

豊前海沖合域における覆砂による底質改善効果

江藤 拓也・佐藤利幸・長本 篤・上妻智行*
(豊前海研究所)

Effect on Improvement of Bottom Sediment by Sand Capping in the Offshore area of Buzen Sea.

Takuya ETOU, Toshiyuki SATOU, Atushi NAGAMOTO and Tomoyuki KOUZUMA*
(Buzenkai Laboratory)

豊前海福岡県地先は底質の有機汚染が進行した状態にあり、底生動物の多様性が低い海域である¹⁾。さらに、夏季の高水温期に底層で貧酸素水塊が形成されるなど、底質の改善が急務となっている²⁾。

豊前海では約10年前から覆砂事業による底質改善の試みが行われており、浅海域（小型底びき網操業区域：水深10m以浅）の改善効果については、すでに報告されている^{3) 4)}。しかし、沖合域（小型底びき網操業区域：水深10m以深）については調査がなく、覆砂の効果は明らかにされていない。そこで、豊前市地先の沖合域の覆砂施設を対象に物理・化学的調査等を行い、覆砂による漁場環境改善効果と、漁場としての利用の実態について明らかにしたので報告する。

方 法

福岡県豊前市地先において、1998～2001年に豊前海沖合域大規模漁場保全事業として行われた図1に示す覆砂施設（面積 0.5km × 1.0km, 砂厚30cm）周辺を調査海域として、覆砂区とそこから南へ500mの地点を対照区（非覆砂区）として '03年から'04年にかけて調査を行った。

1. 物理・化学的調査

(1) 覆砂施設の形状変化

覆砂施工後の形状変化を明らかにするため、施工後5年経過した覆砂施設（'98年11月施工）において、コア（内径3cm）を用いて、無作為に5箇所の砂厚および浮泥量（覆砂上に堆積している泥）を測定した。また、流れの影響を確認するために、施工前の'97年11月6～22日にかけて図2に示す定点において電磁流速計（アレック電子）

を用いて底層（底上0.3m）の流れを測定した。なお、流れの測定は（株）阪神臨海測量に委託した。

(2) 底質調査

'03年8, 11月および'04年2, 5月の計4回、図2に示す調査地点でコア採泥器を用いて採泥を行い、底泥表面から3cmまでを分取し、この試料を用いて硫化物量、強熱減量の測定を行った。試験方法は、水質汚濁調査指針⁵⁾に準じて行った。

