

# カキ殻など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

## THE DEVELOPMENT OF BOTTOM IMPROVEMENT TECHNIQUES WITH BIVALVES SHELLS IN CLOSED SEA AREA

藤澤真也<sup>1</sup>・近藤正美<sup>2</sup>・岩本俊樹<sup>3</sup>・鳥井正也<sup>4</sup>・穴口裕司<sup>5</sup>・片山真基<sup>6</sup>・田原実<sup>7</sup>  
Shinya FUJISAWA, Masami KONDO, Toshiki IWAMOTO, Masaya TORII  
Yuji ANAGUCHI, Masaki KATAYAMA and Minoru TAHARA

<sup>1</sup>正会員 海洋建設株式会社(〒711-0921 岡山県倉敷市児島駅前1丁目75番地)

<sup>2</sup>岡山県農林水産総合センター水産研究所(〒701-4303 岡山県瀬戸内市牛窓町鹿忍6641-6)

<sup>3</sup>岡山県農林水産総合センター水産研究所(同上)

<sup>4</sup>岡山県農林水産部水産課(〒700-8570 岡山県岡山市北区内山下2-4-6)

<sup>5</sup>海洋建設株式会社(〒711-0921 岡山県倉敷市児島駅前1丁目75番地)

<sup>6</sup>海洋建設株式会社(同上)

<sup>7</sup>全国漁業協同組合連合会(〒101-8503 東京都千代田区 内神田1-1-12 コープビル7F)

To develop techniques for environment improvement and ecosystem restoration in closed sea area such as harbor, we covered waste oyster shells on the sea bottom with 1,000m<sup>2</sup> and 0.5m in depth and followed the progress for about one year. In/On the covered area, there were 64-94 macro benthos species, included useful animals such as sea cucumbers, baby octopuses and young dabs. That maximum biomass were 3,800 inds /m<sup>2</sup> and 1.14 kg w.w. /m<sup>2</sup>, which were as 1.9 times in inds and 28.5 times in wet weight as the control area's respectively. Those may cause the muddiness decrease above the covered area with bio-deposition and physical re-cloud suppress. Therefore, it is obvious to cover waste shell can clean up the polluted sea bottom within a relative short period of time.

**Key Words :** Closed sea areas, waste oyster shell, benthos, sea bottom improvement, Seto Inlands Sea

### 1. はじめに

近年、瀬戸内海の水質は改善傾向が見られる一方で、底質は長年にわたる沿岸開発や海砂利採取、汚濁負荷の蓄積により悪化したままであり、これが水産資源や生態系に多大な影響を及ぼしている<sup>1)</sup>。とくに閉鎖的な港湾区域内では、陸域からの流入負荷などにより海底のシルト化や有機汚濁が進み、底生生物相は著しく貧弱化している。底生生物相が貧弱化することは、それらを餌料とする生物にも悪影響を与えるため、海域全体の多様性を維持するためには健全な底質の回復が必須である。また、底生生物の活動により、底泥中の過剰に蓄積された有機物の分解、無機化の促進が期待されることから、底質改良技術の確立が求められている。

底質改良技術としては、古くからカキ殻が堆積した海底には底生生物が蟄集することが知られているが<sup>2)</sup>、近年ではカキ殻を敷設することによりアマモの地下茎を安定させる効果や底生生物量が増大・多様化する効果も確認されており、すでに一部の藻場や干潟では実用化が進められている<sup>3)</sup>。

そこで本研究では、閉鎖性の強い港湾区域内において、カキ殻を底質改良材として利用し、海域環境の改善と生態系の回復効果を調査するなど底質改良技術の開発を進めることとした。

