の湿重量の推移



写真 IV-3 試験区で確認された底生生物

(左: テッポウエビ類、多毛類、シワオウギガニなど、右: シワオウギガニ)

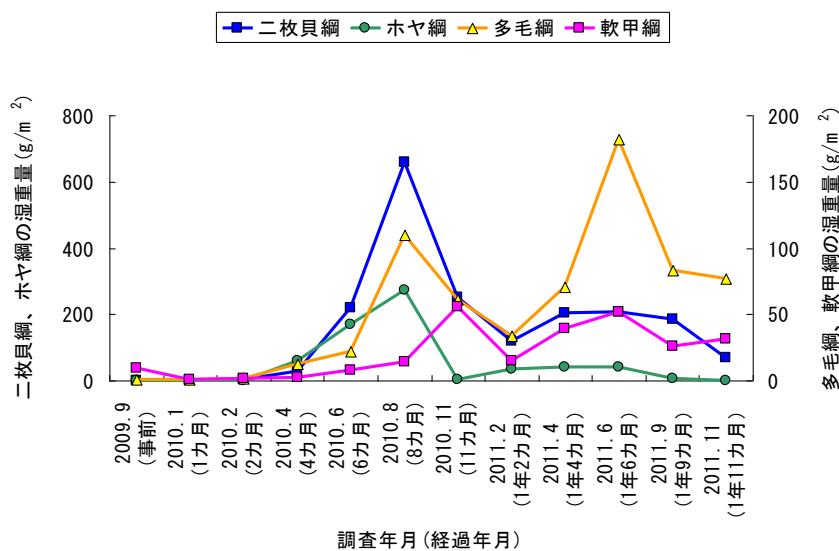


図 IV-23 試験区で確認された二枚貝綱、多毛綱、軟甲綱、ホヤ綱による湿重量の推移

表 IV-10 試験区で確認された水産有用種の出現時期

調査年月 (経過年月)	2010.2 (2ヵ月)	2010.4 (4ヵ月)	2010.6 (6ヵ月)	2010.8 (8ヵ月)	2010.11 (11ヵ月)	2011.1 (1年1ヵ月)	2011.2 (1年2ヵ月)	2011.4 (1年4ヵ月)	2011.6 (1年6ヵ月)	2011.9 (1年9ヵ月)	2011.11 (1年11ヵ月)
マナマコ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
カレイ科 (全長2~3cm程度)		●	●					●			
カレイ科 (全長10cm程度)										●	●
カサゴ								●	●	●	●
アイナメ								●			
クロダイ									●		
マハゼ										●	
ウロハゼ											●
イイダコ	●	●								●	●
マダコ										●	●
テナガダコ										●	
コウイカ科									●		
アカニシ	●									●	

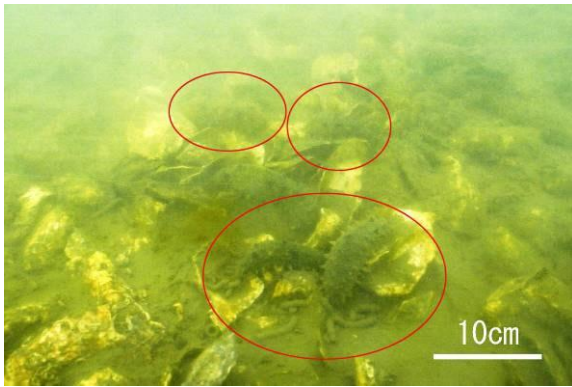


写真 IV-4 2010年4月に試験区で確認されたマナマコ(左上)、カレイ科稚魚(右上)、イイダコ(左下)、カキ殻内側に産み付けられたイイダコ卵(右下)

**b. 底生生物の多様化に伴うバイオターベーションの促進による底質改善**

2011年11月の試験区のORPは、表面では-35mV、内部では-147mV、周辺では-104mVであり、対照区表面の-179mVに比べて良好な値であった(表 IV-11)。また、試験区のTSは、内部では0.10mg/g(乾泥)で対照区の0.11 mg/g(乾泥)とほぼ同値であったが、試験区表層では0.02 mg/g(乾泥)、試験区周辺では0.01mg/g(乾泥)未満で対照区に比べ大幅に改善されていた。

また、堆積物量が多い海域であるにもかかわらず、ほぼ2年間に及ぶ調査期間中、試験区に敷設したカキ殻は堆積物により埋没することなく維持されていた。これは、カキ殻敷設によって増殖したマナマコをはじめ多様な底生生物が摂餌等によって除去したものと考え、次の現地実験により検証した。

表 IV-11 2011年11月に試験区表面、内部、周囲、および対照区で調べたORPとTSの比較

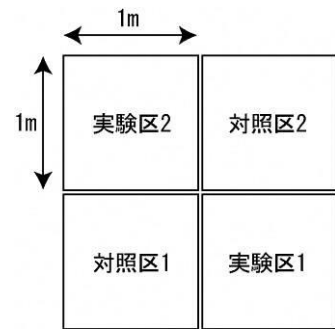
区	試験区 (カキ殻表面)	試験区 <sup>※1</sup> (カキ殻内部)	試験区周囲 (試験区から5mまでの海底表面)	対照区 (海底表面)
ORP (mV)	-35	-147	-104	-179
TS (mg/g(乾泥))	0.02	0.10	0.00 <sup>※2</sup>	0.11

※1 試験区内部は、試験区表面から深さ30cmまでのカキ殻を密閉容器で採集し、その内部の堆積物を調べた。

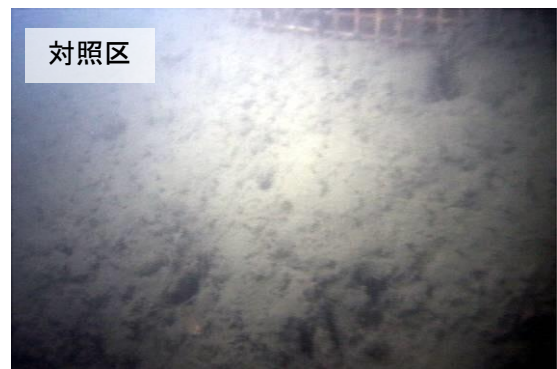
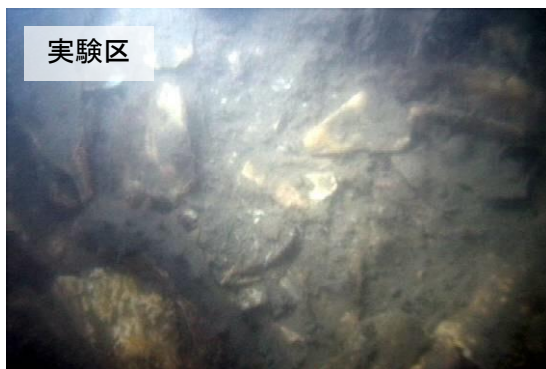
※2 表中の「0.00」は、0.01mg/g(乾泥)未満を表す。

**【ケージによるマナマコの堆積物摂取の現地実験】**

カキ殻を敷設した試験区内に1m×1m、高さ0.3mの目合10mm角のメッシュケージ4個を設置して、その内2個のケージにそれぞれ体長10～14cmのマナマコを5個体収容して実験区とし、残り2個のケージにはマナマコを入れない対照区とした（**図 IV-24**）。57日経過後、それぞれの海底の様子を確認すると、対照区ではカキ殻露出度（投影面積に対してカキ殻が白く見えている割合）が0.1～10.0%であったのに対し、実験区では20.6～34.4%で、両者には有意な差が認められた（**写真 IV-5**、Mann-Whitney's U-test、 $P < 0.05$ ）。また、実験区では海底表面にマナマコの糞が多く散乱しており、マナマコの消化管内容物を調べた結果からも堆積物を直接に摂餌していることが立証された（**写真 IV-6**）。



**図 IV-24**  
ケージ実験での実験区と対照区の配置



**写真 IV-5** マナマコによるケージ実験の57日後の実験区内と対照区内の海底の様子



**写真 IV-6** 実験区のマナマコの消化管

【マナマコやその他の底生生物による堆積物摂取量の推定】

試験区内における年間堆積物量を把握するため、2010年11月～2011年11月の間に試験区内の海底から1m上にセディメントトラップ（直径8.5cm、深さ20cm）5本を順次時期をずらして設置し（1本当たり設置期間55～90日間）、ほぼ1年間（計323日間）の堆積物を得ることができた。これらについて、TN（全窒素）、TP（全リン）、TC（全炭素）を測定し、それぞれ1,000m<sup>2</sup>当たりの年間堆積量に換算したところ、TN：253.9kg、TP：55.5kg、TC：2,037.8kgとなった（表 IV-12）。

試験区に生息したマナマコの同化量と摂餌量について、佐藤ら<sup>48)</sup>（2007）よりマナマコ1個体の同化量を5mgN/日、60mgC/日、倉田ら<sup>49)</sup>（2000）に従い摂餌量を同化量の3倍の15mgN/日、180mgC/日として、試験区内のマナマコの生息量を調査期間中の平均分布密度から4,300個体/1,000m<sup>2</sup>、摂餌日数を230日（活動期である水温15℃以下の年間日数）として試算したところ、試験区全体での同化量はTNで4.9kg/年・1,000m<sup>2</sup>、TCで59.3kg/年・1,000m<sup>2</sup>、摂餌量ではTNで14.7kg/年・1,000m<sup>2</sup>、TCで177.9kg/年・1,000m<sup>2</sup>となった（表 IV-13）。また、敷設11カ月後の2010年11月から敷設1年9カ月後の2011年9月までに行った計4回の底生生物の平均湿重量にP/B比（回転率）「3」<sup>50)</sup>を乗じたものを年間湿重量として、マナマコ以外の試験区に生息した底生生物の同化量を試算したところ、TNで20.7kg/年・1,000m<sup>2</sup>、TCで61.5kg/年・1,000m<sup>2</sup>となった（表 IV-14）。

これらの生物による同化量はTNで計25.6kg/年・1,000m<sup>2</sup>、TCで計120.8kg/年・1,000m<sup>2</sup>であり、年間堆積物量に対してTNで10.1%、TCで5.9%となった（表 IV-15）。

表 IV-12 試験区に堆積した TN、TP、TC の年間堆積量

設置期間		Flux/1,000m <sup>2</sup>		
		TN(kg)	TP(kg)	TC(kg)
2010年11月18日 ～2011年1月15日	(58日間)	38.0	9.1	263.4
2011年2月21日 ～2011年4月20日	(60日間)	6.4	1.8	56.3
2011年4月20日 ～2011年6月14日	(55日間)	40.5	10.1	354.5
2011年6月14日 ～2011年9月12日	(90日間)	141.9	26.5	958.8
2011年9月12日 ～2011年11月11日	(60日間)	27.0	8.1	404.8
合計323日間		253.9	55.5	2,037.8

表 IV-13 試験区に蠕集したマナマコによる TN、TC の同化量と摂餌量

成分	試験区全体の同化量 (kg/年・1,000m <sup>2</sup> )	試験区全体の摂餌量 (kg/年・1,000m <sup>2</sup> )
TN	4.9	14.7
TC	59.3	177.9

※1 マナマコ（平均湿重量100g、水温5～20℃、摂餌日数230日）の1個体の1日当たりの同化量は5mgN、60mgC、摂餌量15mgN、180mgCとした。

※2 マナマコの生息数は、期間中の平均値4,300個体/試験区とした。

表 IV-14 試験区に生息したマナマコ以外の底生生物による TN、TC の同化量<sup>51)、52)、53)</sup>

項目	底生生物の生息量		底生生物1kg当たりの成分		底生生物の年間同化量	
	平均湿重量 <sup>※1)</sup> (kg・1000m <sup>2</sup> )	年間湿重量 (kg/年・1000m <sup>2</sup> )	TN (kg)	TC (kg)	TN (kg/年・1000m <sup>2</sup> )	TC (kg/年・1000m <sup>2</sup> )
式	a(a')	b(b')=a(a')×3 <sup>※3)</sup>	c	d	e=b×c	f=b'×d
腹足綱 <sup>※2)</sup>	13.0(30.5)	39.1(91.6)	0.02	0.02	0.8	2.2
二枚貝綱 <sup>※2)</sup>	55.2(129.2)	165.5(387.5)	0.02	0.02	3.3	9.3
多毛綱	111.5	334.5	-	0.06	5.4	19.7
軟甲綱	21.2	63.5	0.03	0.06	1.8	3.6
ナマコ綱	0.2	0.5	0.01	0.04	0.0	0.0
ホヤ綱	0.6	1.7	0.01	-	0.0	0.1
その他	196.2	588.5	0.02	0.05	9.4	26.7
合計	489.3	1,467.8	-	-	20.7	61.5

※1 腹足綱、二枚貝綱の平均湿重量、年間湿重量は、貝殻を除いたものであり、括弧内の値が貝殻を含めたものである。

※2 腹足綱、二枚貝綱の貝殻量は、アサリ、アゲマキ、イガイ、マガキ、ホタテガイの平均値の57.3%とした。

※3 P/B比は、3とした。

表 IV-15 試験区に生息した底生生物全体(マナマコを含む)による TN、TC の同化量と年間堆積物量に対する割合

成分	マナマコを含む 底生生物の年間同化量 (kg/年・1,000m <sup>2</sup> )	年間堆積物量 (kg/年・1,000m <sup>2</sup> )	年間同化量 /年間堆積量(%)
TN	25.6	253.9	10.1
TC	120.8	2,037.8	5.9

### c. カキ殻敷設による濁りの軽減効果

試験区を設置した海域は濁りの高い海域であり、対照区では 2010 年 4 月から濁度が増加し始め、8 月には 60mg/L を超えるが、試験区では周年を通じて 1~6mg/L 前後と著しく低く推移した(図 IV-25)。2010 年 11 月 8 日から 2011 年 1 月 15 日まで 69 日間、試験区と対照区の海底から 1m 上と 0.5m 上、0m (海底直上) にセディメントトラップを設置して堆積物を観測したところ、1m では両区に差が無かったのに対し、0.5m、0m では対照区が試験区よりもそれぞれ 1.5 倍、2.1 倍多かった(表 IV-16)。これは、カキ殻敷設により波浪等に伴う再懸濁が抑制されたためであると考えられた。実際に、試験区では、カキ殻を敷設して数カ月後、透明度の向上によってコンブ類、ミル、アオサ属、ツルモ等の海藻類の植生が確認され、カキ殻は付着珪藻や海藻類の付着基質としても大きな役割を果たしていた(写真 IV-7)。

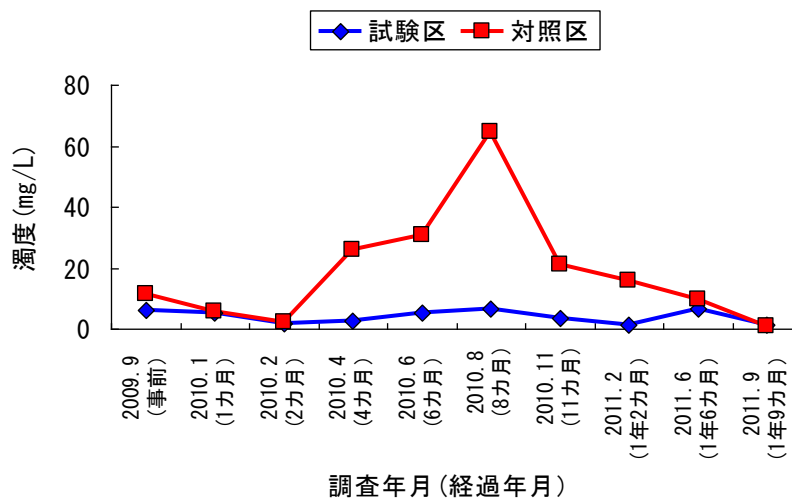


図 IV-25 試験区と対照区の底層の濁度の推移

表 IV-16 セディメントトラップによる浮遊物の堆積量

海底からの高さ(m)	69日間の堆積物の平均重量(g(乾泥))		
	試験区 (A)	対照区 (B)	(B/A)
1.0	83.0	88.3	1.1
0.5	65.5	98.8	1.5
0	67.0	138.0	2.1



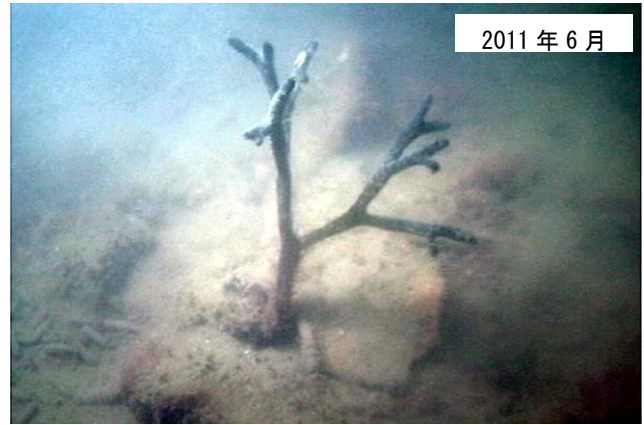


写真 IV-7 カキ殻に着生した海藻類  
(上左：コンブ類、上右：ミル、下左：アオサ属、下右：ツルモ)

## 敷設の厚さ

カキ殻の敷設の厚さは、30～50cm程度を目安として計画する。

### 解説:

カキ殻表面から深さ 10cm までの試験区上層の底生生物量は、出現種数では 61 種、個体数では 2,912 個体/m<sup>2</sup>、湿重量では 526.5g/m<sup>2</sup>であり、対照区上層よりも出現種数では 35 種、個体数では 2.6 倍、湿重量では 28.1 倍多かった。また、カキ殻表面から 10cm より深い中層、下層については、試験区が対照区よりもそれぞれ出現種数では 18～20 種、個体数では 2.3～3.4 倍、湿重量では 2.8～3.2 倍多く、深さ 30cm までは明らかに効果が見られた(表 IV-17)。このため、敷設の厚さ 30cm を確保する必要があるが、カキ殻の計画上の敷設の厚さは、海上作業の施工精度を勘案し、30～50cm 程度を目安とするのが妥当である。

また、均一の厚さではなく海底に起伏があることで過流が発生するなど物理的な環境改善になり、モザイク構造を生み出す不均一性も重要であると考えられる。

表 IV-17 試験区及び対照区の層別による底生生物の平均出現種数、平均個体数、平均湿重量の比較

層	出現種数			個体数(個体数/m <sup>2</sup> )			湿重量(g/m <sup>2</sup> )		
	試験区(a)	対照区(b)	(a-b)	試験区(a)	対照区(b)	(a/b)	試験区(a)	対照区(b)	(a/b)
上層	61	26	35	2,912	1,139	2.6	526.5	18.7	28.1
中層	35	16	20	771	332	2.3	57.2	18.0	3.2
下層	26	8	18	486	143	3.4	22.9	8.2	2.8

## 効果範囲

カキ殻の敷設が周辺海底に生息する底生生物に与える効果の範囲は、試験区の縁辺から 5m 程度の範囲内である。

### 解説:

試験区外におけるマナマコの分布は、試験区縁辺部から 5m までの範囲で 0.16 個体/m<sup>2</sup> で、5m 以上離れると 0.04 個体/m<sup>2</sup> 以下に著しく減少した (図 IV-26)。また、カレイ科稚魚は主に着底期に出現したが、試験区から 1m 以内の縁辺部にのみ 0.04 個体/m<sup>2</sup> の密度で分布しており、それより離れると全く見られなかった。イダコについても、試験区から 5m までの範囲に限り 0.03 個体/m<sup>2</sup> の密度で分布していた。

以上のことから、カキ殻の敷設が周囲の底生生物に与える効果の範囲は、試験区の縁辺から 5m 程度の範囲内であると考えられた。

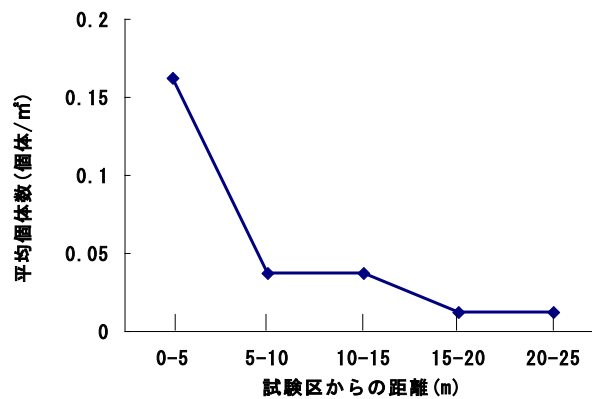


図 IV-26 試験区周辺で確認されたマナマコの分布密度

#### 4) 施工方法

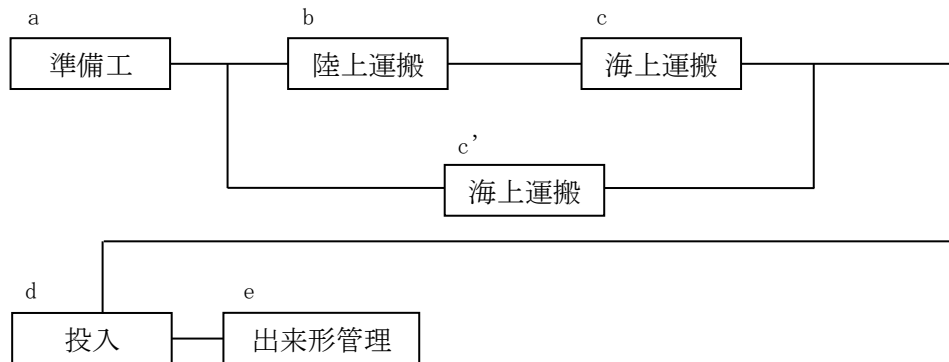


図 IV-27 標準的な施工フロー

##### a 準備工

カキ殻を投入するにあたり、事前に海底地形を把握するため深淺測量を行う。また、以前に調べられた資料がある場合は、それを利用することもできる。

投入場所の位置出しは GPS を使用して行い、区域表示は旗竿等を基点及び区域境界に設置する。

##### b 陸上運搬

陸上のカキ殻集積場のカキ殻を使用する場合には、トラック等により岸壁等の積み込み場所まで運搬する。

##### c 海上運搬

岸壁等の積み込み場所に運搬されたカキ殻を、ガットまたはバケットで岸壁に接岸させた作業船に積み込む。なお、作業船は投入場所の水深、運搬数量、経済性等により、適切な規格のものを選定する。

海中のカキ殻集積場のカキ殻を使用する場合は、作業船のガット等により積み込んで運搬する。

##### d 投入

カキ殻の投入は、レッド等を用いて施工場所の水深を確認しながら、極端な凹凸が出来ないように行う。

##### e 出来形管理

出来形管理は、カキ殻投入後に実施する。海底表面の起伏の許容範囲は、0～+50cmを目安とする。



▲カキ殻の積込



▲カキ殻の運搬（海上）



▲カキ殻の投入



▲カキ殻の敷設厚の確認

## 5) 効果の確認方法

カキ殻敷設後は、底質環境の変化、底生生物をはじめとした生物相の変遷をモニタリングにより検証する。

### 解説:

底生生物は、移動が少なく底層水や底質環境の影響を受けやすく、とくに閉鎖的な海域では底層の酸素不足が底質の嫌気化や硫化水素の発生を招き、底生生物の生息に重大な影響を与える。効果の評価方法としては、施工前の干潟の状態、対照区等との比較を行うほか、水産用水基準等の各種環境基準により定められた項目を参考にしながら、経時的な変化を追跡する。

調査時期、調査回数については、施工後1年程度は季節毎に四季を通じて4回/年の頻度<sup>44)、45)</sup>で実施することが望ましい。また、施工後2年目以降については、年2~4回の頻度で調査を一定期間行い、モニタリングにより効果を検証しつつ、課題をフィードバックさせて順応的に管理を行うことが重要である(表 IV-18)。

表 IV-18 効果を確認するための調査項目と調査頻度

調査項目	目的	調査時期		必要項目
		施工後1年未満	施工後2年目以降	
底質環境	粒度組成(MCを含む)	2~4回/年	1~2回/年	◎
	水深			◎
	砂面変動			◎
	堆積物の収支			◎
	流況			
	COD	4回/年	2~4回/年	◎
	TOC			
	TS			◎
	ORP			◎
	pH			◎
	IL			◎
	泥温			◎
	色・臭気			◎
	水質環境	水温	4回/年	2~4回/年
塩分				
DO				
生物調査	底生生物(多様度を求める)	4回/年	2~4回/年	◎
	魚介類			

## 6) 留意点

流れが停滞し底土の攪乱が少なく堆積物が多い場所では、海中の懸濁物質によるカキ殻上への堆積が懸念されるため、セディメントトラップ法等により堆積物の量を把握しておくことが望まれる。

なお、本技術は底生生物によるバイオターベーションを利用して底質改善を図るものであるため、塩分躍層等により強固な成層が形成される等の原因により、長期に亘り貧酸素水塊が発生する海域については、まず、その緩和対策を検討する必要がある。

### (3) 沖合深場

#### 1) 対象とする海域条件

島嶼部の島影や沿岸部などの水深 10m 以深の比較的水深が深い海域で、シルト、粘土分の割合が多く底生生物の少ない海域を対象とする。

解説:

#### 実証試験及び事業の海域について

実証試験及び事業の海域は、岡山県備前市日生町大多府島地先の基本水準面(CDL)-12~-14m の海域を選定した(図 IV-28)。その詳細は、p. 72 の V. 参考資料に示す。

実証試験前の 2012 年 11 月に実施した調査では、底土は 96.4%が泥分(シルト・粘土)で AVS は 0.19mg/g(乾泥)であった。底生生物の個体数は 80 個体/m<sup>2</sup>、湿重量では 1.9g/m<sup>2</sup>であり、出現した種類は多毛類が大半を占めるなど強内湾性の種が優先していた(表 IV-19)。また、底質項目から見た有機汚染の程度は、p. 15 の②IL、TS、MC、H' から求める合成指標と④IL、TS、MC から求める合成指標で試算した結果、前者は 0.32、後者は 0.37 で正の値となり、汚染された海域と判定された。

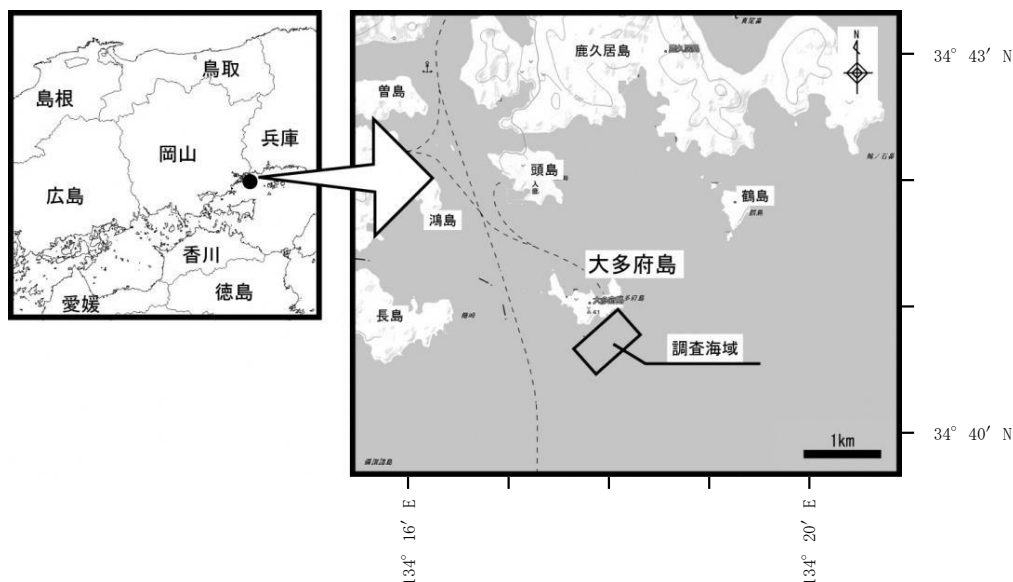


図 IV-28 岡山県備前市日生町大多府島地先

表 IV-19 岡山県備前市日生町大多府島地先の環境と底生生物(2012年11月実施)

水質(海底上-0.1mで測定)				
水温(°C)	塩分	DO(溶存酸素飽和度)(%)	濁度(mg/L)	クロロフィルa(μg/L)
16.5	31.1	96.2	9.7	2.5
底質				
IL(%)	COD(mg/g(乾泥))	AVS(mg/g(乾泥))	MC(%)	中央粒径(μm)
8.5	18.9	0.19	96.4	11.1
底生生物				
出現種類数	個体数(個体/m <sup>2</sup> )	湿重量(g/m <sup>2</sup> )	H'	
7	80	1.9	2.66	

### 実証試験及び事業の方法について

2012年12月、実証試験区（本項では以下、「試験区」という。）として30m×30mの範囲に計画敷設厚50cmでカキ殻を敷設し、東側に約30m離れた同水深の地点に同面積の対照区を設置した。2013年1月～2018年2月までの期間、両区で底質環境、底生生物等に係るモニタリング調査を原則四季を通して行ったほか、底生生物が多様となる水温20℃を上回った時期には頻度を高めて実施した。

さらに、2015年7月から2020年7月までの間、実証試験の成果等を基に、より広範囲にカキ殻を敷設する事業を実施し（本項では以下、「事業区」という。）、その中でも2015年と2017年に敷設した区について、2018年5月から2021年2月までその経過をモニタリングした（図 IV-29）。

2018年4月に、事業区の一部において深淺測量調査を実施した（図 IV-30）ところ、カキ殻の敷設により、原地盤から50cm程度高くなっていることが確認された（図 IV-31）。潮流や浮泥の堆積等の影響を受けるなど凹凸はあるものの、敷設したカキ殻は埋没することなくその形状は維持されていることが確認された。

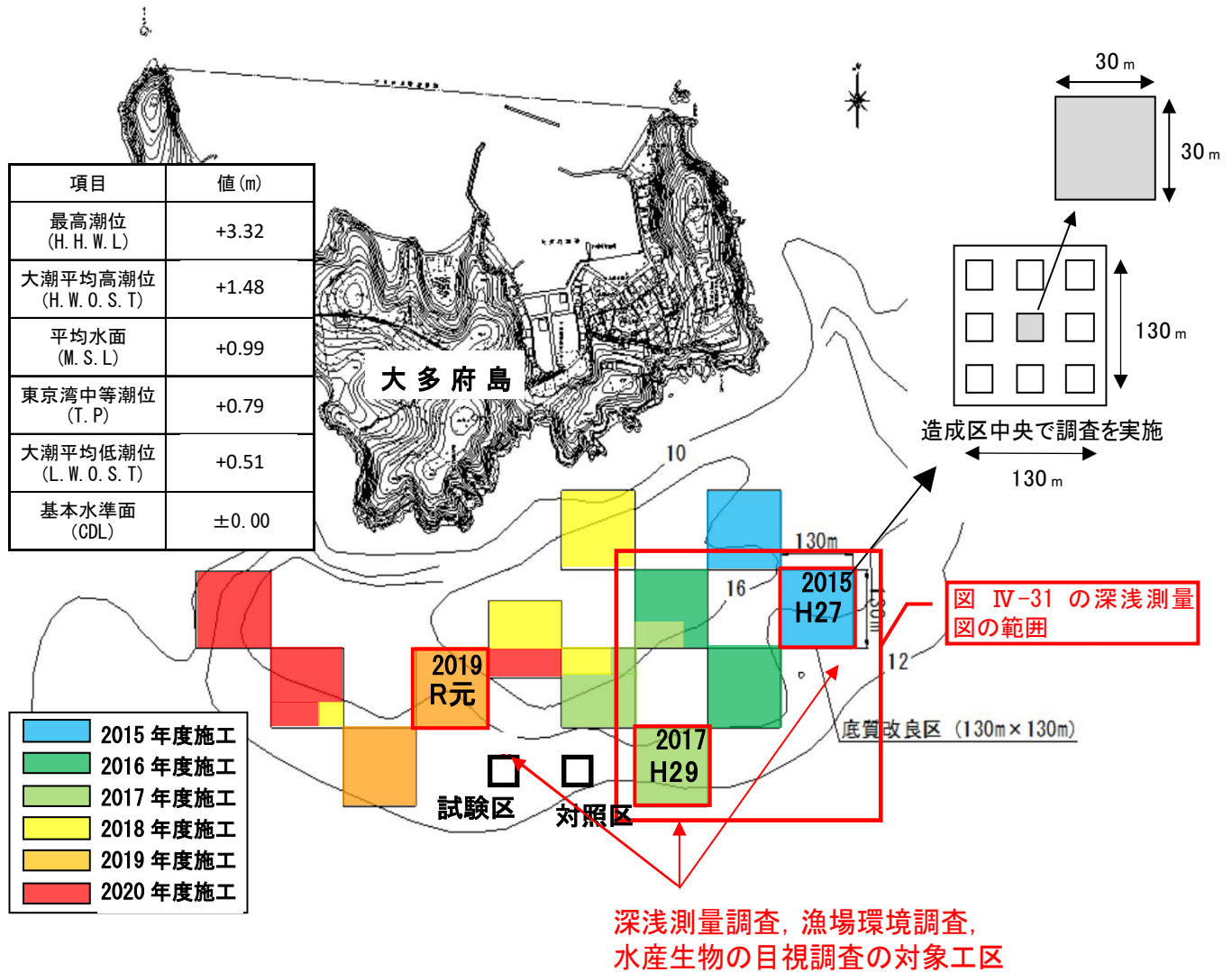


図 IV-29 試験区及び事業区施工位置図

インターフェロメトリ測深機 (2205 SonarSystem, EdgeTech)

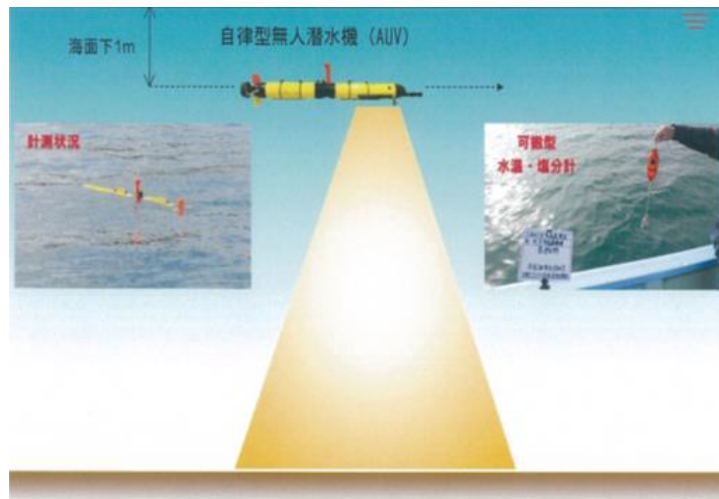


図 IV-30 深浅測量調査の概念図

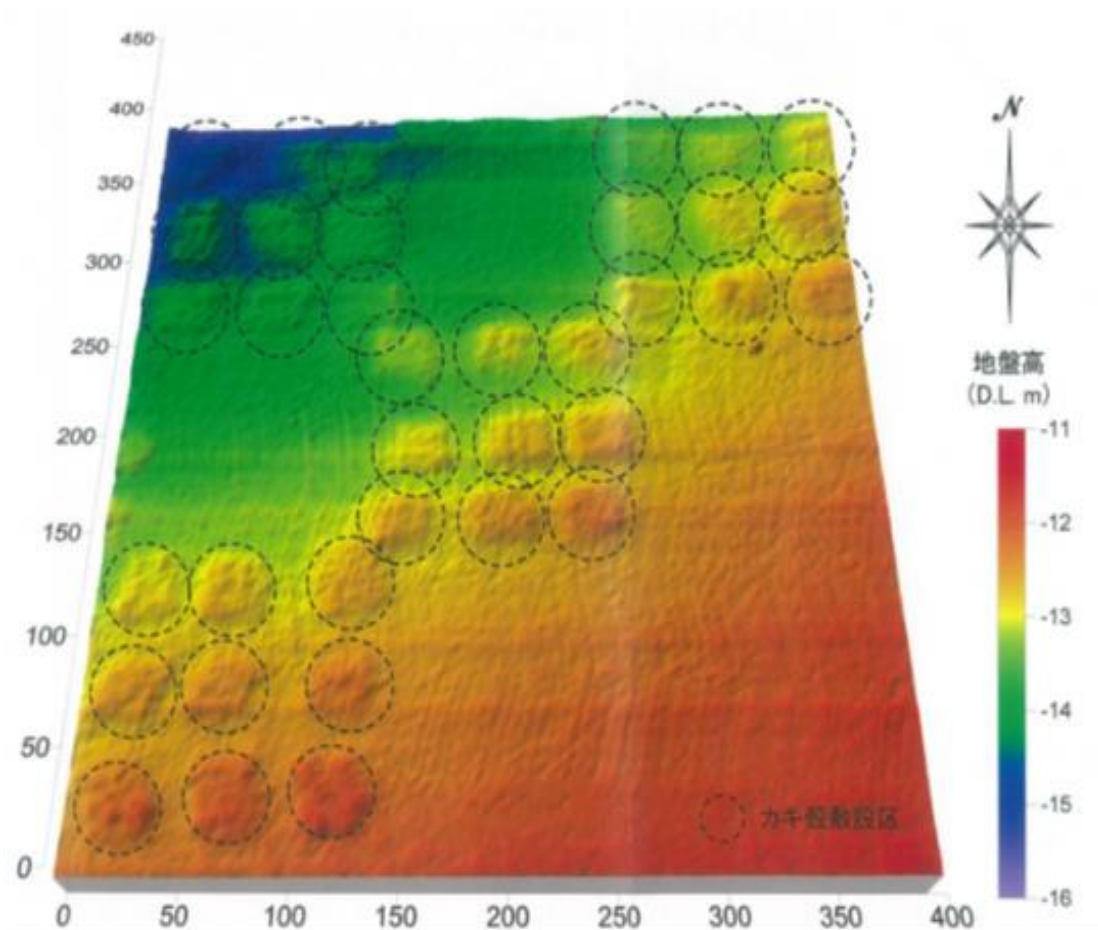


図 IV-31 事業区とその周辺で行った深浅測量結果(敷設1年4ヵ月後)



## 2) 使用する材料

「カキ殻の有効利用に係るガイドライン(平成 18 年 6 月岡山県)」による品質管理基準 (表 IV-9) を満たした全形カキ殻(粉碎していないカキ殻)を使用する。

### 解説：

潮間帯及びそれに続く極浅海域並びに沖合浅場と同様に、使用するカキ殻は、その表面に付着した身肉の残滓や付着生物が除去されたものを原則とし、「カキ殻の有効利用に係るガイドライン(平成 18 年 6 月岡山県)」による品質管理基準に適合した全形カキ殻を使用するものとする。なお、2~3 分割程度のカキ殻は、全形カキ殻と同等の効果があることから、同様に扱うこととする。

### 敷設カキ殻の流動に対する限界掃流速に関する水槽実験

沖合深場に敷設するカキ殻の動態を把握し、海域条件に応じた適地選定に資することを目的として、p. 11 に記載した実験の規模を拡大し、カキ殻の限界掃流速を明らかにする水槽実験を 2013 年に実施した。カキ殻試料、流速計、水中ビデオ及びトラップネットを水槽内に設置し、流れを発生させて限界掃流速を確認した。約 20 cm/s から 70 cm/s 以上で段階的に流速を変化させ、流速毎に底面上 10 cm の流速分布の測定と流されたカキ殻を回収し、それらの形状寸法、重量を測定した。以上の手順を未粉碎及び粉碎カキ殻に対して各 5 回ずつ行った。実験水槽内に設置したカキ殻底面上 10cm の平均流速とカキ殻の平均移動量の関係を図 IV-32 に示した。未粉碎カキ殻は左殻と右殻を混合し用い、左殻殻高が  $101.2 \pm 11.5\text{mm}$ 、右殻の殻高に相当する長さが  $93.0 \pm 11.5\text{mm}$  であった。荒粉碎カキ殻は、カキ殻を荒粉碎し、4mm メッシュのネットで選別し、ネット上に残ったものを使用した。粉碎カキ殻の通過質量百分率 50% の粒径は 20.1mm であった。

未粉碎カキ殻は、平均流速が約 30 cm/s を超えると他のカキ殻との接触が少なく動きやすい箇所からわずかに移動が始まった。さらに、流速が 50 cm/s を超えると大規模な移動が生じた。なお、カキ殻のかみ合わせの違いによると思われる実験ケースごとのばらつきがみられた。

粉碎カキ殻は、流速が約 50 cm/s を超えると急速に移動し、約 80 cm/s を超えると大規模な移動が生じた。ケースごとのばらつきは、未粉碎ケースに比べて小さかった。