### 2. 調査の内容および方法

#### (1) 調査海域および調査対象

調査を実施した岡山県倉敷市玉島小原地先は、玉島ハーバーアイランドやその西側の一文字防波堤に

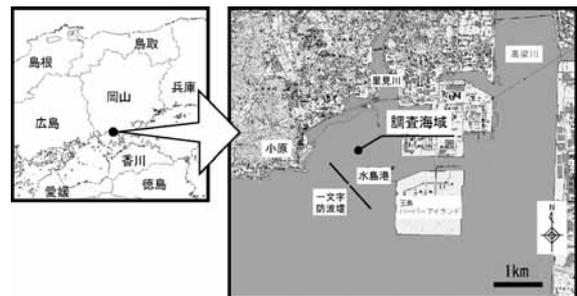


図-1 調査海域

囲まれた水島港内にあり、海底付近の流速は10cm/s以下で低流動的な閉鎖的の海域である(図-1)。

2009年12月に32m×32m(約1,000m<sup>2</sup>)、厚さ0.5mとなるようにガット船でカキ殻を敷設したD.L.-1.8mの泥底を試験区とした(図-2)。また、試験区から西側へ約55m離れた同水深、同底質の海底を対照区として同範囲で設けた。なお、2009年9月に両区で実施した事前調査では、水温(表層:両区ともに25.5、海底直上:25.6~25.7)、濁度(表層:3.0~3.2mg/L、海底直上:6.4~11.6mg/L)、クロロフィルa(表層:9.9~11.2μg/L、海底直上:10.9~12.2μg/L)、泥分率(95.2~97.8%)、強熱減量(8.7~8.9%)、全硫化物(0.29~0.33mg/g dw)、COD(15.45~17.29mg/L)、ORP(-274~-303mV)であり両区間に大きな差異は無かった。

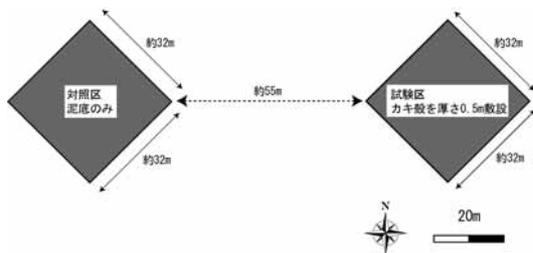


図-2 試験区と対照区の配置

### (2) 調査方法

調査は、2009年9月に事前調査を、2010年1月から2011年2月までに事後調査を8回行い、環境調査、底生生物調査、ベルトトランセクト調査などを実施した。

環境調査として水温、塩分、溶存酸素量、クロロフィルa、濁度などの測定をCompact-CTD(JFEアドバンテック(株))を使用して両区で行った。また、2010年11月8日から2011年1月15日までの69日間、両区の海底上0m(直上)、0.5m、1mに直径8.5cm、高さ20cmの円筒形セディメントトラップをそれぞれ3個ずつ設置し、浮遊物の堆積量を調べた。

底生生物調査は海底表面付近に生息していた生物を調べるために、スキューバ潜水により箱形の採泥器を用いて海底表面から深さ5cmまでの底質を0.1~0.3m<sup>2</sup>採取し、1mm目合の篩で濾して残った生物を取り出して、種別(2010年2月までは目別)に個体数、湿重量を測定した。さらに、底生生物の鉛直方向の分布を調べるために、直径21cm、長さ50cmのコアサンプラーもしくは25×25cm、高さ30cmの角柱型コドラートを使用して、海底表面から10cm(上層)、10~20cm(中層)、20~30cm(下層)、敷設したカキ殻直下の深さ10cmまでの原地盤(以下、「旧原地盤」といい、2010年6月のみ実施)に分けて底質を採取し、同様の方法で分析を行った。

ベルトトランセクト調査は、長さ25mのガイドラインを設置し、そのラインを基準に幅1~2mで確認されたマナマコなど水産有用種の個体数を潜水目視観察により計数した。

## 3. 調査結果

### (1) 環境調査

表層水温は2010年1月、2011年2月がそれぞれ7.3、8.8で低く、2010年8月が31.2で最も高くなった(図-3)。また、水深別にみると、2010年2、4月に表層で1ほど高くなった。塩分は水深1.5m、海底直上では30.6~32.9で推移していたが、表層については2010年2~6月に他の水深帯に比べて0.5~1.6低くなった。このように表層の水温や塩分に差が見られたのは、河川水の影響と考えられた。溶存酸素量は3.8~7.8mg/Lで推移し、秋季には水産用水基準による基準値4.3mg/L<sup>4)</sup>を下回ったが、常にペントスの正常な分布が保証される2.5mg/L以上<sup>5)</sup>であった。クロロフィルaは0.3~12.2μg/Lで推移し、夏季に高くなる傾向が見られた。水温、塩分、溶存酸素量、クロロフィルaは両区ともに同様の傾向で推移していた。

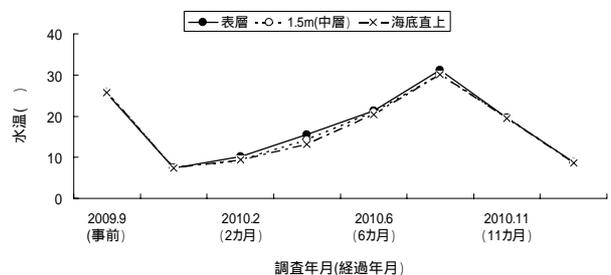


図-3 試験区で測定した水温の推移

濁度は、試験区の表層と中層は0.8~5.2mg/Lで推移していた。対照区は試験区とほぼ同様の傾向で推移していたが、海域全体に白波が目立つほどの強風が見られた2010年8月には表層12.5mg/L、中層34.1mg/Lと高くなった。また下層については、試験区は6mg/L以下で推移していたのに対し、対照区は4月以降に20mg/Lを超える高い値で推移していた(図-4)。これは、セディメントトラップによる浮遊物の堆積量調査より、表層には両区に差は無かったが、中層、海底直上では対照区が試験区に比べそれぞれ33.3g dw、71.0g dw多かったことから(表-1)、試験区の海底表面に堆積した浮遊物の波浪による再懸濁が対照区よりも小さかったためと考えられた。

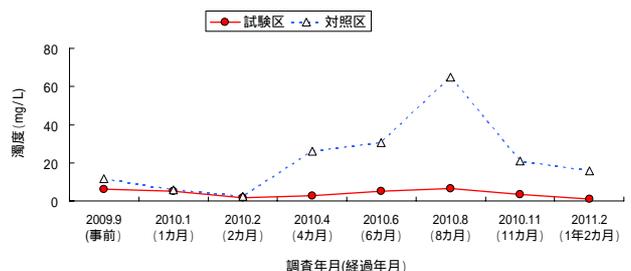


図-4 試験区と対照区の底層の濁度の推移

表-1 試験区と対照区の堆積物の平均重量

設置高さ (m)	69日間の堆積物の平均重量(g dw)		
	試験区 (A)	対照区 (B)	堆積厚 (B-A)
1.0	83.0	88.3	5.3
0.5	65.5	98.8	33.3
0	67.0	138.0	71.0

(2) 底生生物調査

a) 海底表面付近の分布

2010年4～11月の底生生物の出現種数は、試験区では64～94種で推移しており、対照区に比べて20～78種多かった(図-5)。また、試験区の個体数、湿重量は2010年2月以降に増加し、2010年8月にはそれぞれ3,800個体/m<sup>2</sup>、1,143.5g/m<sup>2</sup>で最大となり、対照区との差はそれぞれ1.9倍、28.5倍であった(図-6)。