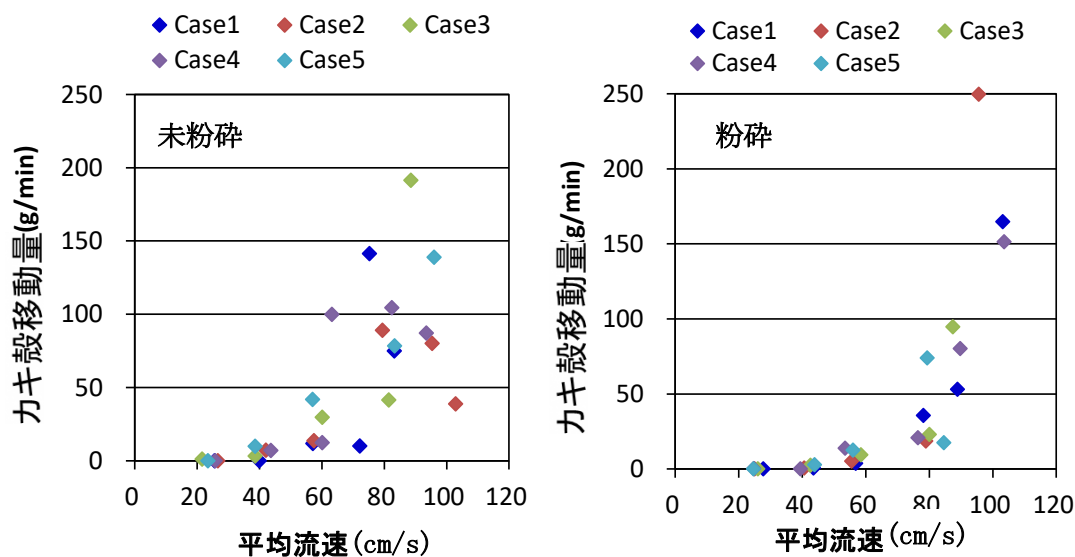


図 IV-32 カキ殻から 10cm の高さにおける平均流速とカキ殻の平均移動量の関係

### 3) 底質改良手法の考え方

海底にカキ殻を敷設することで新たな生物生息層が形成され、底生生物が増大・多様化し、バイオターベーションによる底質改善が行われるとともに、これらの底生生物を餌とする魚介類が増加する。また、カキ殻敷設によって底泥の巻き上がりによる再懸濁が抑制され濁度が低下する(図IV-33)。

#### 解説：

複雑な形状を有するカキ殻を海底に敷設することによって、その隙間に底生生物が着生、増殖することで底生生物相が多様化し、生物量が増加する。これらの底生生物を餌料として利用するウシノシタ類やイイダコその他、マナマコやエビ類等の有用水産生物が増集、増加するとともに、周辺海域で底びき網等によって漁獲され、系外へ持ち出されることにより、物質循環の促進にも繋がる。

また、カキ殻を千鳥状に敷設することで、底生生物の染み出し効果が向上し、一つの群体として機能することが期待されることから、効果的かつ経済的な底質改良手法として有効である。

加えて、沖合浅場と同様に、底生生物の摂餌、多毛類や甲殻類による作巢、匍匐による底泥の攪拌作用(バイオターベーション)の活性化により底泥中の有機物が除去されるとともに、底泥中に酸素が供給されることで生物に有害な硫化物の発生が抑制されるなど底質が改善される。併せて、カキ殻の敷設により、潮流や波浪などの外力による底泥の巻き上がりが抑制される。

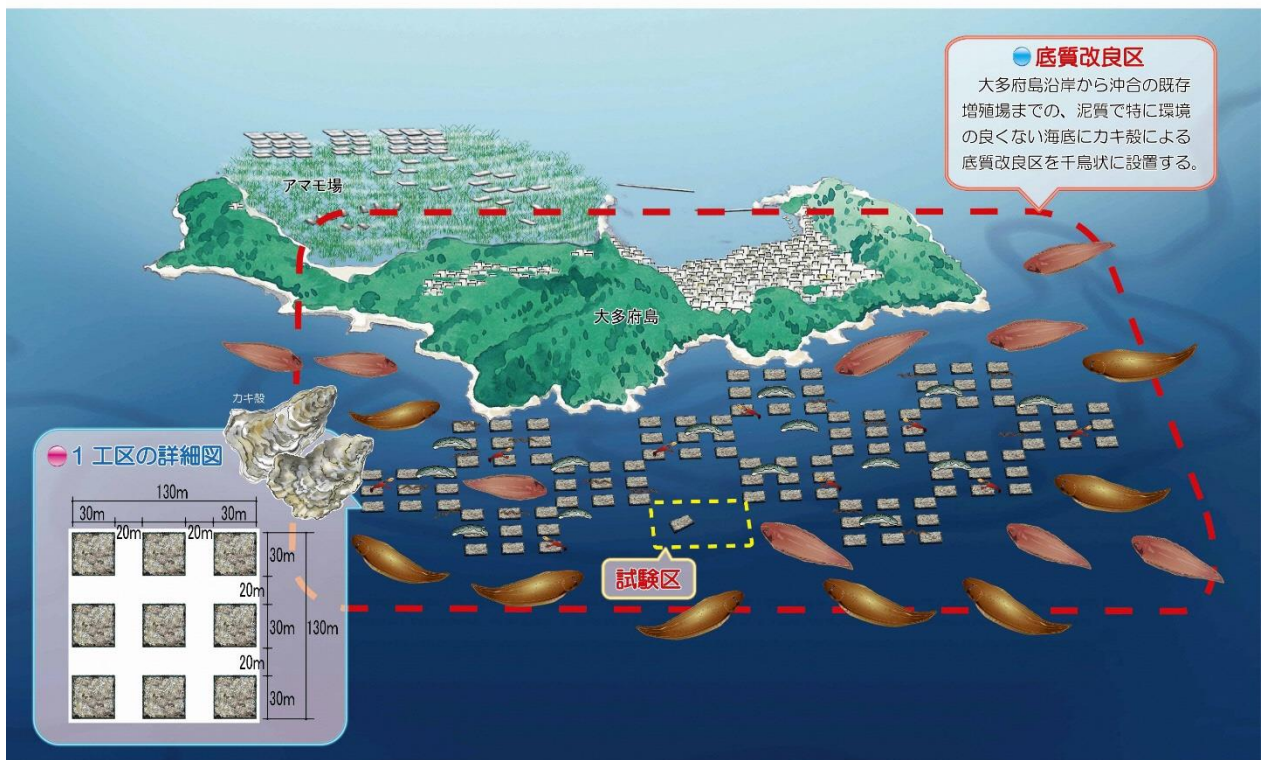


図 IV-33 カキ殻敷設効果のイメージ

#### a. カキ殻敷設による底生生物相の多様化

2012年11月から2018年1月における試験区と対照区、2018年5月から2021年1月までの事業区と対照区の上層(表面～10cm)における底生生物相の変化をそれぞれ図 IV-34～図 IV-36 に示す。

試験区の出現種数は6～46種で推移しており、敷設1年1カ月後の2014年1月に最多となったが、対照区は0～19種となり、調査期間を通じて試験区の方が多かった。試験区の個体数は、101～4,336個体/m<sup>2</sup>で推移したが、敷設から半年後の2013年6月以降増加し始め、敷設10カ月後の2013年10月に最大となった。対照区では、0～1,776個体/m<sup>2</sup>で推移し、2015年の6月と8月を除いて試験区の個体数は対照区よりも多く、その差は最大で20.4倍となった。なお、対照区の個体数が試験区より多くなったのは、対照区において汚濁指標種であるシズクガイが大量に確認されたことによるものであった。これに対して、試験区ではサンカクフジツボやチビクモヒトデの他、砂泥底の比較的良好な底質環境下で生息するフサゴカイ科等(多毛綱)やアカホシマメガニ(十脚目)等が出現した。

事業区では、2015年にカキ殻を敷設した工区(以下「2015年区」という。)と2017年に敷設した工区(以下「2017年区」という。)について推移を見ると、2015年区の出現種数は3～24種で推移し、敷設3年5カ月後の2019年1月に最多となった。また、2017年区では2～43種で推移し、敷設1年5カ月後の2019年1月に最多となった。対照区は3～12種で、一時的に対照区の方の種類数が多くなることもあったが、概ね事業区が対照区よりも種類数が多かった。また、事業区の個体数は、2015年区では50～1,050個体/m<sup>2</sup>で推移したが、2018年8月及び2019年1月には、水産動物の餌料となるヨコエビ類やワレカラ類等の端脚目が優占していた。2017年区では、37～1,600個体/m<sup>2</sup>で推移し、2015年区と同様に餌料生物であるオウギガニやカニダマシ等の十脚目が大量に出現した。対照区では50～987個体/m<sup>2</sup>で推移し、2019年及び2020年のいずれも6月に汚濁指標種の二枚貝であるシズクガイが大量に発生した。これらのことから、カキ殻の敷設により底質環境が改善され、比較的良好な環境下で生息する底生生物が増殖し、その多くが有用水産物の餌料となることで、水産資源の増加に寄与することが期待された。一方、2015年区と2017年区とを比較すると、2017年区ではカキ殻敷設から間もない2018年春季以降、個体数が急激に増加しているのに対し、2015年区では、同年秋季から徐々に個体数が減少し、期間後半の2020年8月以降には、2017年区とともに対照区の個体数と逆転する傾向が見られたことから、カキ殻敷設から約3年後には敷設したカキ殻に堆積した浮泥等により底生生物の増加効果が低減するものと推察された(写真 IV-8)。

事業区の底生生物の湿重量は、個体数の推移と同様の傾向が見られ、カキ殻敷設後の経過年数が長い2015年区は0.263～25.3g/m<sup>2</sup>と期間中は減少傾向が続いたが、比較的敷設から時間が経過していない2017年区では、敷設1年5カ月後の2019年1月にオオヨコナガピンノ等の十脚目やツバサゴカイ等の多毛綱が急激に増加したことで96.0g/m<sup>2</sup>と最大に達し、以後は季節ごとに増減を繰り返しながら減少した。一方、対照区では0.663～68.7/m<sup>2</sup>の範囲で推移しており、2018年5月や2019年6月、2020年6月に汚濁指標種であるシズクガイが優占したことによって一時的に増加した。

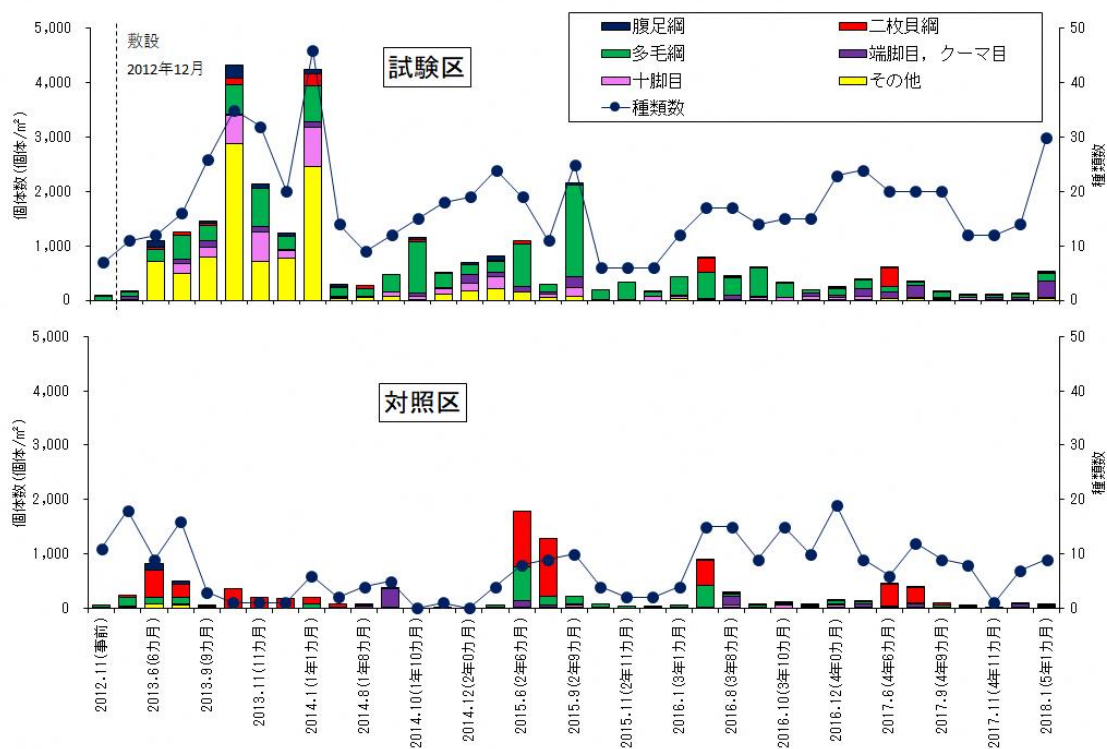


図 IV-34 試験区(上)及び対照区(下)で確認された底生生物の種類数及び個体数の推移

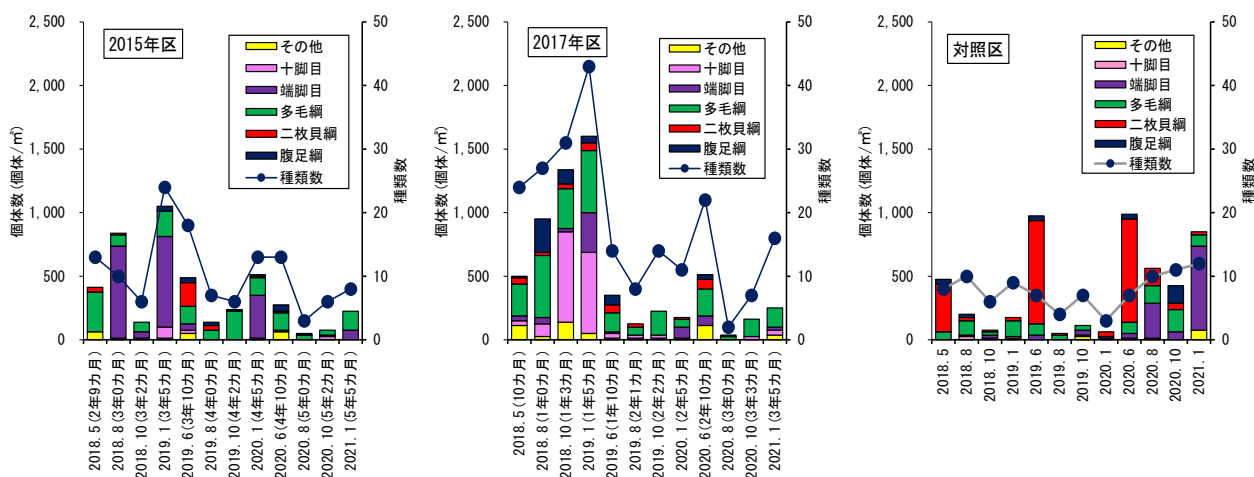


図 IV-35 2015年区(左)及び2017年区(中央)並びに対照区(右)で確認された底生生物の種類数及び個体数の推移



写真 IV-8 カキ殻敷設後3年が経過した海底の状況 (2015年12月)

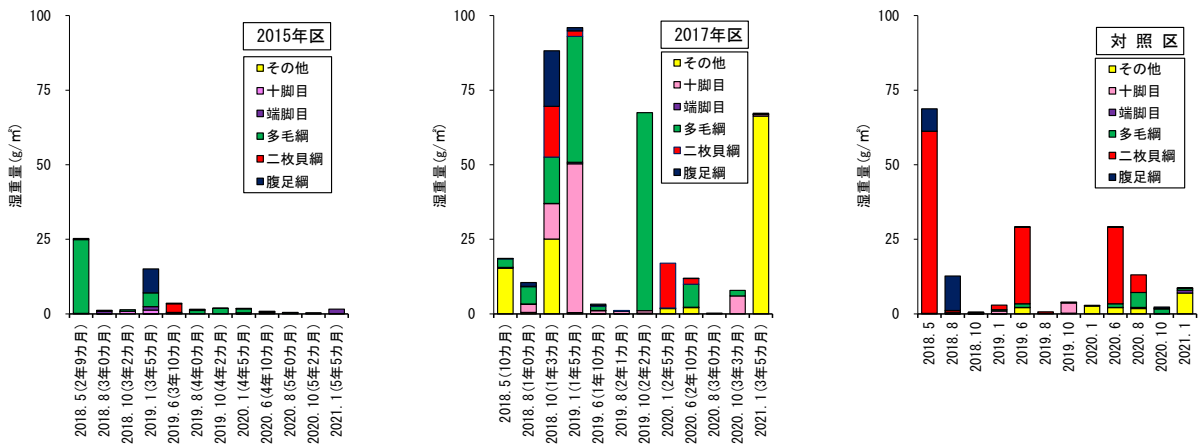


図 IV-36 2015年区(左)及び2017年区(中央)並びに対照区(右)で確認された底生生物の湿重量の推移

【ベントス多様度指数について】

カキ殻の敷設による底生生物相の多様化効果を明らかにするため、カキ殻を敷設した場所（試験区及び事業区）と未敷設の対照区との間で、p. 16 に示す Shannon-Wiener の多様度指数 ( $H'$ ) を用いて比較した。試験区と対照区、事業区と対照区の上層(表面～10cm)における底生生物の多様度指数の変化をそれぞれ、図 IV-37、図 IV-38 に示す。

試験区における底生生物の  $H'$  は、1.88～4.23 の間で推移し、概ね調査期間中は多様度が高いとされる 2 以上で推移した。一方、対照区では、0～4.03 の間で推移したが、2013 年及び 2014 年の 10 月～12 月、さらには 2017 年 11 月にも 0 を示すなど多様性は低かった。

また、事業区と対照区とを比較すると、2015 年区は 1.50～3.65、2017 年区は 0.92～4.79、対照区は 1.00～2.99 の間で推移し、事業区の方が対照区に比べて概ね高い値を示したが、カキ殻敷設から比較的時間が経過している 2015 年区の方が 2017 年区に比べて  $H'$  は低かった。これは、先に述べたとおり、カキ殻敷設から 3、4 年後には敷設したカキ殻に浮泥が堆積し、生息できる種が限定され底生生物相が単調化すると考えられた。底生生物の個体数及び湿重量の結果においても、対照区では、汚濁指標種であるシズクガイが優占する状況が確認されており、 $H'$  の低下を裏付ける結果となった。これらの結果から、カキ殻を海底に敷設することで表面積が大きく複雑な薄層構造等を有する新たな生物生息層が形成され、生息する生物が多様化するものと考えられた。

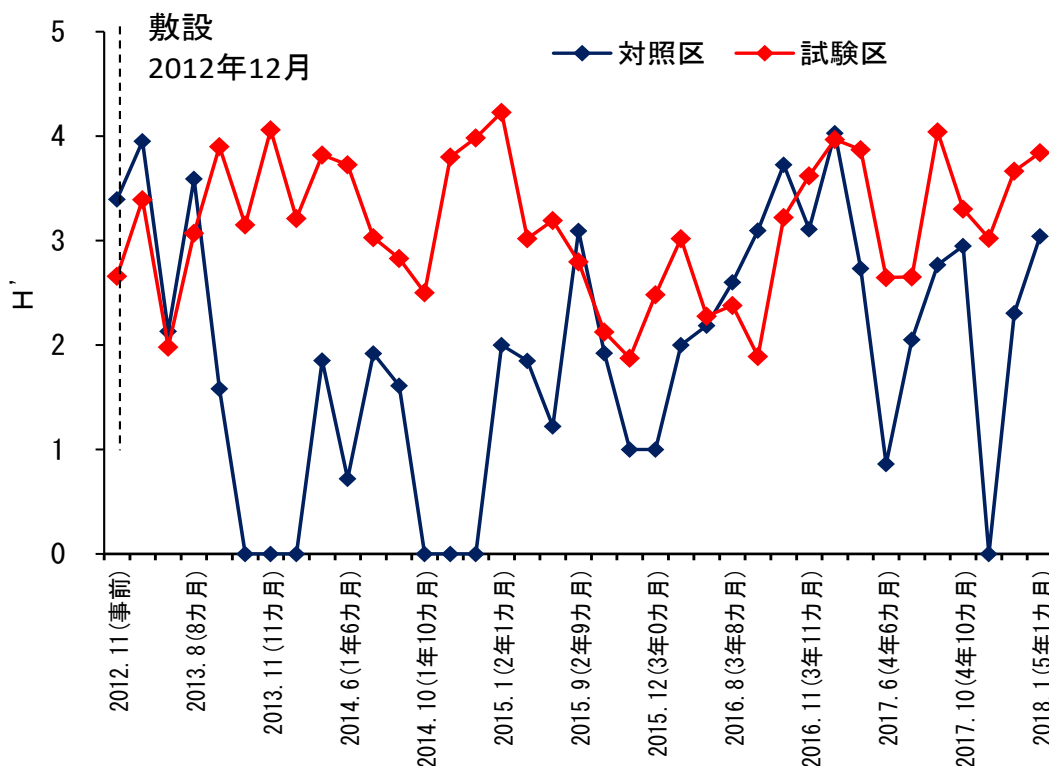


図 IV-37 試験区及び対照区における底生生物の多様度指数 ( $H'$ ) の推移

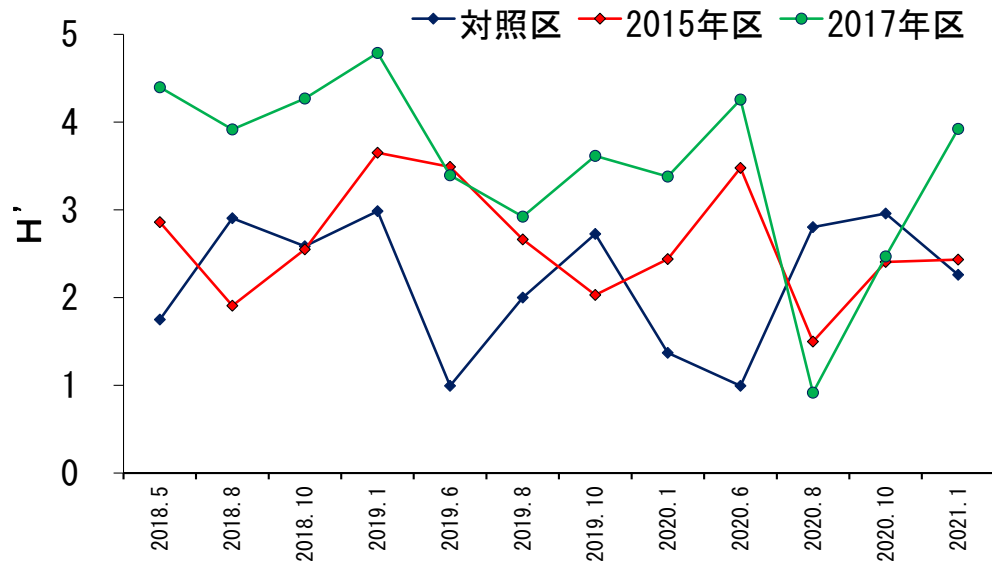


図 IV-38 2015年区及び2017年区並びに対照区における底生生物の多様度指数(H')の推移

## b. カキ殻敷設による魚介類の増加

潜水目視による魚介類の出現状況について、試験区と対照区、事業区と対照区の推移をそれぞれ、図 IV-39、図 IV-40、写真 IV-9 に、また、2017 年区における種別の出現個体数の推移を表 IV-20 に示す。