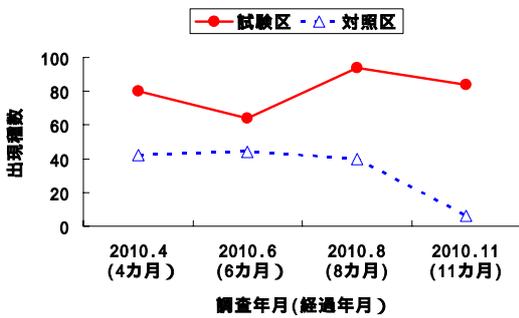


図-5 試験区と対照区の底生生物の出現種数の推移

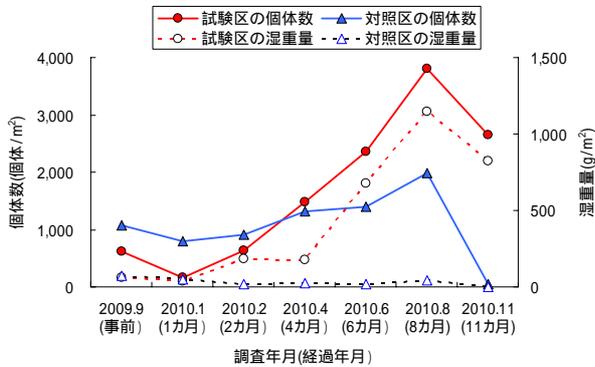


図-6 試験区と対照区の底生生物の個体数、湿重量の推移

底生生物が最大であった2010年8月を見ると、個体数ではほとんどの生物群で試験区が対照区よりも多く、試験区では多毛綱、二枚貝綱、対照区では軟甲綱が優占していた(図-7)。対照区の軟甲綱が優占していたのは、泥底を主な生息場とするドロクダムシ科が大量に発生したためである。また、湿重量においてもほとんどの生物群で試験区が対照区よりも多く、両区ともに二枚貝綱が優占していたが、その差は試験区が対照区よりも49.3倍多かった(図-8)。

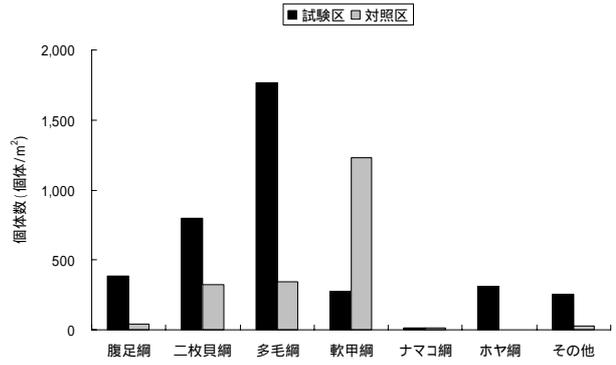


図-7 2010年8月の試験区と対照区の底生生物の生物群別による個体数の比較

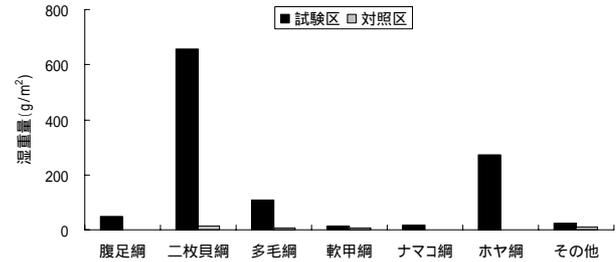


図-8 2010年8月の試験区と対照区の底生生物の生物群別による湿重量の比較

事前調査での両区の底生生物の類似度は高かったが、カキ殻敷設後では低くなる傾向が見られた(表-2)。また、試験区において多様性を示すPielouの均衡度指数J', Simpsonの多様度指数Dが敷設2ヵ月後より大きくなる傾向が見られた(表-3)。これらのことから、カキ殻敷設により試験区の底生生物相が変化し、多様化していることが窺えた。

表-2 試験区と対照区の底生生物の類似度の変化

調査年月	試験区	対照区	共通目数c	類似度			
	出現目数a	出現目数b		Cj	Co	Cs	Cns
2009.9 (事前)	15	17	14	<b>0.78</b>	<b>0.88</b>	<b>0.88</b>	<b>0.93</b>
2010.1 (1ヵ月)	13	16	8	0.38	0.55	0.55	0.62
2010.2 (2ヵ月)	21	20	12	0.41	0.59	0.59	0.60
2010.4 (4ヵ月)	32	22	13	0.34	0.52	0.51	0.65
2010.6 (6ヵ月)	29	18	8	0.21	0.35	0.34	0.44
2010.8 (8ヵ月)	32	20	12	0.30	0.47	0.46	0.60
2010.11 (11ヵ月)	34	4	4	0.12	0.34	0.21	1.00

) Cj = c / (a+b-c), Co = c / a, Cs = 2c / (a+b), Cns = c / b

表-3 試験区と対照区の底生生物の多様度の変化

調査年月(経過年月)	2009.9 (事前)	2010.1 (1ヵ月)	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)
試験区 出現目数S	15	13	21	31	29	32	34
J'	0.75	0.67	<b>0.80</b>	<b>0.80</b>	<b>0.76</b>	<b>0.68</b>	0.67
D	0.82	0.69	<b>0.88</b>	<b>0.91</b>	<b>0.90</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>
対照区 出現目数S	17	16	20	20	18	20	4
J'	<b>0.82</b>	<b>0.79</b>	0.73	0.69	0.66	0.52	<b>0.87</b>
D	0.88	0.85	0.85	0.81	0.78	0.63	0.71

注) 海綿動物門、苔虫動物門など計測不能の生物群に関しては全て個体数を1として計算した。

以上のことから、敷設後1年未満の結果ではあるが、試験区の海底表面付近では底生生物が多様化、増大していた。これは、カキ殻による間隙が底生生物の生息場として適していたこと<sup>6)</sup>、<sup>7)</sup>、濁度低下により光量が増加して海底表面の藻類が繁殖<sup>8)</sup>し底生生物の餌料が増大した可能性が考えられた。

#### b)鉛直分布

カキ殻敷設後の底生生物の平均出現種数は海底表面に近いほど多く、試験区の上層では58種、対照区では29種で最大であった(表-4)。この傾向は、個体数および湿重量でも同様であった。また、試験区と対照区の差は上層で大きくなる傾向があり、中層、下層では差は小さかったことから、試験区の底生生物は海底表面から深さ10cmまでの範囲でとくに増大していることが分かった。

表-4 カキ殻敷設後における試験区と対照区の層別による底生生物の生物量の平均値

層	出現種数			個体数(個体/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	58	29	29	2,619	1,270	2.1	582.6	24.8	23.5
中層	30	16	14	573	345	1.7	48.4	21.1	2.3
下層	23	9	15	405	151	2.7	25.8	13.0	2.0

出現種数は種までの分析を実施した2010年4月以降の結果を平均した。

旧原地盤の底生生物は対照区上層と比べ、出現種数では17種少なく、個体数では0.6倍、湿重量では0.8倍に減少していた(表-5)。また、優占種は対照区上層がシズクガイ、旧原地盤が多毛綱と異なっていた。このように、厚さ0.5mのカキ殻敷設により旧原地盤に生息していた底生生物の種や量は変化したが、その厚さを調節することで影響を小さく出来るものと考えられた。

表-5 旧原地盤と対照区上層の底生生物量の比較

項目	出現種数	個体数(個体/m <sup>2</sup> )	湿重量(g/m <sup>2</sup> )
旧原地盤(a)	12	647	5.0
対照区(b)	29	1,160	6.6
(a/b)	-17 <sup>1)</sup>	0.6	0.8

出現種数はa-bで求めた。

#### c)底生生物による浄化機能

事前調査および対照区で見られず、敷設後に試験区で増加した生物群は、触手動物門、新ヒザラガイ目、側鰓目、フネガイ目、ミノガイ目、カキ目、マメボヤ目などで、その多くはカキ殻などの基質に着生し、水中懸濁物を濾過・摂食する生物群であった<sup>9)</sup>。

川口らはこれら底生生物が有機物負荷を軽減するのに大きく寄与することを指摘しており<sup>10)</sup>、原口らは高水温時には取り込んだ有機炭素の16~61%が呼吸により分解されていることを明らかにした<sup>11)</sup>。さらに、片山らはこれら底生生物が高次栄養段階の生物に捕食されることで、最終的に有機炭素の系外

除去が促進、補完されることを示唆している<sup>12)</sup>。同様に、加村らは(本シンポジウム予定)貝殻を満充填し水中で約9カ月経過した15cmの貝殻基質に着生した生物が有機態窒素を約64.5mg/m<sup>2</sup>/hの速さで無機化することを指摘している<sup>13)</sup>。