試験区で確認された魚介類の種類数は 0～14 種で、対照区の 0～4 種に対して最大で 14 倍多くなった。個体数についても、試験区が 0～94 個体/10 m<sup>2</sup>であったのに対し、対照区では 0～17 個体/10 m<sup>2</sup>と試験区が最大で約 19 倍多かった。また、試験区においては、敷設からの時間が経過するに伴って種類数、個体数ともに減少する傾向が見られた。

事業区と対照区について比較すると、2017 年区の種類数は 1～5 種、2015 年区では 0～4 種、対照区が 0～2 種の順で多くなった。概ね調査期間を通じて事業区の方が種類数は多くなったが、2015 年区では敷設から 3 年以上経過した 2019 年 2 月と 6 月、2020 年 6 月に対照区と同様に魚介類が見られない状況もあったことから、季節によっては堆積した浮泥の影響が推測された。個体数については、2015 年区では 0～8.5 個体/10 m<sup>2</sup>、2017 年区が 0.2～8.0 個体/10 m<sup>2</sup>、対照区は 0～5 個体/10 m<sup>2</sup>と、対照区と比較して 2015 年区は最大で 6 倍、2017 年区では最大で 8 倍となり、カキ殻敷設による魚介類の増集効果が確認された。このうち、2017 年区では、マダイやカレイ類等 16 種の魚介類が出現した。泥質の海底には通常生息しないカサゴやマダコ等が確認されたほか、対照区では確認されていない有用水産生物のウシノシタ科やイダコ等も多数確認されており、カキ殻敷設によってこれらの餌料となるベントスが增加したことがこの主因であると考えられた。さらに、敷設 10 カ月後の 2018 年 5 月からマナマコが出現し始めるなど、カキ殻の敷設により新たな生息環境が創出されていることが明らかとなった。

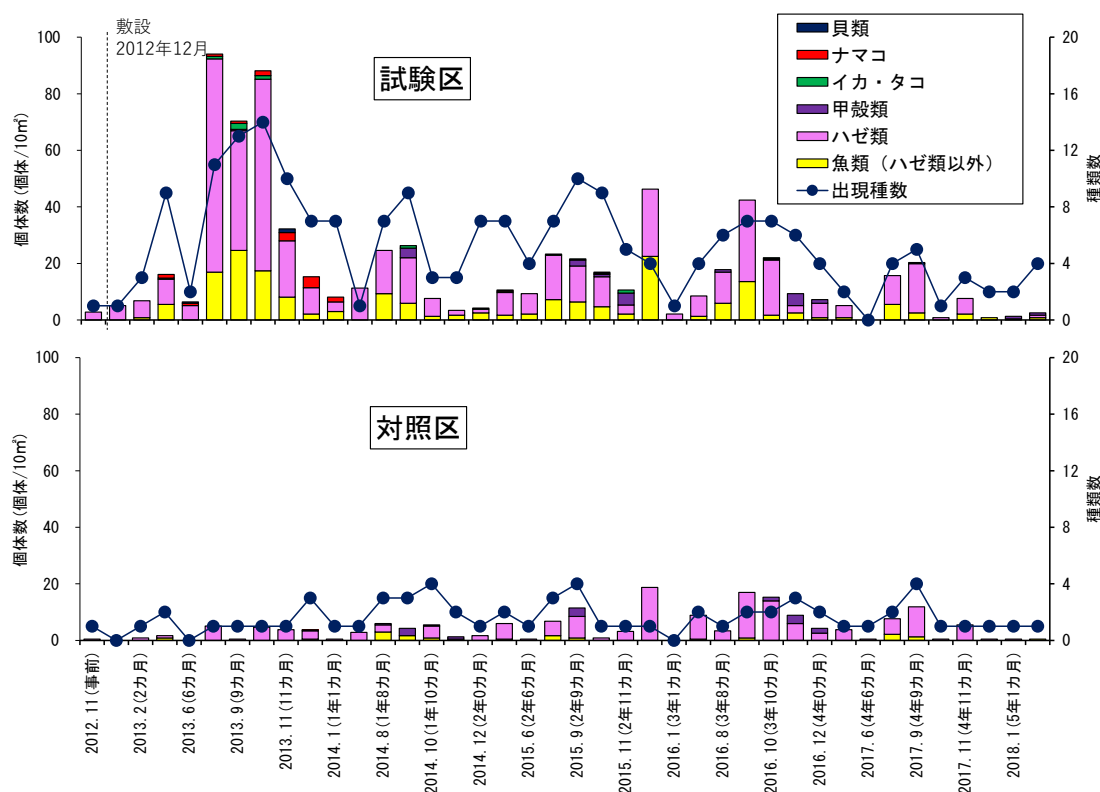


図 IV-39 試験区(上)及び対照区(下)における潜水目視による魚介類の出現種類数及び個体数の推移



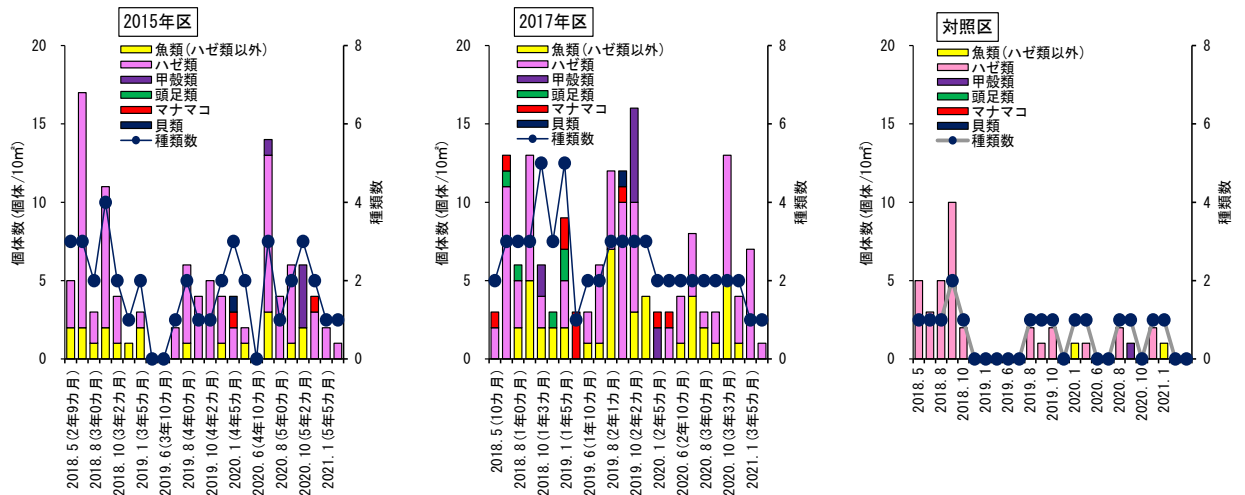


図 IV-40 2015 年区 (左) 及び 2017 年区 (中央) 並びに 対照区 (右) における 潜水目視による魚介類の出現種類数及び個体数の推移



写真 IV-9 潜水目視で確認されたマナマコ (2019 年 1 月)

表 IV-20 2017 年区で確認された有用水産物の個体数

2017年区	年月日	2019年度																							
		5/31	7/20	8/16	9/26	10/29	12/13	1/17	2/14	6/13	7/31	8/22	9/26	10/15	12/16	1/10	2/6	6/11	7/9	8/6	9/16	10/28	12/9	1/15	2/5
魚類	ヒゲソリダイ				2																				
	カサゴ			2			1	2							1										
	マゴチ						1																		
	シロギス					1																			
	マダイ																	1							
	マトウトラギス										1	1		3	2				4		1	5	1		
	ネズツボ科				1							6								2					
	マハゼ								1																
	カレイ科										1														
ウシノシタ科				3																					
甲殻類	イシガニ					1																			
	サルエビ科												6		2										
イカ・タコ類	マダコ		1	1									6		2										
	イダコ						1	2																	
棘皮動物	マナマコ	1	1				2	3			1				1	1									
貝類	トリガイ											1													

2020年1月から2021年3月までの間、概ね四季毎に2015年区の北側（本頁では以下、「事業区」という。）と対照区において底びき網（なまここぎ網）による試験操業を行い、採捕された魚介類の種類数及び個体数、湿重量の結果をそれぞれ、図 IV-41 及び写真 IV-10 に示す。なお、曳航速度は2~3km/hで40~50分/回操業し、操業面積は11,000~15,000 m<sup>2</sup>/回であった。

事業区で採捕された魚介類の種類数は3~18種の間で、4~10種の間であった対照区に比べて最大で4倍多かった。個体数は事業区が24.2~123個体/10,000 m<sup>2</sup>であったのに対し、対照区では4.86~32.8個体/10,000 m<sup>2</sup>となり、事業区が1.5~10倍多かった。種組成を見ると、事業区では、2020年8月を除きマナマコが24.2~76.5個体/10,000 m<sup>2</sup>と優占した。また、湿重量については、事業区では3.09~22.1kg/10,000 m<sup>2</sup>であったのに対し、対照区では0.21~1.55kg/10,000 m<sup>2</sup>となり、対照区に比べて6~80倍多かった。また、個体数と同様にマナマコが0.74~18.61kg/10,000 m<sup>2</sup>と優占した。これらの結果からも、底びき網漁業の主要な対象魚種となっているマナマコ等が増加する効果が確認され、産業上の観点からもカキ殻の敷設は有効な手法であることが明らかとなった。

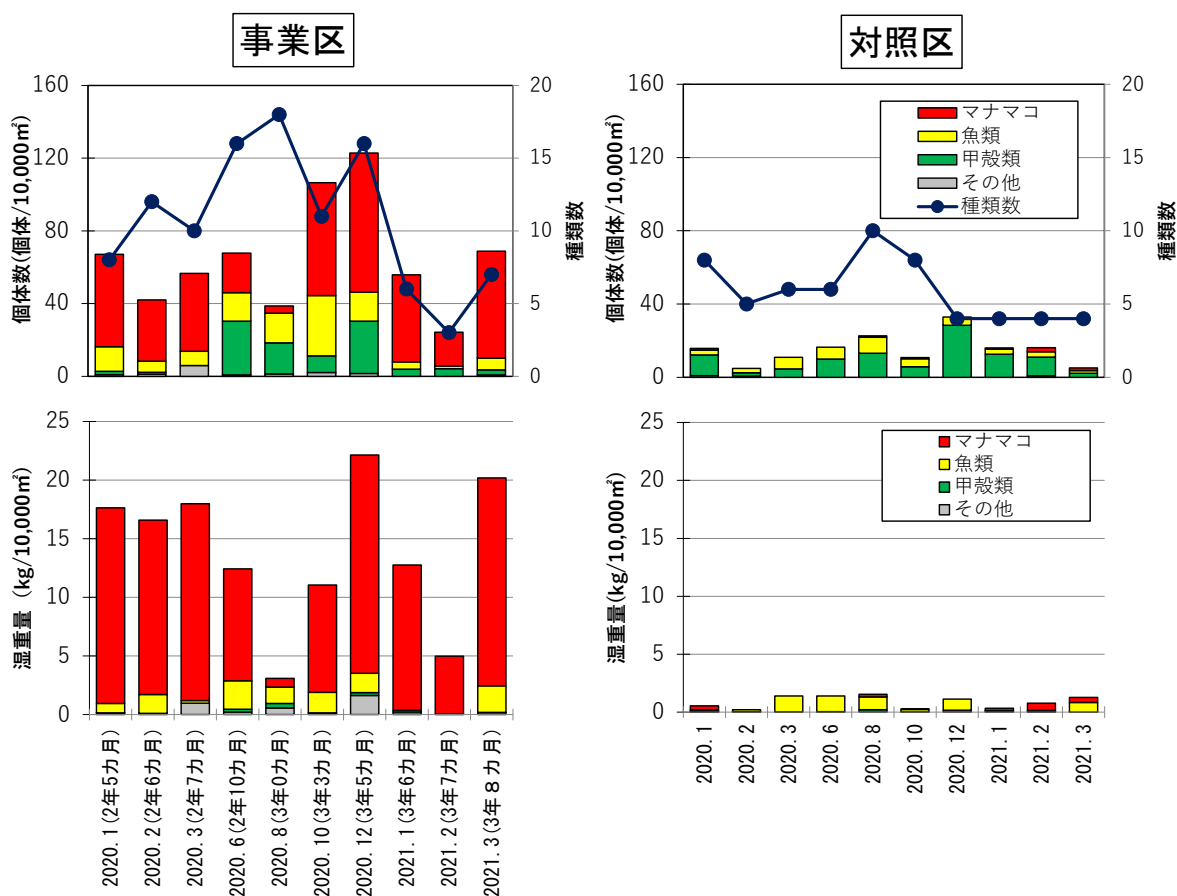


図 IV-41 2017年区(左)及び対照区(右)における底びき網で採捕された有用水産生物の種類数及び個体数(上)、湿重量(下)の推移

事業区



対照区



写真 IV-10 2020年12月に事業区及び対照区で確認された有用水産生物

### c. 底生生物の多様化に伴うバイオターベーションによる底質改善

試験区と対照区、事業区と対照区における底泥中の AVS の推移をそれぞれ、図 IV-42、図 IV-43 に示す。

底泥中の AVS は、いずれの区においても、水温が上昇する 8～10 月に高い値を示す傾向が見られた。対照区では 0.6mg/g (乾泥) を超える値を示したのに対し、試験区ではカキ殻敷設から 3 年 8 ヶ月までは約 0.2 mg/g (乾泥) 以下に抑えられており底質改善効果が確認された。2016 年 8 月以降は、対照区と同様に夏季に高い値を示しており、これはカキ殻の表面に浮泥が堆積し、底質改善効果が低下したことが原因と考えられた。

事業区と対照区との比較では、2019 年 9 月に、対照区において 1.51mg/g (乾泥) を示したのに対し、2015 年区では 0.16mg/g (乾泥)、2017 年区では 0.26mg/g (乾泥) となり、カキ殻敷設による AVS の低減効果が確認された。しかし、試験区と同様に 2015 年区では、カキ殻敷設から 5 年を経過した 2020 年 8 月以降に AVS の値は上昇し、12 月には最高となる 0.67mg/g (乾泥) を示した。

これらの結果から、カキ殻の敷設によって底生生物が多様化し、個体数が増加するとともに、それらの移動や摂餌行動等によって AVS が低下する等の底質改善につながったものと考えられた。しかし、カキ殻敷設から 3 年以上が経過すると、浮泥の堆積により AVS が上昇しており(写真 IV-11)、底質改善効果を維持するには浮泥除去等のメンテナンスが必要であることが示唆された。

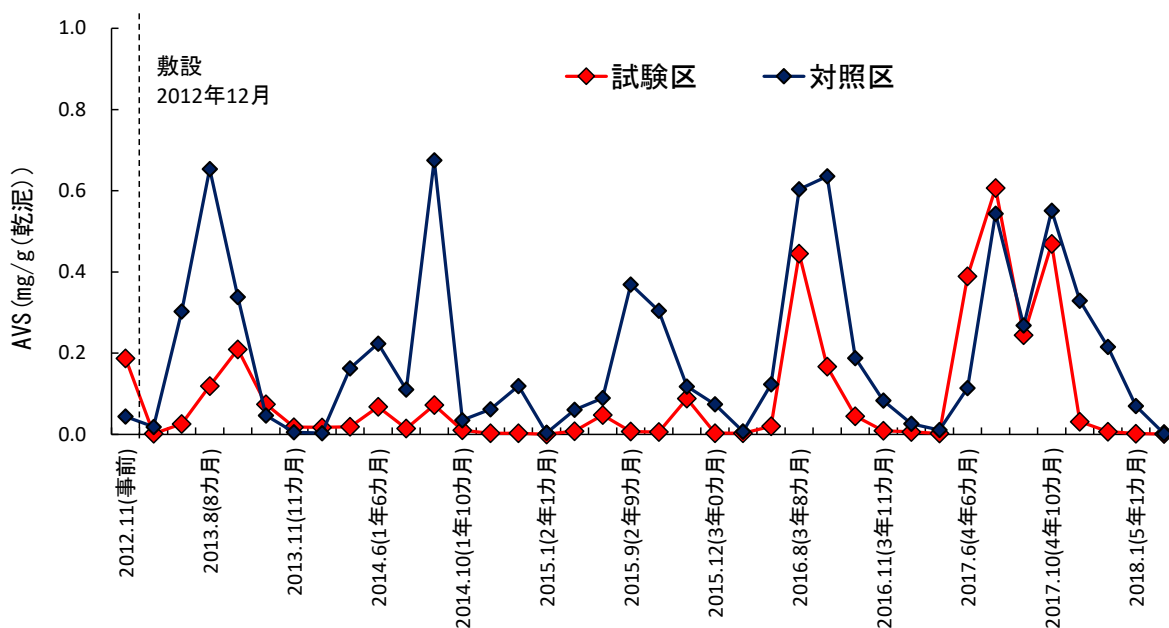


図 IV-42 試験区及び対照区における底泥中の AVS の推移

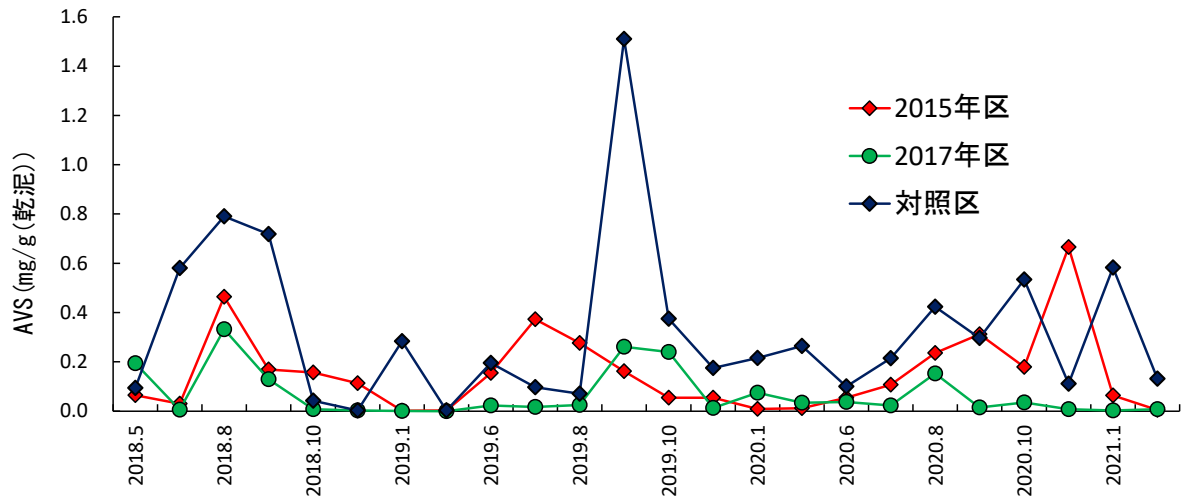


図 IV-43 事業区及び対照区における底泥中の AVS の推移



写真 IV-11 カキ殻敷設後 4 年経過した海底の状況 (2017 年 1 月)

#### d. カキ殻敷設による濁りの軽減効果

岡山県東部の島嶼部周辺海域は、泥質の海底が大半である上に、春季から夏季にわたり南東の強い風が吹くため、もともと濁りの強い海域であり、底層の濁度 (FTU) は、試験区、対照区ともに2013年8月に上昇し、それぞれ237.5、496.9を観測した。その後は、対照区で2014年11月に168.7、2016年8月には94.5と高い値を示した時期でも、試験区ではそれぞれ13.6、18.2と低かった(図 IV-44)。これは、カキ殻敷設によって、波浪や潮流による海底付近の底泥の巻き上がりが抑制されたためであることが示された。