このようなことから底生生物が増大することは、底質の浄化、除去が積極的に行われることを含意しており、さらに濁度の改善はこの働きを促進するものと考えられた。

#### (3) ベルトトランセクト調査

##### a) マナマコ

事前調査において両区ともにマナマコを確認できなかったが、2010年2月以降の調査では対照区よりも試験区に高い密度で分布していた(図-9)。試験区のマナマコは2010年4月に3.6個体/m<sup>2</sup>で最大となり、その後水温が上昇し夏眠期に近づくとともに減少し、2010年11月には0.1個体/m<sup>2</sup>と最小になった。再び水温が低下した2011年2月には0.9個体/m<sup>2</sup>となり、前年2月と同程度まで密度が高くなった。

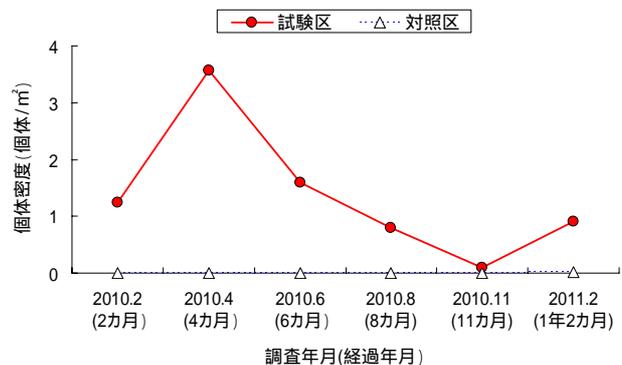


図-9 試験区と対照区で確認されたマナマコの分布密度(個体/m<sup>2</sup>)の推移

2010年2月に試験区で採取したマナマコの体長は40~140mmであり、その内、体長40~80mmの個体群は2009年春季に発生したもの<sup>14)</sup>、<sup>15)</sup>と考えられた(図-10)。2010年2月以降、体長40~80mmの個体群の割合は時間の経過とともに減少し、それに伴って大型の体長の個体群の割合が増加した。2010年8月、11月には体長40~80mmの個体群は見られなくなった。2011年2月には2010年の春季に発生したものと判断される体長40~80mmの個体群が出現し、試験区への新規加入が繰り返されていると考えられた。

潜水目視で試験区に分布していたマナマコを観察すると、摂餌を頻繁に行う行動がみられ、本種の周辺には糞が多く散乱していた。また、マナマコが蟻集した場所にはカキ殻表面の堆積物が減少し、露出したカキ殻による白色の海底が目立っていた(写真-1)。これらのことにより、本種の活動も水中の濁度の改善に寄与していると考えられた。

また、カキ殻を混入した泥を底面に設置した水槽に本海域で平成23年1月に採集したマナマコ(平

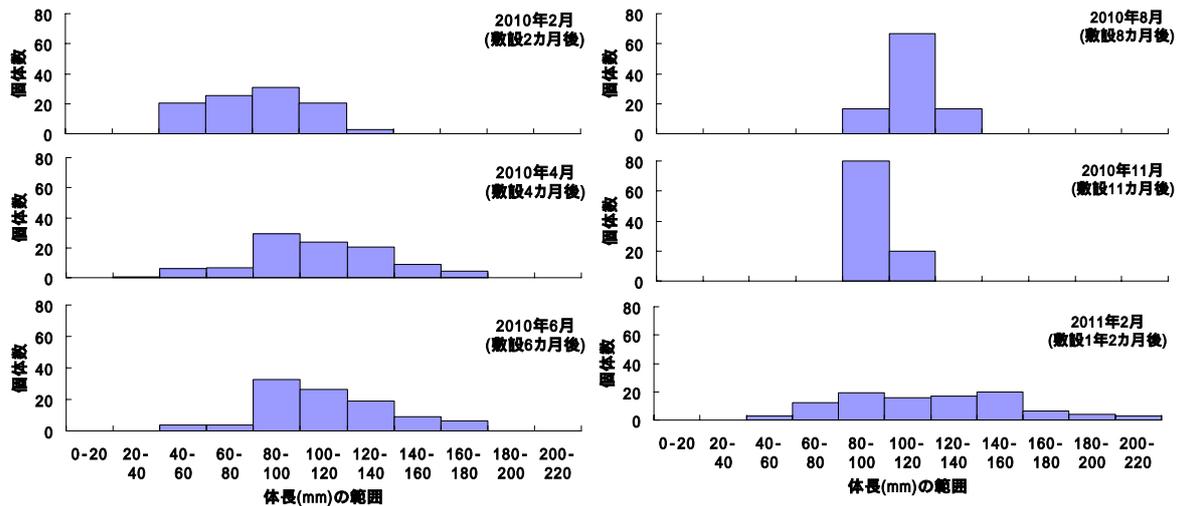


図-10 試験区で採取したマナマコの体長別による個体数組成

均体長161mm, 平均殻重量54g) 3個体を収容して飼育を行った実験では40日後の底質表面のORPの値は+149mVであり, その対照としてマナマコを収容しなかった同条件の水槽の+76mVと比べて改善が確認された(未発表). さらに本種の生活活動により, 硫化物, 有機物, リンが除去されることが報告されている<sup>14), 16)</sup>. これらのことから, 本種の活動により試験区表面の底質環境が改善されているものと考えられた.

カレイ科稚魚(写真-3)は本種の着底期<sup>17)</sup>以降の2010年4, 6月に出現し, 2010年8月以降の調査では見られなかった. 多く出現した2010年4月の密度は, 1m<sup>2</sup>当たり0.24個体で対照区より12倍多く, 試験区で見られた個体は主に敷設したカキ殻による凹みに分布していた. これは, 試験区に増大した底生生物を効率よく摂餌するために蟄集した<sup>7)</sup>可能性が考えられた.



写真-1 試験区で確認されたマナマコ(円内)の様子



写真-3 試験区に蟄集していたカレイ科稚魚

b) イイダコ, カレイ科

イイダコは対照区では確認されず試験区のみで出現し, その密度は1m<sup>2</sup>当たり0.02~0.04個体であった. イイダコはカキ殻間の隙間に潜入している個体がほとんどであり, 2010年4月にはカキ殻の内側に卵を産み付けた個体も見られ(写真-2), 試験区を隠れ場や産卵場として利用していた.



写真-2 カキ殻に産み付けられたイイダコの卵

4. まとめ

水温, 塩分, 溶存酸素量, クロロフィルa, 浮遊物の堆積量には両区の間には大きな差異は見られなかった.

試験区の海底直上の濁度は調査期間中6mg/Lで推移していたが, 対照区では4月以降20 mg/Lを超えることが多く, これは試験区に敷設したカキ殻が海底表面に堆積した浮遊物の再懸濁を抑制しているためと考えられた.

海底表面の底生生物の種類数は64~94種で対照区より20~78種多かった. 個体数, 湿重量についても同様の傾向で, 試験区は2010年8月にそれぞれ3,800個体/m<sup>2</sup>, 1,143.5g/m<sup>2</sup>と最大になり, 対照区よりそれぞれ1.9倍, 28.5倍多かった.

試験区では, とくに海底表面から深さ10cmまでの範囲で底生生物が増大していた.

試験区の底生生物相はカキ殻敷設直後から多様化し、水中懸濁物を濾過、摂食する生物群も増加していたことから、底質の浄化、堆積物の除去が積極的に行われていると考えられた。

試験区には、マナモコ、イイダコ、カレイ科などの水産有用種が多くみられ、生息場、産卵場として利用していた。またマナモコの活動により、底質の浄化、堆積物の除去が期待された。

試験区で濁度が改善したのは、増大した底生生物やマナモコなどの活動により海底表面の底質(堆積物)が除去されていることも大きな要因として考えられた。

濁度の改善は海底表面の藻類の発生に寄与し、底生生物やマナモコなどの餌料増大に繋がるものと考えられた。

短期間の結果のため引き続き経年的な変化を追跡していく必要があるものの、本来、海域に由来した自然物であるカキ殻を底質改良材として底質のシルト化や有機汚濁が進んだ港湾区域内に敷設することは、底生生物が増大し生態系の健全化や水産資源の増大にも繋がることも期待され(図-11)、生物に配慮した港湾・海岸造りに役立つものと考えられた。また、貝殻をバイオマス資源として有効利用するためには、事業主体における十分な管理の下で実施することが大切であり、生物の効果的な発生が行えるような無駄のない貝殻資源の有効活用法を検討し実施する必要がある。