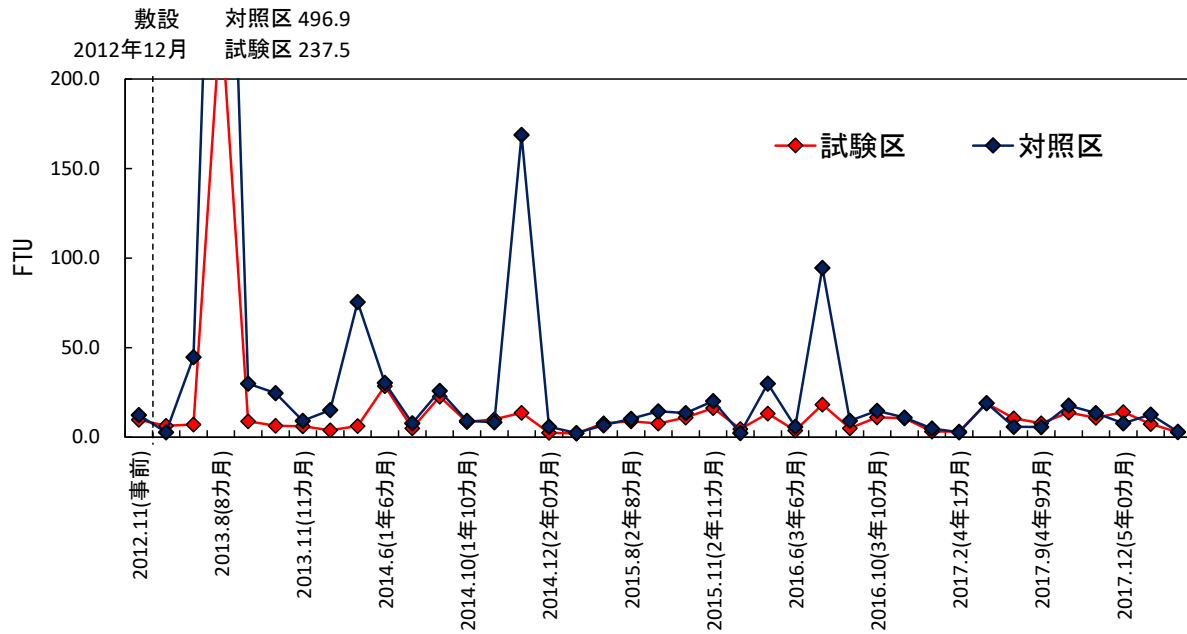


図 IV-44 試験区と対照区の底層における濁度の推移

## 敷設の厚さ

カキ殻の計画上の敷設の厚さは、30～50cm程度を目安とする。

### 解説:

敷設したカキ殻の移動・逸散がないことを事前に確認できれば、沖合浅場での調査結果をもとに敷設の厚さを30cm程度確保すれば良いが、計画上のカキ殻の敷設厚さは現場条件に応じた海上作業の施工精度を勘案し、30～50cm程度を目安とするのが妥当である(図 IV-45)。

また、均一の厚さではなく海底に起伏があることで過流の発生など物理的な環境改善になることから、カキ殻を千鳥状に配置するなどモザイク構造を生み出す不均一性を確保することも重要であると考えられる。



図 IV-45 30～50cm厚で敷設するイメージ

#### 4) 施工方法

沖合浅場における施工方法と同様であるが、より水深が深い海域が対象となるため、出来型管理等にはその対応が必要となる。

また、カキ殻敷設後の浮泥の堆積による効果の低減を防止するため、浮泥の除去等の定期的なメンテナンスが必要である。

##### 解説:

沖合浅場における施工方法 (p. 46) を参照すること。準備工における事前の深浅測量や投入時における施工箇所の水深確認、出来型管理等において、沖合浅場より水深が深い海域が対象となるため、海域条件に応じた適切な測量機器等を使用する。

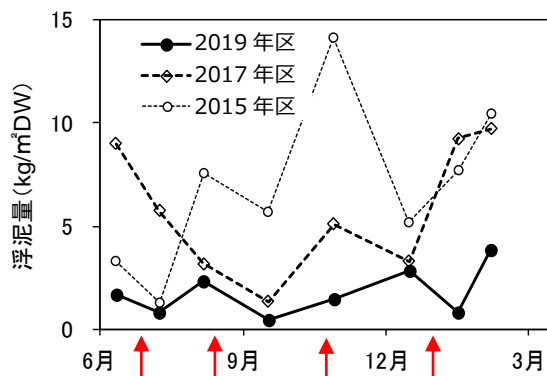
##### 堆積した浮泥の除去方法の一例

カキ殻敷設効果を持続させるためには、定期的なメンテナンスを行うなどの施設管理が必須である。持続性かつ経済性を考慮すると、日頃から対象海域を利用している漁業者の所属する漁業協同組合に管理を委託するなど、漁業者が日常的に実施可能な方法であることが望ましい。

##### 解説:

漁業者が日常的に実施可能な方法として、底びき網による海底耕うん試験を実施した。試験は2017年区において、2020年6～12月にかけて計4回、耕うんを行わない2015年区及び2019年区を対照として、カキ殻上の浮泥の堆積量（本頁では以下、「浮泥量」という）を比較した。使用した漁具は、ビームの長さが10m、袋網の目合いは7節（約2.2cm）であり、曳航速度は2～3km/hで袋網の口を開放して30分～1時間、巡回するように曳航した。

それぞれの区における浮泥量の推移を図IV-46に示した。2017年区は、試験前の6月には9.0kg/m<sup>2</sup>DWと3区で最も浮泥量が多かったが、耕うん後の7月には5.8kg/m<sup>2</sup>DWに減少した。その後も耕うんを行ったものの9月と12月の浮泥量は2019年区と同程度になり、1月と2月には10kg/m<sup>2</sup>DW程度まで増加した。漁具を巻き上げると海面に濁りが舞い上がることから、堆積した浮泥を除去する効果はあると考えられたものの、堆積しやすい時期や海域では、耕うん後間もなく浮泥量が増加する傾向が確認されるなど、効果は限定的であると思われた。このため、通常の漁業操業時に浮泥除去を兼ねた定期的なメンテナンスが必要であると考えられた。



耕うんによる浮泥除去(2017年区)  
図 IV-46 海底耕うん試験による浮泥量の推移



## 5) 効果の確認方法

カキ殻敷設後は、底質環境のモニタリングに併せて、底生生物や魚類相をはじめとした生物相の変遷を検証する。

### 解説:

沖合深場は、沖合浅場よりも水深が深く、比較的風波等による海底面への擾乱が少ないことから、底質の安定性を注視する必要性は低いものの、閉鎖的な環境故に浮泥の堆積が問題となるため、その推移を追跡する。また、閉鎖的な海域では、底層の酸素不足が底質の嫌気化や硫化水素の発生を招き、底生生物の生息に重大な影響を与えるので注意が必要である。さらに、沖合深場は底びき網漁業等の漁場となっていることが多く、その対象魚類を始めとした生物相の変遷について重点的にモニタリングを行う必要がある。効果の評価方法としては、施工前の海底の状態や対照区等との比較を同時に行うほか、水産用水基準等の各種基準により定められた項目を参考にしながら、経時的な変化を追跡する。

調査時期、調査日数については、施工後1年未満は季節ごとに四季を通じて4回/年の頻度で実施することが望ましい(表 IV-21)。また、施工後2年目以降は、年2~4回の頻度で調査を一定期間行い、モニタリングにより効果を検証しつつ、課題をフィードバックさせて順応的に管理を行うことが重要である。

表 IV-21 効果を確認するための調査項目と調査頻度

調査項目		目的	調査時期		必要項目
			施工後1年未満	施工後2年目以降	
底質環境	粒度組成	浮泥の堆積状況を調べる。	2~4回/年	1~2回/年	◎
	堆積物量				
	流況				
	COD	底質環境の季節的変化や改善状況を調べる。	4回/年	2~4回/年	◎
	硫化物				◎
	ORP				◎
強熱減量	◎				
水質環境	水温	水質環境の季節的変化や改善状況を調べる。	4回/年	2~4回/年	
	塩分				
	DO				
	濁度もしくはSS				
生物調査	底生生物(多様度を求める)	生物の生息状況を調べる。	4回/年	2~4回/年	◎
	魚介類				◎

## 6) 留意点

閉鎖的な海域で堆積物が多いと思われる場所では、敷設したカキ殻の上に浮泥が堆積し、効果が低減することが懸念されるため、セディメントトラップ法等により季節ごとの堆積物量を把握することが必要である。

## V. 参考資料

### 1. 実証海域の詳細

#### (1) 岡山県岡山市吉井川河口

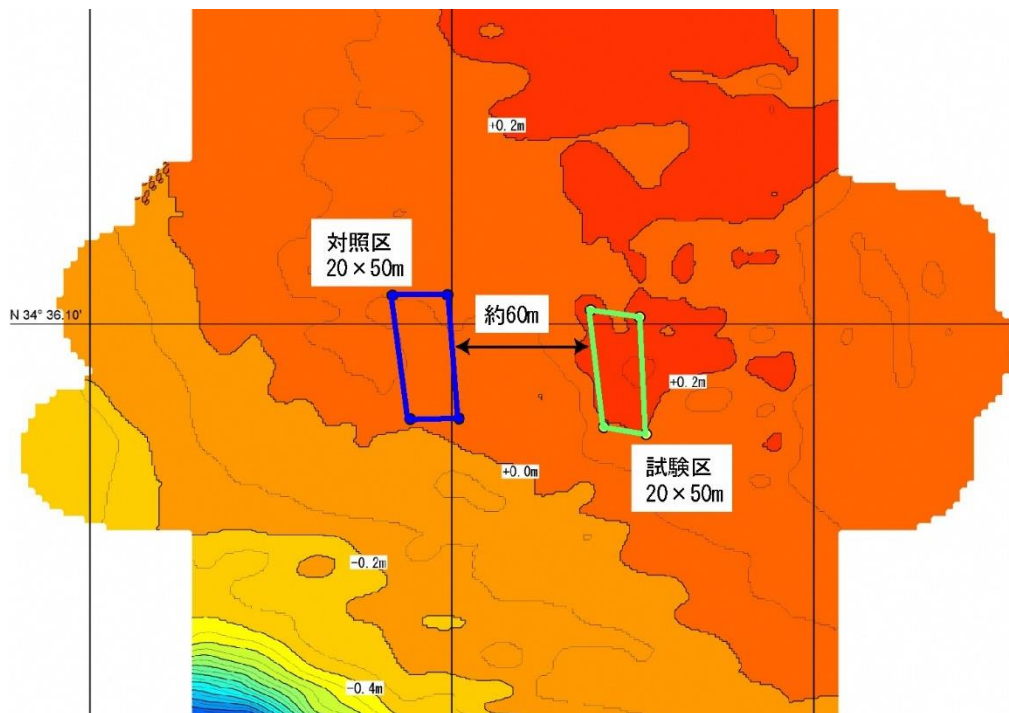
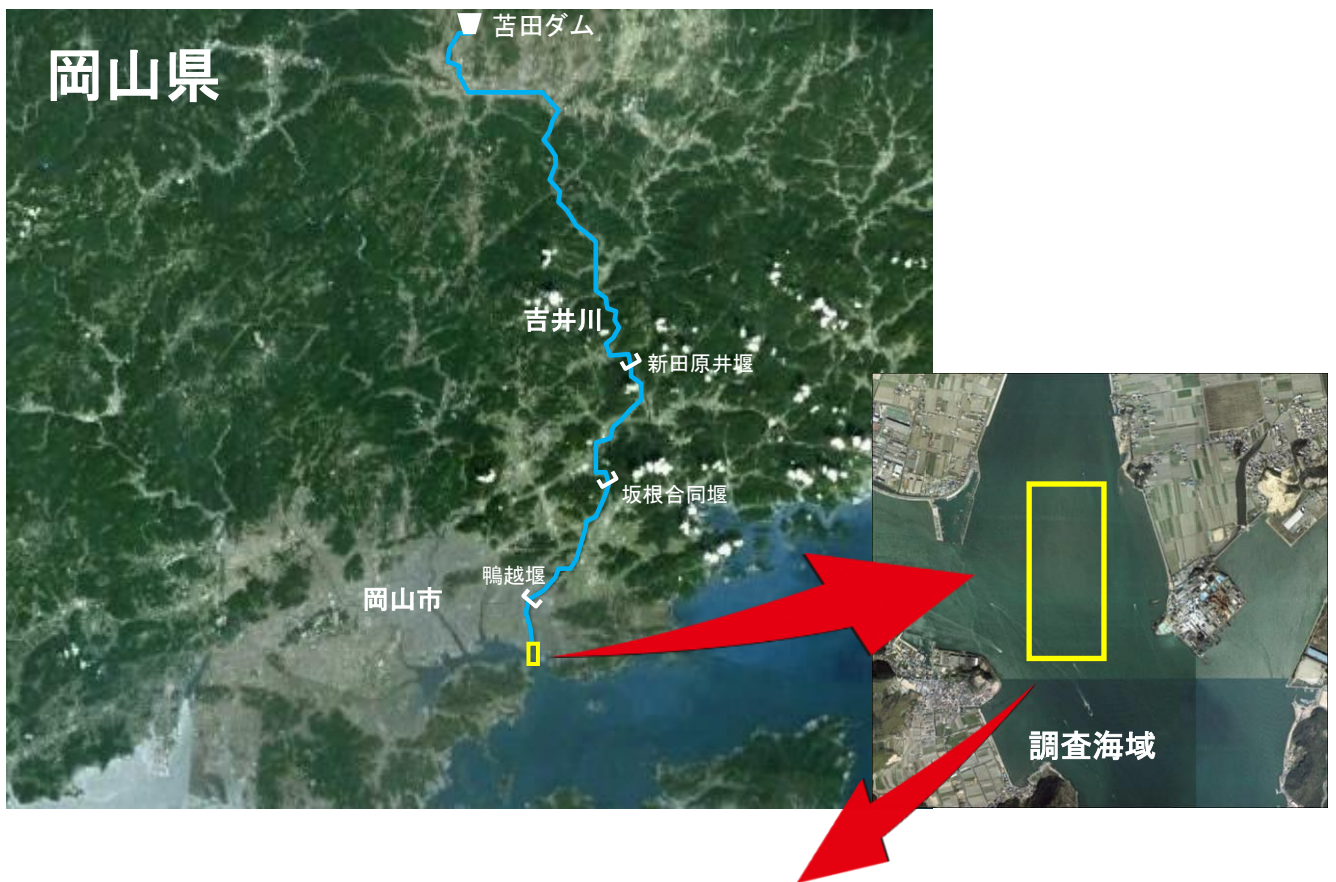


図 V-1 調査海域と試験区、対照区の配置

**【特徴】**

- ・ 上流には 2005 年 3 月に完成した 苜田ダム、新田原井堰や坂根合同堰等が存在する。
- ・ 南（沖側）に定期船等が航行する航路があり、大型船の航行時等には航跡波が発生する。
- ・ 上げ潮または吉井川の上流方向に流れる時に高濃度濁度層の移流があり、濁度が増大する。
- ・ 航跡波の影響や上流からの砂分の供給が減少していることなどから、底質の締め固めが進行している。
- ・ 出水時等には急激な地形変化が起こりやすい。

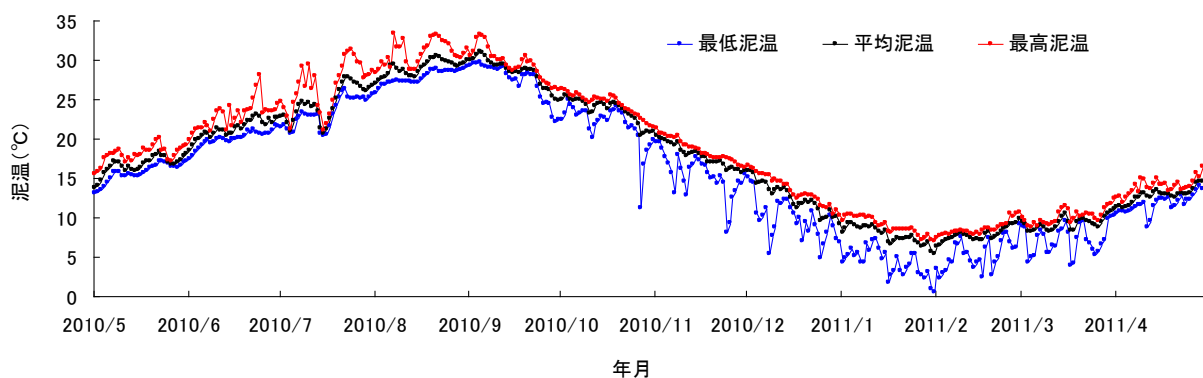


図 V-2 岡山県岡山市吉井川河口で測定した泥温

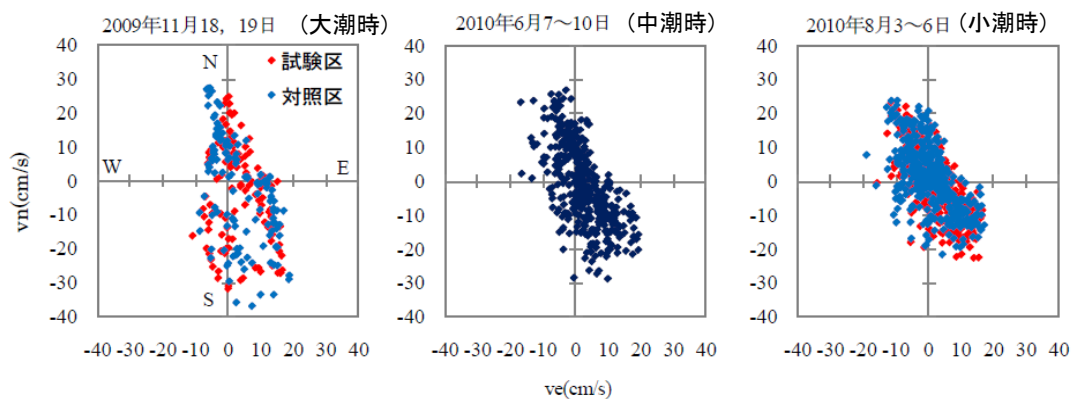


図 V-3 岡山県岡山市吉井川河口で測定した流況

(2) 岡山県倉敷市玉島小原地先

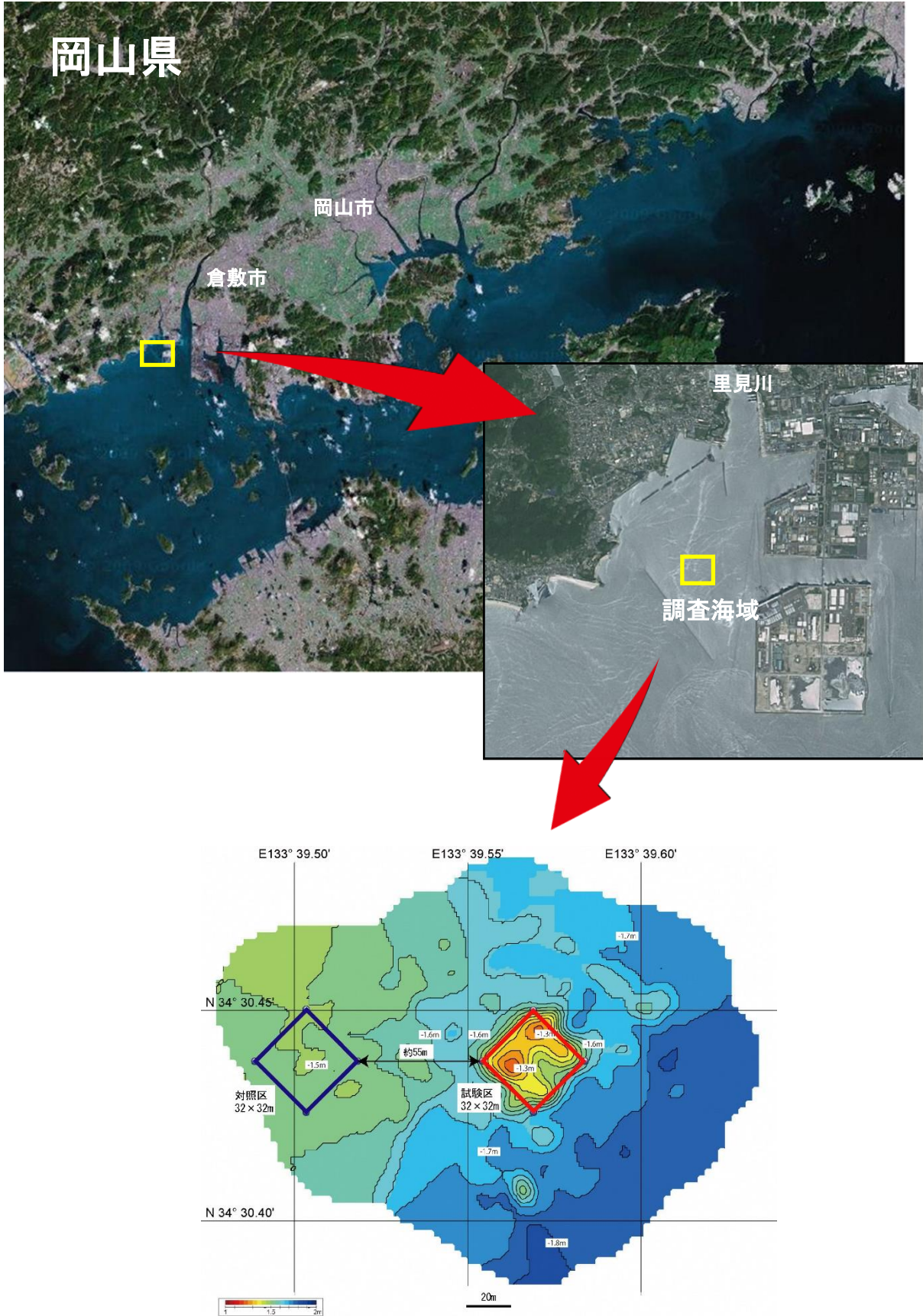


図 V-4 調査海域と試験区、対照区の配置

### 【特徴】

- ・閉鎖性が強い水島港内に存在し、一文字防波堤の背後に位置する。
- ・沿岸部に都市小河川である里見川（環境基準D類型）が流れ込む。
- ・粒径の細かい土砂が堆積する傾向にあり、再浮上、再懸濁しやすい状態になっている。
- ・シルト分を多く含む土砂が波の影響を受けやすいため、波の作用で巻き上がり、濁度を増大させる。
- ・低流動であり、潮流は海底表面の土砂を浮上させている程度で、濁度増大の主因とはならない。

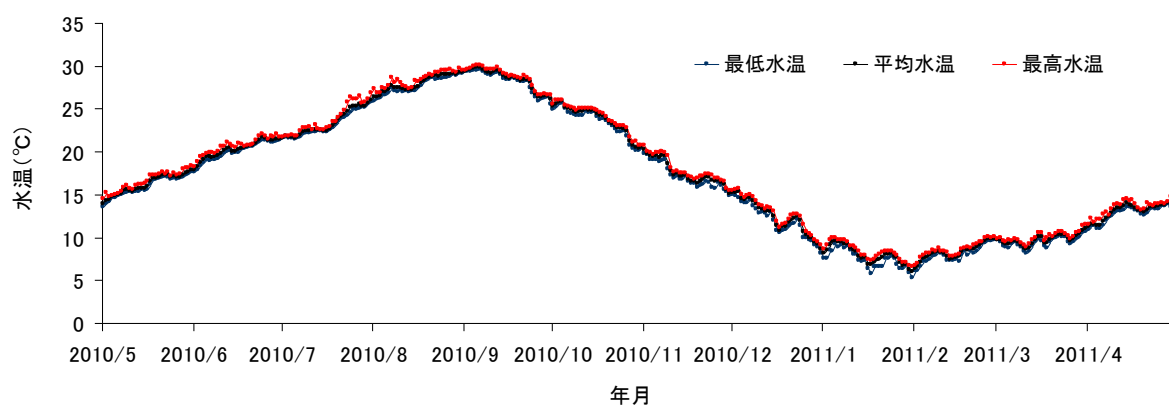


図 V-5 岡山県倉敷市玉島小原地先で測定した水温

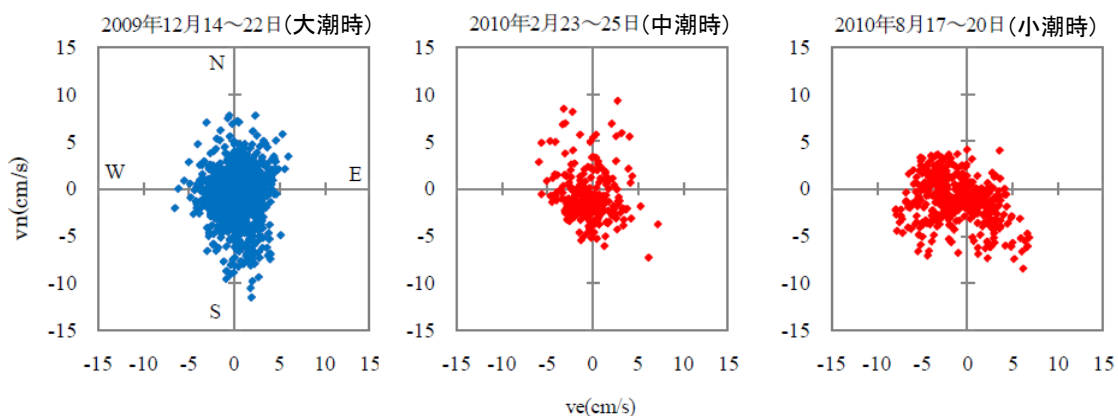


図 V-6 岡山県倉敷市玉島小原地先で測定した流況

(3) 岡山県備前市日生町大多府島地先

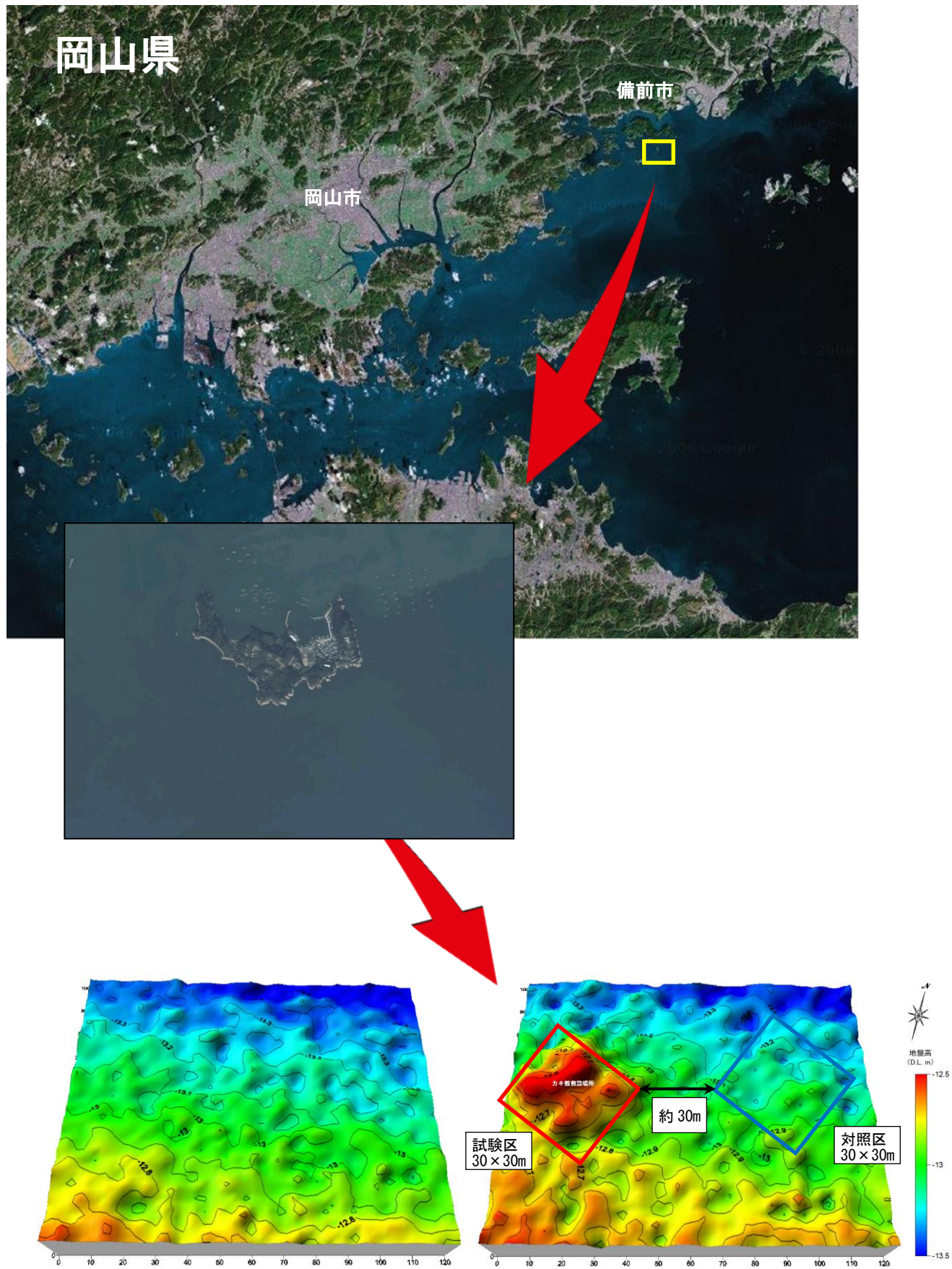


図 V-7 調査海域と試験区、対照区の配置 (左図：設置前、右図：設置後)

**【特徴】**

- ・ 日生諸島の南端に位置する大多府島沖に存在し、県東部海面では比較的水深が深く閉鎖的な特徴を有する海域に位置する。
- ・ 河川が直接流入してはいないが、隣接する兵庫県赤穂市を流れる千種川の影響を受ける。
- ・ 潮流は東西流が卓越し、流速は10～20cm/s未滿の頻度が最も多く、40cm/s以上にはならない。
- ・ 粒径の細かい土砂が堆積する傾向にあり、再浮上、再懸濁しやすい状態になっている。
- ・ シルト分を多く含む土砂が波の影響を受けやすいため、波の作用で巻き上がり、濁度を増大させる。

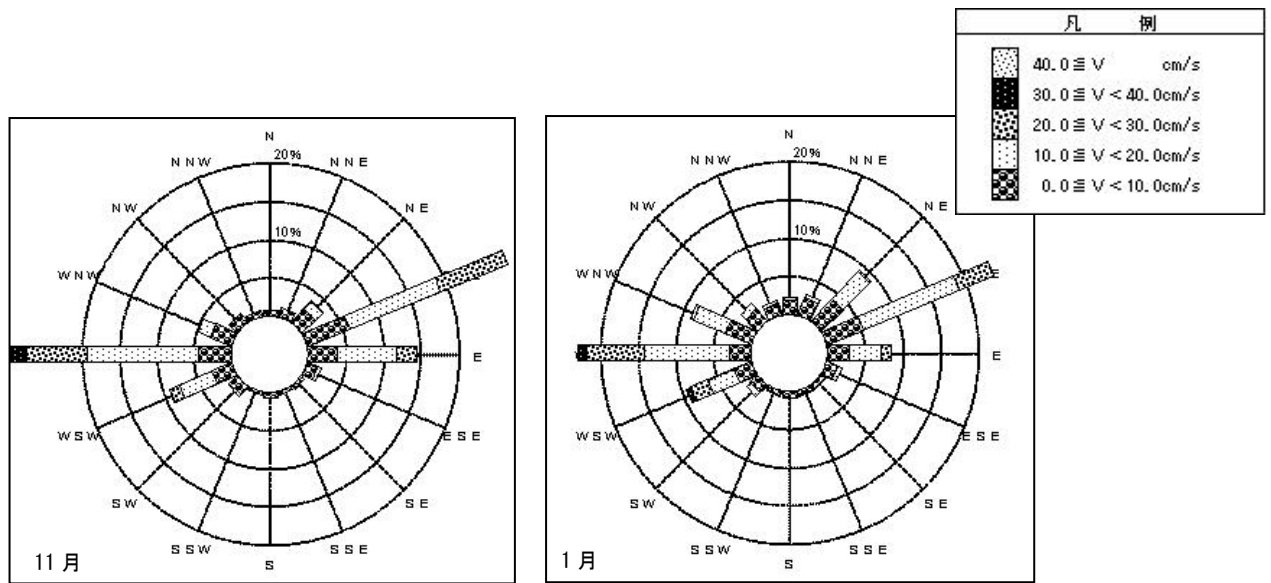


図 V-8 岡山県備前市日生町大多府島先で測定した流況・流速の出現頻度分布

## 2. 透水性実験について

岡山県岡山市吉井川河口部の試験区及び対照区の底土試料を直径 10cm、長さ 15cm の容器にそれぞれ 8 検体、6 検体採取し、両区の透水性を図 V-9 に示した装置を用いて測定した。予備実験により、タンクに溜める初期水位を少しずつ変化させて 1 検体当たり 36 回繰り返して実施した場合、同じ水位で測定した同試料を比較すると、底土中の間隙の微細粒子が流失するためか、両区の試料ともに回数を重ねると透水性が高くなった。そこで、測定は 1 検体当たり 5 回以上行い、0 回目の値を透水係数とした(図 V-10)。その結果、試験区の透水性は平均  $(3.0 \pm 2.7) \times 10^{-3} \text{cm/s}$  で対照区の平均  $(4.0 \pm 4.1) \times 10^{-4} \text{cm/s}$  よりも 7.5 倍高かった(図 V-11)。

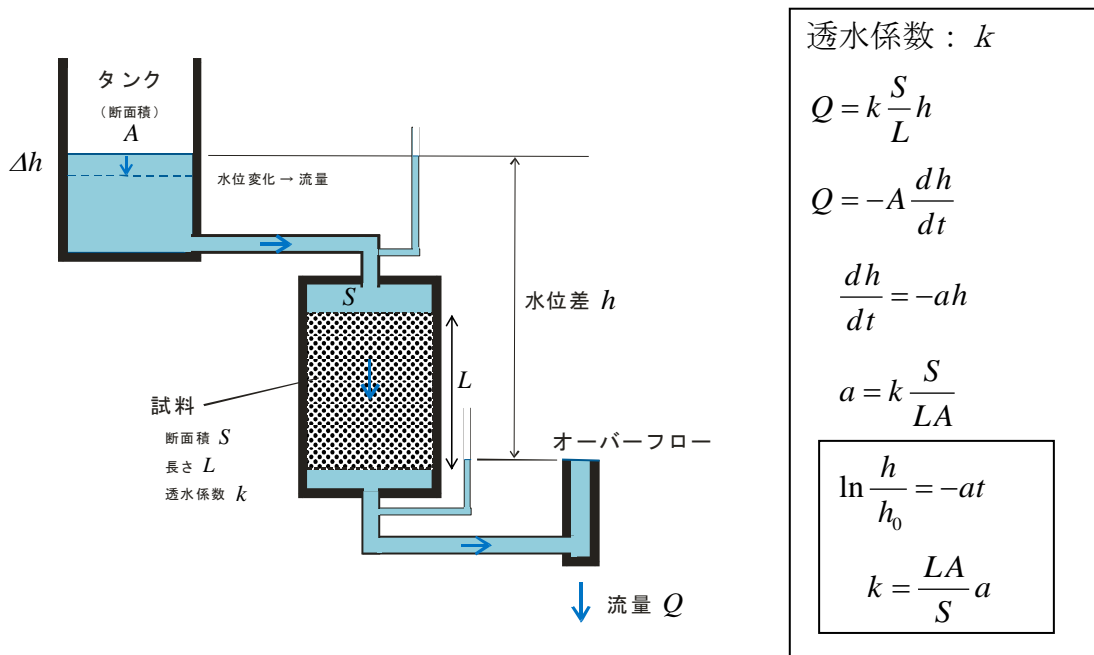


図 V-9 透水性試験の装置と透水係数の求め方

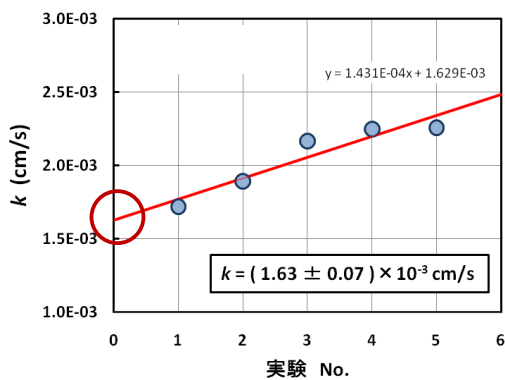


図 V-10

試験区で測定した 5 回の透水性試験の結果

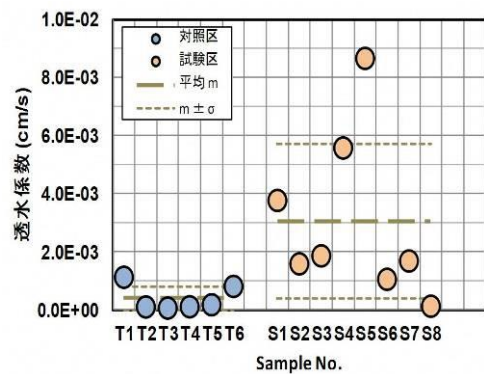


図 V-11

試験区と対照区の透水係数の比較



### 3. 指標生物の生息環境としてのカキ殻選択性の検討

#### (1) マナマコ

120×74cm の水槽に 20×20cm の区画をテープで明示し、その範囲に 300cm<sup>3</sup> の小型機船底曳網漁場の底土(岡山県倉敷市玉島小原地先で採取したもので、シルト・粘土分が 90%以上を占めている)を置いた泥区と同量のシルト・粘土にカキ殻 500g(乾燥機により約 80℃で 3 時間乾燥)を混入させたカキ殻区を設けた。それぞれの試験区に、平均殻重 4.1g のマナマコ(小型)3 個体、28.4g のマナマコ(大型)3 個体の計 6 個体を収容し、1.5 時間後に両区に残っている個体数を計数した(写真 V-1)。

1.5 時間後に残っていたカキ殻区のマナマコは、大型個体 5 個体、小型個体 15 個体で、これに対し、泥区では大型個体 0 個体、小型個体 1 個体で著しい差が見られた(図 V-12)。これは、マナマコが管足により体を固定、匍匐するのに混入したカキ殻が安定した基盤となったためと考えられた。特に小型個体はカキ殻の隙間に多く潜入しており、隠れ場として好適な環境を生み出しており、カキ殻は、本種の浮遊幼生の付着基質としても選択性が高い<sup>54)</sup>ことから、マナマコの全生活史を通じて生息環境の改善に効果的に活用できるものと考えられた。

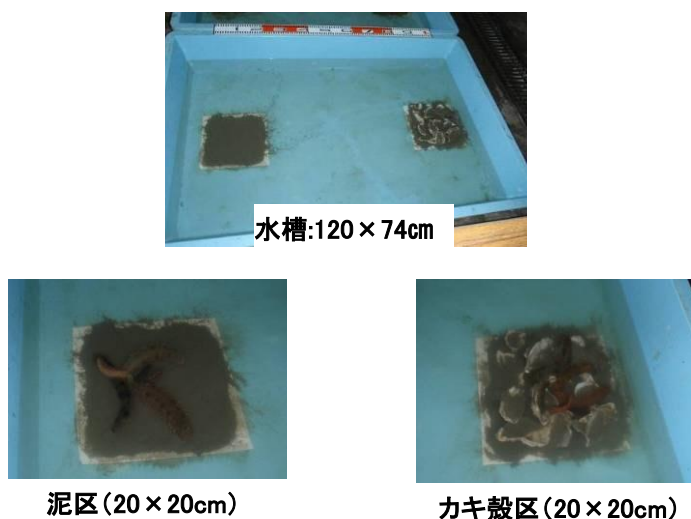


写真 V-1 マナマコの実験水槽

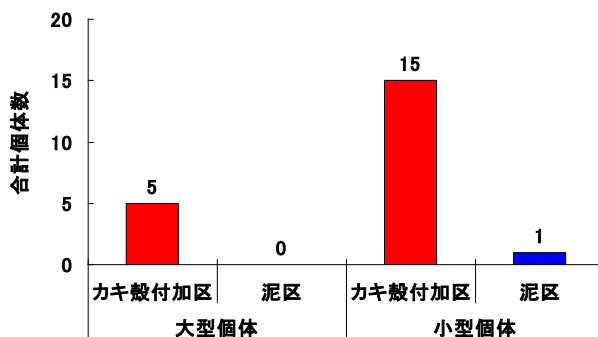


図 V-12 収容 1.5 時間後にカキ殻付加区、泥区に残ったマナマコの合計個体数

## (2) イイダコ

60cm×29.5cm×36cm(深さ)の実験水槽を、底面から高さ10cmの塩ビ板で仕切って29.5cm×30cmの2つの試験区に分け、6つの水槽を用意した。海砂採取跡地の底土(岡山県倉敷市六甲島西側で採取したもので、中央粒径値は0.46mm)に全形カキ殻を容積比混入率0、30、60、100%に調整したものを、表V-1に示したとおりの組み合わせで6種類の実験に供した(写真V-2)。各実験水槽の中央にイイダコ1個体を收容して24時間後にイイダコの分布位置を記録し、各試験区に分布した個体を合計した。また、水槽壁面に分布していたイイダコについては、結果から除外した。本実験に使用したイイダコは数日間、予備水槽で飼育して活力の高い個体を使用し、3回繰り返して実験を行った。