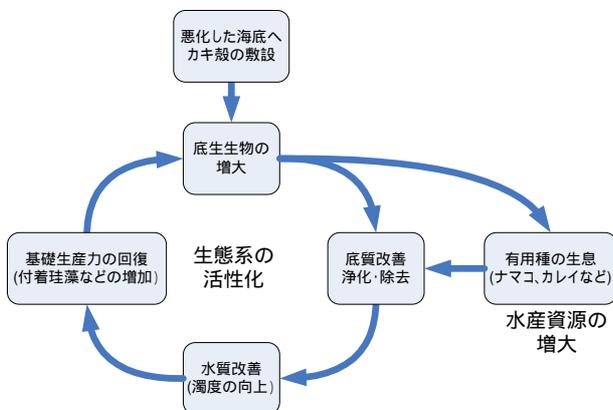


図-11 敷設したカキ殻による底質改良の効果のフロー

謝辞：本研究を実施するに当たり、ご指導頂きました京都大学 奥田節夫 名誉教授、九州大学応用力学研究所 柳哲雄 所長、九州大学院工学研究院環境都市部門 清野聡子 准教授、農林水産技術情報協会 關哲夫 氏に心よりお礼申し上げます。また、調査実施にご協力頂きました黒崎漁業協同組合の組合員の皆様に感謝の意を表します。

なお本研究は、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」の研究資金により行われたものである。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省中国地方整備局・(財)港湾空間高度化環境研究センター、瀬戸内海における環境修復計画調査報告書 平成 16 年 3 月, 2004.
- 2) 鳥井正也, 水産系副産物(貝殻)の漁場造成事業への活用, 水産工学, 44(3), pp 205-209, 2008.
- 3) 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.
- 4) 社団法人全国漁港漁場協会, 水産基盤整備事業における環境配慮ガイドブック 平成 15 年 7 月, pp 9-20, 2003.
- 5) 柳哲雄, シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ. 沿岸海洋研究ノート, 26(2), 141-145: 1989.
- 6) 野田幹雄・田原実・片山貴之・片山敬一・柿元皓, 内部空隙をもつ管状基質が無脊椎動物, 特に魚類餌料動物の加入に与える効果, 水産増殖, 50(1), pp 37-46, 2002.
- 7) 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.
- 8) 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および微細藻類へのその影響. 黒潮圏科学, 1, 96-104: 2007.
- 9) 稲葉明彦: 増補改訂 瀬戸内海の生物相. 広島大学理学部附属向島臨海実験所, 1988.
- 10) 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. 日水誌, 70(5), 722-727: 2004.
- 11) 原口浩一, 山本民次, 片山貴之, 松田治. 人工魚礁に形成される食物連鎖を通じた炭素フロー. 日水誌, 75(5), 810-818: 2009.
- 12) 片山貴之, 加村聡, 原口浩一, 伊藤靖: 貝殻魚礁における魚類の摂餌状況. 平成 20 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, 20, 83-86: 2008.
- 13) 加村聡, 藤澤真也, 片山貴之, 齋藤達昭, 岸本英昭, 田原実. 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. 本シンポジウム論文集, 2011.
- 14) 荒川好満, なまこ読本, マナモコの生物学・増殖および利用, 緑書房, 1990.
- 15) 赤池章一, ナマコ放流技術の現状と課題, 平成 19 年度「育てる漁業研究会」ナマコの栽培漁業について 講演要旨集, pp.39-51, 2008.
- 16) 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モコを利用した底質改善手法, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.1086-1090, 2000.
- 17) 伊藤靖・中野喜央・藤澤真也, 人工魚礁におけるマコガレイの分布と食性 - 漁場施設の魚類増殖効果に関する研究 - , 水産工学, Vol.45, No.2, pp.129-138, 2008.