その結果、イイダコは混入率0%の試験区には計2個体しか見られなかったのに対し、混入率30~100%の試験区では計4~5個体が分布していた(図V-13)。また、全形カキ殻を利用して体を隠す個体も見られた(写真V-3)。

表 V-1 実験水槽の試験区の組み合わせ

実験水槽	試験区
①	0% VS 100%
②	0% VS 30%
③	0% VS 60%
④	30% VS 60%
⑤	30% VS 100%
⑥	60% VS 100%

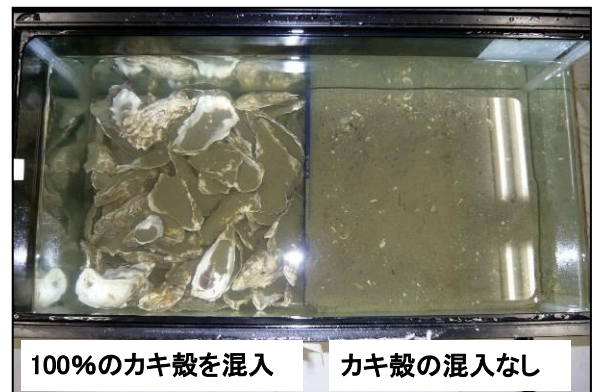


写真 V-2 実験水槽の試験区の配置

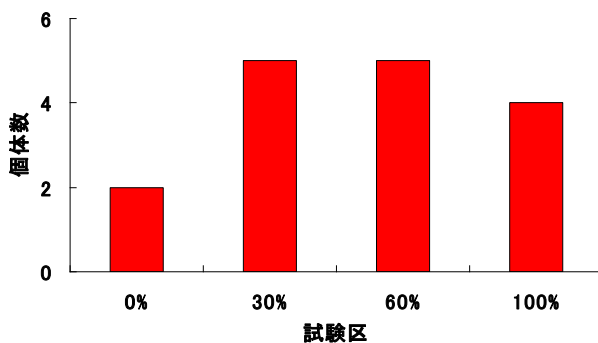


図 V-13 全形カキ殻を混入した砂泥によるイイダコの試験区への選択性の実験結果

※ 試験区の「%」は全形カキ殻を混入率を示す。

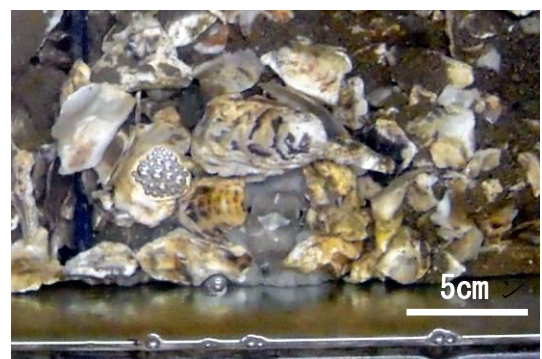


写真 V-3 カキ殻を利用して隠れるイイダコ

### (3) イカナゴ

60cm×29.5cm×36cm(深さ)の実験水槽の底面に全形カキ殻及び粒径 19.0 mm 未満、4.75 mm 未満、2.0mm 未満 (粉碎カキ殻を目合 19.0mm、4.75mm、2.0mm 分析用のふるいで選別した) の粉碎カキ殻を底曳網漁場の底土(岡山県倉敷市玉島小原地先で採取したもので、シルト・粘土分が 90%以上を占めている)の上に高さ 5cm で敷設し(写真 V-4)、その中に平均全長 7.0cm の活力の高いイカナゴ 5~10 個体を収容して潜砂状態等を確認した。

その結果、粒径の小さなカキ殻ほど潜砂率が高く、粒径 2.0mm 未満では全ての個体が潜砂した(図 V-14、写真 V-5)。カキ殻の使用により魚体に損傷を負う個体も見られたが、粒径 2.0mm 未満まで細かくすることで魚体の損傷はほとんど無くなり、1 カ月間の長期飼育でも斃死個体は無かった。また、実験水槽の一面に粒径 2.0mm 未満のカキ殻を高さ 15cm で敷設して調べたイカナゴの潜砂深度は、平均 8.7cm であった。

以上のことから、イカナゴに適したカキ殻の状態は、粒径 2.0mm 未満で敷設厚は 10cm 以上必要と考えられた。



写真 V-4 イカナゴの実験の外観 (粒径 4.75mm)

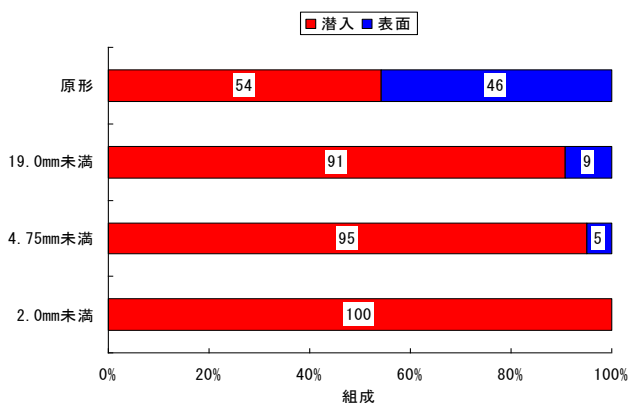


図 V-14 イカナゴのカキ殻の粒径別による潜砂個体数の割合 (%)

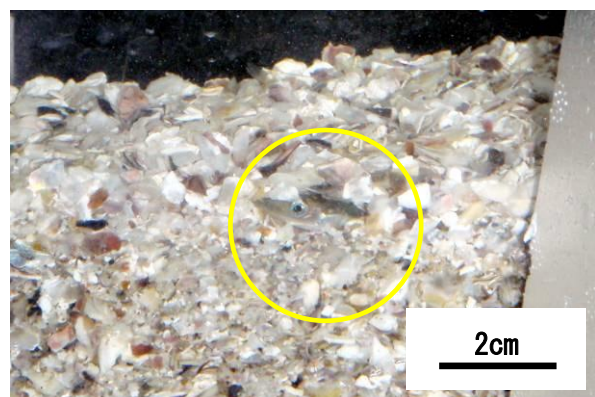


写真 V-5 カキ殻に潜砂したイカナゴ

#### (4) オニオコゼ

60cm×29.5cm×36cm(深さ)の実験水槽を、底面から高さ10cmの塩ビ板で仕切って29.5cm×30cmの2つの試験区に分け、6つの水槽を用意した。海砂採取跡地の底土(岡山県倉敷市六口島西側で採取したもので、中央粒径値は0.46mm)の上に全形カキ殻及び粒径19.0mm未満、4.75mm未満、2.0mm未満(粉碎カキ殻を目合19.0mm、4.75mm、2.0mm分析用のふるいで選別した)の粉碎カキ殻を高さ5cmで敷設し、表V-2に示したとおりの組み合わせで6種類の実験に供した(写真V-6)。各水槽の中央に平均全長6.5cmのオニオコゼ5個体を収容して、約12時間毎にオニオコゼの分布位置を記録し、各試験区に分布した個体を合計した。本実験に使用したオニオコゼは数日間、予備水槽で飼育し活力の高い個体を使用し、3回繰り返して実験を実施した。

その結果、カキ殻の粒径による着底率には顕著な差は見られなかったが、潜砂率については粒径4.75mm未満のカキ殻が47%で最も高く(図V-15)、これは敷設したカキ殻のせん断強度の差により粒径が細かな試験区ほど潜砂しやすかったためと考えられた(図V-16)。

表 V-2 実験水槽の試験区の組み合わせ

実験水槽	試験区
①	全形 VS 粒径19.0mm未満
②	全形 VS 粒径4.75mm未満
③	全形 VS 粒径2.0mm未満
④	粒径19.0mm未満 VS 粒径4.75mm未満
⑤	粒径19.0mm未満 VS 粒径2.0mm未満
⑥	粒径4.75mm未満 VS 粒径2.0mm未満

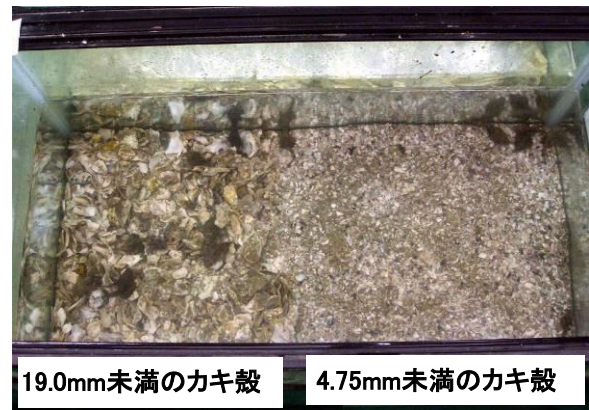


写真 V-6 実験水槽の外観

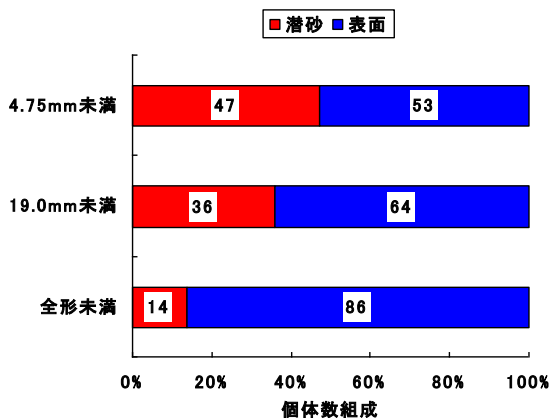


図 V-15 オニオコゼのカキ殻の粒径別による潜砂率の比較

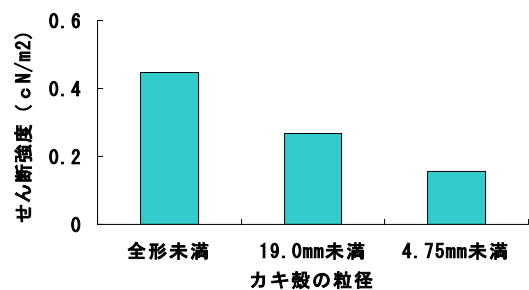


図 V-16 カキ殻の粒径別のせん断強度の比較

(5) サルエビ

60cm×29.5cm×36cm(深さ)の実験水槽を、底面から高さ10cmの塩ビ板で仕切って29.5cm×30cmの2つの試験区に分け、6つの水槽を用意した。海砂採取跡地の底土(岡山県倉敷市六口島西側で採取したもので、中央粒径値は0.46mm)に粉碎カキ殻を容積比により混入率0、30、60、100%に調整して混入したものを、表 V-3 に示したとおりの組み合わせで6種類の実験に供した(写真 V-7)。各実験水槽の中央にサルエビ10個体を収容して24時間後にサルエビの分布位置を記録し、各試験区に分布した個体を合計した。本実験に使用したサルエビは数日間、予備実験で飼育して活力の高い個体を使用し、3回繰り返して実験を行った。

その結果、粉碎カキ殻を混入しなかった底質ではサルエビの分布が67個体と最も多く、粉碎カキ殻の混入率が少ないほど多くなる傾向が見られた(図 V-17)。

表 V-3 実験水槽の試験区の組み合わせ

実験水槽	試験区
①	0% VS 100%
②	0% VS 30%
③	0% VS 60%
④	30% VS 60%
⑤	30% VS 100%
⑥	60% VS 100%

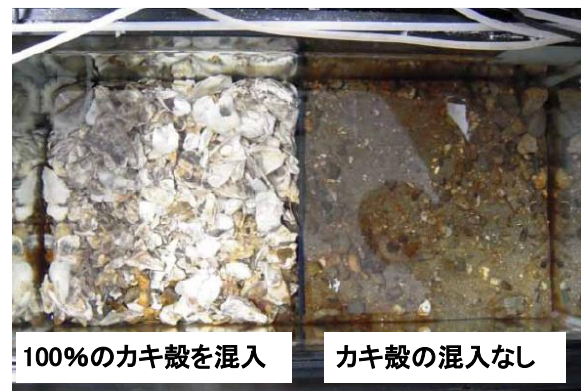


写真 V-7 実験水槽の試験区の配置

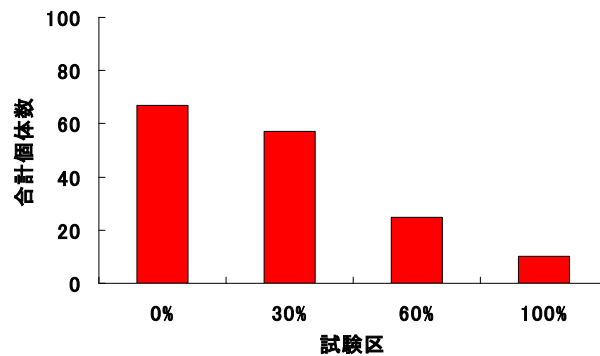


図 V-17 サルエビの試験区への選択性の実験結果

※ 試験区の「%」はカキ殻を混入した割合を示す。

#### 4. 投稿論文、学会発表等の資料、及び報告実績

- 1) 岡山県農林水産総合センター・全国漁業協同組合連合会・海洋建設株式会社:カキ殻等二枚貝の貝殻を利用した沖合浅場における底質改良材の開発. 第 11 回東京湾シンポジウム, 2010.
- 2) 原茂恭:貝殻利用技術の現状と展望. 瀬戸内・日本海縦断県技術士会 in 島根, 2010.
- 3) 田原実:カキ殻等二枚貝の貝殻を利用した沖合浅場における底質改良材の開発. 瀬戸内海研究フォーラム IN 徳島, 2010.
- 4) 藤澤真也・近藤正美・岩本俊樹・鳥井正也・穴口裕司・片山真基・田原実:カキ殻等二枚貝の貝殻を利用した閉鎖性海域における底質改良技術の開発. 第 36 回海洋開発シンポジウム論文集, 2011.
- 5) 田中丈裕・山本民次:カキ殻の物理的特性を活用した底質改善. 日本水産学会水産環境保全委員会シンポジウム, 2011.
- 6) 田原実・近藤正美・藤澤真也:カキ殻など二枚貝の貝殻を利用した沖合浅場における底質改良材の開発. 瀬戸内海研究フォーラム IN 大分, 2011.
- 7) 田中丈裕:漁業者による沿岸環境の保全・再生・管理. 2011 年度日本海洋学会秋季大会シンポジウム ～2012 年海洋保護区国際ネットワーク形成にむけた日本の方向性～, 2011.
- 8) 田中丈裕:“里海づくり”要素技術としての貝殻循環利用. いのちをはぐくむ瀬戸内海生物多様性地方座談会 in 広島, 2011.
- 9) 田中丈裕:貝殻利用による物質循環の促進. 環境省中央環境審議会瀬戸内海部会企画専門委員会現地ヒアリング, 2011.
- 10) 鳥井正也:水産系副産物であるカキ殻を利用した海域環境修復の取り組み. 第 26 回沿岸環境関連学会連絡協議会シンポジウム生物多様性条約第 10 貝締約国会議の成果と沿岸環境の研究・政策の展望 ～「愛知目標」を中心に～, 2011.
- 11) 田中丈裕:アマモと牡蠣の海 ～岡山県日生町漁協の取り組み～. まちづくりフォーラム「新しい里海のまちをめざして」, 2011.
- 12) 近藤正美:カキなど二枚貝の貝殻を利用した沖合浅場における底質改良材の開発. 平成 23 年度農林水産総合センター公開セミナー「地域における産学官連携と実用化技術の研究開発」, 2011.
- 13) 田中丈裕:カキ殻を利用した沿岸海域の修復・改善技術について, 財団法人漁港漁場漁村技術研究 漁場施設研究会 第 8 回研究例会, 2012.
- 14) 鳥井正也:カキ殻を利用した底質改良の取り組み. 瀬戸内海研究フォーラム IN 岡山, 2012.
- 15) NPO 法人里海づくり研究会議:アマモとカキの海 ～日生を里海に～ 「ひなせ千軒漁師の里」, 2012.
- 16) 田中丈裕:「アマモと牡蠣の海」 ～岡山県日生町漁協の取り組み. 志摩まちづくりフォーラム「新しい里海のまち」をめざして, 2012.
- 17) 山本民次・田中丈裕:カキ殻による底質改善における物理的効果と化学的効果. 水産海洋学会創立 50 周年記念大会, 2012.
- 18) 鳥井正也:カキ殻を利用した海域環境修復の取り組み. JF 全漁連 第 5 回貝殻利用と豊かな海づくり研修会, 2012.
- 19) 田中丈裕:カキ殻など二枚貝の貝殻を利用した生物生息環境改善工法. 国土交通省広島港湾空港技術調査事務所 第 3 回 民間技術説明会, 2012.

- 20) 田中丈裕: “里海づくり” 要素技術としての貝殻循環利用. 瀬戸内海, No. 63, pp56-58, 2012.
- 21) 山陽新聞: 倉敷沖 カキ殻海底環境改善実証実験 記事. 2012.
- 22) 田中丈裕: 貝殻利用による物質循環の促進. 牡蠣ガラによる漁場改良セミナー, 2013.

## 5. 参考文献

- 1) 上真一:瀬戸内海を里海に. 瀬戸内海研究会議編. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 8, 2007.
- 2) 山下洋:森・里・海とつながる生態系. 沿岸海洋研究, Vol. 48(2), pp. 131-133, 2011.
- 3) 柳哲雄編著:瀬戸内海の海底環境. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 43-77, 2008.
- 4) 藤原建紀:内湾の貧酸素化と青潮. 沿岸海洋研究. Vol. 48(1), pp. 3-15, 2010.
- 5) 山下洋:瀬戸内海を里海に. 瀬戸内海研究会議編, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 17, 2007
- 6) 岡山県農林水産部水産課:カキ殻の有効利用に係るガイドライン 平成 18 年 6 月 岡山県. pp. 1-16, 2006 .
- 7) 水産庁漁港漁場整備部:漁場造成における水産系副産物(貝殻)リサイクルガイドライン 平成 19 年 3 月. pp1-46, 2007.
- 8) 柿元皓:人工魚礁. 財団法人漁港漁場漁村技術研究所, 2004.
- 9) 監修 坂口守彦・平田孝, 水産資源の先進的有効利用法-ゼロエミッションを目指して-, pp301-314, 2005.
- 10) 藤澤真也・片山貴之・片山真基・清田健・藤井淳夫・伊藤靖: 廃棄貝殻を利用したイセエビの増殖施設の開発. 海洋開発論文集, Vol. 23, 585-590, 2007.
- 11) 藤澤真也・片山真基・村上由香里・山舘忠則・伊藤靖: 水産系副産物(貝殻)を利用したマナマコの増殖施設の開発. 海洋開発論文集, 25, 455-460, 2009.
- 12) 片山貴之・藤澤真也・塩見昌弘・伊藤靖: 貝殻餌料培養礁の藻場造成機能-愛媛県今治市の事例-. 平成 16 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 1-4, 2004.
- 13) 片山貴之・吉田創・田原実・柿元皓: 基質によるカジメの固着力の変化. 平成 14 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 65-68, 2002.
- 14) 宮城県水産林業部:カキ殻を用いたアサリ増殖場造成事業に関するガイドライン, 1998.
- 15) 藤沢邦康・三宅与志雄: カキ殻散布による底質改良試験-I. 岡山水試事報, 30-31, 1980.
- 16) Satoshi Asaoka・Tami ji Yamamoto・Shunsuke Kondo and Shinjiro Hayakawa: Removal of hydrogen sulfide using crushed oyster shell from pore water to remediate organically enriched coastal marine sediments, Bioresource Technology, 100, 4127-4132, 2009.
- 17) 広島県水産試験場:7-2 増殖制限因子による赤潮発生防止技術開発試験 B. カキ殻による赤潮生物抑制効果試験, 昭和 57 年度赤潮対策技術開発試験報告書 昭和 58 年 3 月. 18, 1983.
- 18) 川口修・山本民次・松田治・橋本俊也・高山晴義:人工中層海底を用いたカキ養殖場底質への有機物負荷軽減策の検討. 日本水産学会, 70 (5), 722-727, 2004.
- 19) 兵庫県「平成 20 年度環境技術実証事業 閉鎖性海域における水環境改善技術分野閉鎖性海域における水環境改善技術 実証試験結果報告書」[http://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/h20/02\\_h\\_1.pdf](http://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/h20/02_h_1.pdf) (2012 年 1 月 30 日)
- 20) 片山貴之・藤澤真也・廣田敏人・前田智彦・柿元皓: 港湾施設に設置した貝殻を利用した生物生息施設の効果. 海洋開発論文集, 25, 473-478, 2009.
- 21) 加村聡・藤澤真也・原茂恭・鳥井正也: 港湾施設への生物生息機能付加試験. 海洋開発論文集, 26, 741-746, 2010.
- 22) 加村聡・藤澤真也・片山貴之・齋藤達昭・田原実・岸本英昭: 港湾内に設置した生物生息基質の水質浄化機能の定量化. 海洋開発論文集, 27, 2011.
- 23) 小西秀則・牧野雅英・深山敏明: 廃棄物を有効利用した小規模排水高度処理システムに関する研



- 究について(第3報)-硝化反応、脱窒反応及び脱リン反応を用いた高度排水処理システム-. 石川県保健環境センター研究報告書, 46, 9-14, 2009.
- 24) 袋昭太・島多義彦: カキ殻を利用した水環境改善技術の開発ーカキ殻覆砂工法及びカキ殻フィルター工法-. フジタ技術研究報告, 41, 63-68, 2005.
  - 25) 山本保彦: 現代おさかな事典ー漁場から食卓まで. エヌ・ティー・エス, pp. 919, 1997.
  - 26) 森勝義: 貝類・甲殻類・ウニ類・草類. 恒星社厚生閣, pp. 247, 2005.
  - 27) Takeo IMAI・Seiichi SAKAI: STUDY OF BREEDING OF *JAPANESE OYSTER*, *CRASSOSTREA GIGAS*, Tohoku. journal of agricultural research, 12(2), pp. 125-171, 1961.
  - 28) 吉田創・田原実・片山貴之・片山敬一・柿元皓: 貝殻を利用した餌料培養基質の特性. 平成13年度水産工学会学術講演会講演論文集, 19-22, 2001.
  - 29) 大越健嗣: 貝殻・貝の歯・ゴカイの歯. 成山堂書店, 東京, 2001.
  - 30) 岩井保: 海洋資源生物学序説. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 55-57, 1995.
  - 31) 坪井清: カキ殻の走査型電子顕微鏡による観察. 岡山県水産バイオマス研究会発表資料, 2007.
  - 32) 和田浩爾・藤貫正: 軟体動物の生理調整における貝殻の形状と溶解の整理 I 環境水-外套液-貝殻間の化学成分の分配関係から見た水棲軟体動物による微量成分の貝殻への濃縮について. 国立真珠研報, 18, 2085-2110, 1974.
  - 33) 港湾・空港等リサイクル推進協議会: 港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針 平成16年3月25日. pp. 2)91-2)99, 2004.
  - 34) 頭島漁業協同組合・日生町漁業協同組合・復建調査設計(株): カキ殻処理施設工事に伴う調査設計業務報告書(調査編) 平成7年8月, 1995.
  - 35) 田中丈裕: 第4節カキ殻による漁場環境の改善[1]カキ殻による餌料培養, 沿岸の環境圏(平野敏行監修). フジテクノシステム, 東京, pp. 1226-1243, 1998.
  - 36) 寺嶋朴・松村眞作: 児島湾における干潟の底生生物. 昭和57年度岡山水試事報, pp. 104-119, 1983.
  - 37) 社団法人日本水産資源保護協会: 水産用水基準(2005年版). pp. 1-95, 2005.
  - 38) 日本水産資源保護協会: 第5章 底質調査法, 新編水質汚濁調査指針. pp. 237-345, 1980.
  - 39) 津田松苗・菊池泰二: 第2編 海洋, 環境と生物指標 2-水界編-. 共立出版株式会社, pp. 255-273, 1976.
  - 40) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会: 第3編 アサリ増殖場造成計画 第1章 アサリの生態と漁業, 沿岸漁場整備開発事業 増殖場造成計画指針 ヒラメ・アサリ編. 平成8年度版, pp. 123-164, 1997.
  - 41) 木曾三川河口資源調査団: ハマグリ、アサリの生息分布ならびに環境変化に対する抵抗性について, 木曾三川河口資源調査報告 第4号 下. pp. 1407-1416, 1967.
  - 42) 小倉紀雄: 2. 生物とその働き 2.2 底生生物(ベントス), 東京湾-100年の環境変遷-. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 77-101, 1993.
  - 43) 阿保勝之・坂見知子・伊藤文成: アサリによる水質浄化ーその実用化に向けて. 養殖, Vol. 38(11), pp. 120-123, 2001.
  - 44) 日本海洋学会: 4. ベントス調査, 沿岸環境調査マニュアル(底質・生物篇). 恒星社厚生閣, 東京, pp. 217-257, 1986.

- 45) 社団法人海洋調査協会:第4章 底生生物調査, 海洋調査技術マニュアル -海洋生物調査編- 第3版. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 97-124, 2006.
- 46) 深見公雄・玉置寛・和吾郎:高知県仁淀川における森林土壌からの栄養塩供給及び微細藻類へのその影響. 黒潮圏科学, 1, pp. 96-104, 2007.
- 47) 荒川好満:なまこ読本, マナマコの生物学・増殖及び利用. 緑書房, 1990.
- 48) 佐藤朱美・岡本健太郎・山本潤・牧田佳巳・峰寛明・田保知佳:追直漁港周辺に生息するマナマコの摂餌量定量化の試み. 平成19年度水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 63-64, 2007.
- 49) 倉田健悟・上月康則・村上仁士・仁木秀典・豊田裕作・北野倫生:内湾性水域におけるマナマコを利用した底質改善手法. 海岸工学論文集, 47, pp. 1086-1090, 2000.
- 50) 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:4 増殖構造物の餌料供給効果の便益の計測方法, 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 平成16年3月. pp. 7-20, 2004.
- 51) 玉井恭一:第9節マクロベントスの分布と生産, 沿岸の環境圏(平野敏行監修). フジテクノシステム, 東京, pp. 244-253, 1998.
- 52) 香川芳子:五訂増補食品成分表 2007. 女子栄養大学出版部, 東京, pp. 1-574, 2006.
- 53) 新井映子:ビジュアルワイド食品成分表. 東京書籍, 東京, pp. 1-309, 2012.
- 54) 山名裕介・浜野龍夫・五嶋聖治:マナマコの付着基質選択の季節変化. 水産大学校研究報告, 57(3), pp. 227-235, 2009.

## 6. 用語の説明

### 【あ】

**赤潮プランクトン**: 赤潮の原因となるプランクトン類の総称で、ラフィド藻類や渦鞭毛藻類など複数の分類群を含む。大量発生時に景観の悪化、悪臭の発生などの要因となる他、溶存酸素量の低下や毒素産出、付着による魚介類の呼吸阻害などを引き起こし、特に養殖産業に深刻なダメージとなることが多い。

**安息角**: 岩石、砂等を積み上げた時に、自発的に崩れることなく安定を保つ斜面の角度。構成粒子の粒度が大きいくほど、また、より角ばっているほど安息角は大きくなる。

**アンモニア態窒素**: 生物の死骸や排泄物などの分解から発生する化合物。硝化細菌により酸化され、亜硝酸態窒素、さらに硝酸態窒素へと変化するが、このとき大量の酸素を消費して急激に貧酸素化が進行するため、環境汚染の指標のひとつとなり得る。一方で、植物プランクトンに直接取り込まれるなど、その増殖・生長に関与する。

**栄養塩**: 海洋では植物プランクトン、海藻類の増殖・生長に必要な無機態元素で、特に主要な炭素、窒素、リンを指すことが多い。

**汚濁指標種**: 河川・湖沼・海洋等の水域の水質が自然レベル以上の物質濃度になったり、物質成分比が変化することにより、正常な水環境機能が損なわれた水質汚濁の状態を生物で表した環境指標である。

### 【か】

**環境指標種**: 生態学的によく研究され、生息できる環境条件が限られていることが判明している生物を指標生物、もしくは環境指標種という。単に指標種と言われる場合もある。特に生息できる環境が限られ、かつ、環境の変化に敏感な性質を持つ種を選定し、その分布状況等の調査をすることによって地域の環境を類推・評価することができる(生物指標)。

**擬糞**: カキなどの濾過食性二枚貝類は鰓の繊毛運動により水流を起こして周囲の浮遊有機物を取り込む際、餌として選別しなかったものを粘液で固め殻外に吐出する。これは一般の糞と区別して擬糞と呼ばれ、小型動物の餌として利用されることが知られている一方、過剰な養殖場の直下ではこれが堆積してヘドロ化の要因にもなっている。

**クロロフィル a**: ほぼ全ての植物に含まれる緑色の光合成色素で、一般には葉緑素として知られる。水質調査では植物プランクトン量を示し、蛍光測定法により得られる値は環境指標として用いられる。

### 【さ】

**作滞**: 浅海域や干潟域などに水路(滞筋)を作製し、停滞した流況を改善することにより海水交換を促進させる土木工事の手法のひとつである。

**浚渫**: 航路の確保や河川・ダム の水量確保などのために、底面を広い面積にわたって浚い底質を取り去る土木工事の手法のひとつである。物理的に汚濁物質を除去できるため即効性は高いが、これにより陸揚げされた底質は産業廃棄物として処理する必要がある、また、除去後の窪地に貧酸素水塊が発生することがある。

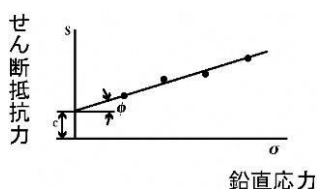
**硝酸態窒素**: 生物の死骸や排泄物などの分解から発生したアンモニア態窒素が硝化細菌により酸化されたときの最終生成物。植物プランクトンに直接取り込まれるなど、その増殖・生長に関与する。

**生物多様性:**生態系内に様々な生物群が混在していることを示し、「生物の多様性に関する条約」によれば「遺伝的多様性」、「種の多様性」、「生態系の多様性」の大きく3つのレベルで定義づけられる。言葉としては一般的となりつつあるが、大きな幅を持った概念でありそれぞれの視点によって評価尺度が変わるため、議論の主題により適切な評価手法を選択する必要がある。

**セディメントトラップ法:**海水中を沈降する粒子（沈降粒子と呼んでいる）を集める装置のことである。Sediment（すなわち沈殿物や堆積物の素）を trap(捕捉)するという意味である。単に、トラップと呼ばれることが多い。沈降する粒子の量や化学成分を調べて、海洋における物質循環のフラックスを明らかにするものである。

**せん断強度:**素材や構造物などが破断せずにせん断に耐え得る限界の強度である。底質については、トルク計等を使用して測定する。

**せん断抵抗角(内部摩擦角):**地盤が地すべりを起こした時、滑り面の摩擦を内部摩擦と呼び、その摩擦抵抗を鉛直応力(横軸)とせん断抵抗力(縦軸)の関係で表現した時の直線の横軸との角度( $\phi$ )である。砂質では大きく、粘土質では小さい角度となる。



せん断抵抗力  
 $s = c + \delta \cdot \tan \phi$

【た】

**濁度:**環境水の濁りを示す指標である。測定法には、比色管を用いた視覚測定法の他、透過光式、散乱光式、これらの比で示す積分球式などいくつかの手法がある光学式測定法があるが、いずれもカオリンもしくはホルマジン水溶液を標準液とした相対値で表す。

**多毛類:**環形動物門多毛綱に属する動物の総称である。ゴカイ類とも言う。

**中央粒径値:**底質など碎屑物の粒度分布を示す指標のひとつである。ふるい分けされた粒子径分布を全体重量における百分率の累積曲線で示し、その50%地点を値とする。なお、このときの粒径値 $\phi$ は $-\log_2 d$ で表され、例えば $\phi=2$ のときは $d=0.25\text{mm}$ 、4のときは $0.063\text{mm}$ となる。

**底生生物(ベントス):**水底を生活基盤として生息する生物の総称で、主に底生無脊椎動物を指すが底生藻類や底生魚類もこれに含まれる。体サイズによって分類する場合は、マイクロベントス(0.1mm未満)、メイオベントス(1mm未満)、マクロベントス(1mm以上)に大別され、特に4mm以上のものをメガロベントスと呼ぶこともある。また、これらとは別に生活空間によっても名称が分けられ、このとき、底土表面に生息するものを表在性ベントス、底土内部に潜入するものを埋在性ベントスとする。移動性が弱く、その多寡によって環境状態を把握する「環境指標種」として用いられる他、浮遊懸濁物や堆積物を直接摂餌するものについては、その環境浄化能が注目されている。

【な】

**軟甲類:**甲殻類のうち全体の2/3を占める、コノハエビ類、シャコ類、アミ類、端脚類、等脚類、エビ・カニ類などを含めた軟甲亜目に属する動物群の総称。底生生物や浮遊生物として魚介類の好適な餌料となるものが多い。

**ノルマルヘキサン抽出物:**水中の油分を示す指標となり、有機溶媒であるn-ヘキサンにより抽出され

る不揮発性の動植物油脂、脂肪酸、脂肪酸エステル、リン脂質などの脂肪酸誘導体、ワックスグリシ、石油系炭化水素などの総称。これらの油分は直接的もしくは間接的に魚介類の斃死を引き起こし、また着臭により商品価値を失わせる。試料に n-ヘキサンを添加して水層と分離し、乾燥させてその残渣を測定することで値を得るが、水質汚濁に係る環境基準(海域 A、B 類型)では「検出されないこと」と定められている。

## 【は】

**バイオターベーション(生物による攪乱作用)**:底生生物が、底土中に巣穴などを形成したり、底土中に含まれる有機物を直接摂餌・排泄したりするなどの生物活動により底土を攪乱すること。物理的な攪拌の他、間隙水の入れ替えが引き起こされるため、締固めを防ぐとともに、堆積物の好機的分解が促進される。ただし、その定量化に関しては、個々の小型動物の生活史やバイオマス、種間関係などが複雑に関係しており、有効範囲や解釈手法については未だ発展途上にある。

**バイオデポジション(生物源堆積現象)**:バイオデポジション(生物源堆積現象)とは、懸濁物食性の底生動物群集による直上水中の懸濁態有機物の堆積物への能動的な取り込みのことを言う。二枚貝類(ホタテガイ、カキなど)やホヤなどの原索動物は、海水中の懸濁物を濾過・摂餌し、自らの体を形成するとともに、懸濁物質を水中から取り除き、糞や擬糞として海底に堆積させる働きをする。これら濾過食性動物が、海水中の懸濁物質を取り除き、糞などを海底に堆積させる一連の過程。

**貧酸素水塊**:環境水中の溶存酸素量が極めて低い水塊で、閉鎖性海域や海底の窪地などで発生し、特に上層と下層の混合が起こりにくくなる高水温期に起こりやすい。堆積有機物が酸素を消費して分解することで引き起こされるが、発生後も嫌氣的分解が進行して有毒な硫化水素がしばしば生成される。さらに、風や潮流の作用によって移動し、ときには「青潮」として表層に吹き上げられ水産業に深刻なダメージを与えることもある。

**覆砂**:海底に堆積したヘドロの上を砂等により覆い、底質の環境改善を行う土木工事の手法のひとつである。表層の即時的な転換の他、栄養塩の溶出や溶存酸素消費を削減することで水質、生物相の改善・回復が見込めるが、台風などの大規模な底質攪乱時に効果が減少・消滅することもある。

**腹足綱**:軟体動物門に属する、いわゆる「巻貝類」の総称。いくつかの亜綱を持ち、ウミウシやナメクジ、クリオネなど一部殻部が縮小・退化したものも存在するが、概ね背面には巻貝を背負い、前端に頭部を備える他、腹面全体を足として機能させる。

**フラックス**:単位時間内に単位面積を通して輸送される物質やエネルギーなどの量である。

**補償深度**:光合成量が呼吸量と等しくなる光の強さ(補償点)は太陽高度の日周変動に伴い変動する。そこで、故障や海洋等では1日当たりの光合成量と呼吸量が等しくなる平均的な補償点、すなわち日補償点の深さを補償深度という。ふつう、補償深度は水中相対照度約1%の深さ(透明度の2~2.5倍の深さ)に相当する。日補償深度ともいう。

## 【や】

**ヨツパネスピオ**:多毛綱(ゴカイ類)の一種である。汚染海域に多く、汚染の指標種である。

【ら】

**粒度組成**:底質を構成する碎屑物の粒子径分布を全体重量における百分率で示したもので、粘土(0.004mm未満)、シルト(0.063mm未満)、砂(2mm未満)、礫(2mm以上)に分類される。さらに砂、礫については、極細砂、細砂、中砂、粗砂、極粗砂、細礫、中礫、大礫、巨礫に分類されることもある。

【わ】

【A~Z】

**ALC標識(アリザリンコンプレキソン)**:鮮紅色の蛍光物質であるALCを魚類の耳石や鱗、貝類の殻など硬組織に沈着させ標識とするもの。小型の魚や貝への大量標識が可能であり、標識の脱落が少なく保有期間が長いこと、標識個体の成長・生残に影響が少ないといった利点がある。

**AVS(酸揮発性硫化物)**:硫化物のうち酸揮発性硫化物のことであり、検知管法により容易に測定できる。硫化物は、底質に含まれる有機物等の分解過程において、酸素が消費されて還元状態となり、硫酸塩還元細菌の増加につれ硫酸根より硫化水素が生成され、これが底質中の金属等と結合して増加すれば、底生生物の生息に影響を与える。

**COD(化学的酸素要求量)**:底質に含まれる有機物量、有機性汚濁の指標である。底質の被酸化性物質を酸化剤によって化学的に酸化される際に消費される酸素量のことで、数値が大きくなるほど汚濁していることを示す。

**DO(溶存酸素量)**:水中に溶け込んだ酸素の量で、代表的な環境指標の一つである。ウインクラー法の他、隔膜電極法や比色法などにより簡易に測定ができる。水産用水基準(海域)では6ml/L以上と定められており、特に内湾漁場の夏季底層でも3ml/L以上を維持することが望ましいとされる。

**H'**:Shannon-Wiener関数により導かれる多様度を示す指数。 $-\sum (n_i/N) \log_2(n_i/N)$ の数式で表され、このとき $n_i$ は第 $i$ 番目の種に属する個体数、 $N$ は総個体数を示す。多様性を示す指標として広く用いられるが、「全ての種を平等に取り扱う」性格を持つため優占種が大きな割合を占めると低い値が示され、その他の希少種や指標種の存在が数値に反映しにくくなる。したがって、これらを設定している場合は種別の構成比などを併せて評価する必要がある。

**IL(強熱減量)**:底土中の有機物含量の指標であり、底土を強熱(約600°C)した際に生じる減少質量が占める割合を表したもの。

**MC(泥分含有率)**:泥分とは、シルト(粒径0.0039~0.0625mm)、粘土(粒径0.0039mm未満)の総称であり、泥分含有率はシルト及び粘土が底土に占める割合を表したもの。

**N値**:ボーリング工によって掘削された孔内を利用して実施される標準貫入試験の実測値である。63.5kgのハンマーを75cm落下させて試験用のサンプラーを30cm土中に打ち込むのに要する打撃回数をN値という。この値が大きくなるほど地層は硬い。

**ORP(酸化還元電位)**:底質の還元状態を示すもので、現場でORP計により測定する。底質に含まれる有機物等の分解過程において強度の還元状態となれば、底生生物の生息に影響を与える。

**P/B比(回転率)**:付着生物や底生生物の年間生産量を簡易的に推定するために、現地調査で収集した現存量×P/B比(回転率)で算定される。P/B比は種によって異なるが、「3」を採用<sup>50)</sup>されることが多い。

**pH**:水素イオン濃度のことで、溶液中の水素イオンの濃度をいう。溶液1L中の水素イオンのグラム当量数で表す。pHは0から14まであり、pH=7で中性、pH<7で酸性、pH>7でアルカリ性を示す。

**TC(全炭素)**：試料中に含まれる炭素化合物の炭素分濃度を表す指標である。

**TOC(全有機炭素)**：水中に存在する有機化合物中の炭素量のこと、この数値が大きくなるほど水中には有機物が多く、水質が汚濁していることを示す。

**TN(全窒素)**：試料中に含まれる窒素化合物の窒素分濃度を表す指標で、富栄養化の目安となる。

**TP(全リン)**：試料中に含まれるリン化合物のリン分濃度を表す指標で、富栄養化の目安となる。

**TS(全硫化物)**：硫化物は、有機性浮遊物等が底土上に沈降し、その分解によって酸素が消費されて還元状態になると、硫酸塩還元細菌の増殖によって硫化水素 ( $H_2S$ ) が発生し、これによって底質中に金属等とともに生成される。このため底質が悪変し、底生生物の生息に対して影響をあたえる。さらに状態が悪くなると、底質から上層の水に対して二次的な汚染がおこる場合もある。遊離硫化物と結合硫化物との和を全硫化物としている。

## 謝辞

現地調査の実施にあたり、岡山理科大学理学部 教授 北岡豪一博士、岡山大学大学院環境生命科学 研究科 教授 大久保賢治博士にご尽力いただくとともに、地元の小串漁業協同組合と黒崎連島漁業協同組合にご協力を頂いた。また、本ガイドラインの策定にあたっては、特定非営利法人里海づくり研究会 理事長の京都大学 名誉教授 奥田節夫博士、九州大学応用力学研究所 教授 柳哲雄博士、九州大学大学院工学研究院 准教授 清野聡子博士、元岡山県水産試験場 場長 尾田正氏、特定非営利法人里海づくり研究会 事務局 田中丈裕氏に多くの有益なご教示を頂いた。ここに記して謝意を表す。