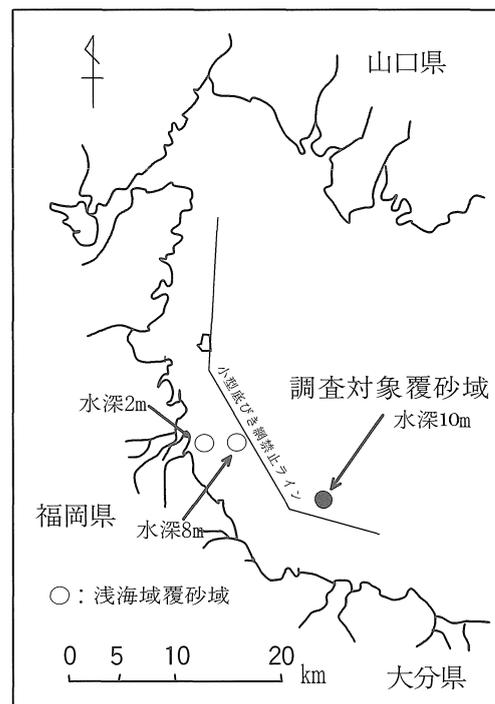


図1 調査海域

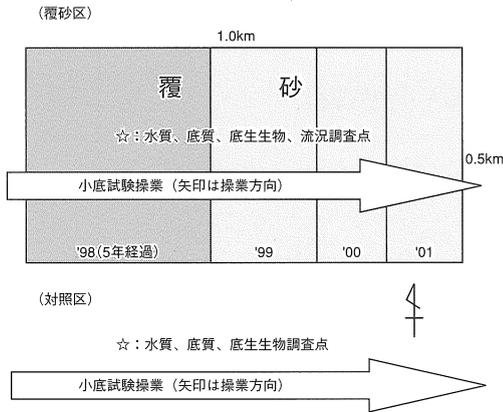


図2 覆砂施設及び調査点

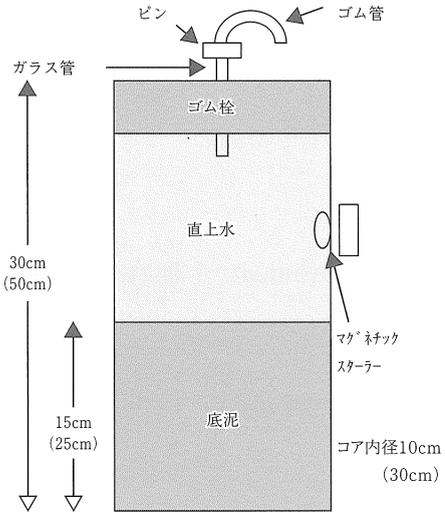


図3 室内試験図
上段：酸素消費速度試験、下段 ()：窒素溶出速度試験

(3) 水質調査

'03年7～9, 11月及び'04年2, 5月の月1回, 図2に示す調査点でDOメーター (YSI社製) を用いて覆砂区と対照区における底層の溶存酸素濃度を測定した。

(4) 室内試験による酸素消費速度と窒素溶出速度

試験方法の概要を図3に示した。酸素消費速度測定は長さ30cm, 内径10cm, 窒素溶出速度測定は長さ50cm, 内径20cmの亚克力製コアサンプラー (コア) を使用し, 覆砂区と対照区で潜水により底質の形状を乱さないように採泥した。採泥の厚さは酸素消費速度測定が15cm, 窒素溶出速度測定が25cmとした。船上で泥が巻き上がらないようにコア内の海水をサイホンで取り除いた後, 採水器を用いて底層水を採水し, 50 μ mのネットですろ過し, この底層水をコア内に注入した。

実験室に持ち帰った後, コアを恒温室に設置し, 底質表面が乱れないように側面からマグネットスターラーを用いて攪拌しながら, 採水時の水温, 暗所の条件で24時間放置を行った。

試験区は覆砂区, 対照区及び底層水区 (底層水のみをいれたもの) の3区とし, 各試験区のコアの本数は1回の試験につき1本とした。コア内の海水酸素濃度はYSI社製溶存酸素計 (M50) を用いて測定した。栄養塩濃度は放置前の底層水と24時間放置後のコア内の海水をガラスフィルター (GFC) ですろ過した後測定した。測定は, 水質汚濁調査指針⁵⁾ に準じて行った。底層水注入前の酸素濃度及び栄養塩濃度と24時間放置後のそれらの差から底層水の酸素消費と栄養塩溶出量を求め, 底泥による酸素消費速度と栄養塩溶出速度を算出した。試験は, '03年7～9月の月1回行った。なお, 試験の方法は覆砂事業計測マニュアル⁶⁾ に準じて行った。

図3 室内試験図

2. 生物調査

(1) 底生生物 (マクロベントス)

'03年8, 11月及び'04年2, 5月の月1回, 図2に示す調査点でスミスマッキンタイヤー型採泥器 (1/20m²) を用いて1回採泥を行い, その場で採取した底泥を1mmの目合のふるいで処理し, 残存物に10%ホルマリンを加え固定した。底生動物の同定・計数は (株) 日本海洋生物研究所に委託した。

(2) 有用生物 (小型底びき網)

調査は'03年8, 11月及び'04年2, 5月の月1回, 小型底びき網2種 (えびこぎ網), '04年2月に小型底びき網3種 (けた網) を用いて試験操業を行った。試験は当該海域の操業実態を反映させるために, 5, 2月は昼間, 8, 11月は夜間に, 曳網速度は2.5ノットとし, 曳網時間は10分間で行った。

3. アンケート調査

'04年12月に豊前海区の全小型底びき網漁業者142人を対象として, 今回調査対象とした覆砂施設に関するアンケート調査を行った。アンケートは小型底びき網協会を通して配布・回収した。

結 果

1. 物理・化学的調査

(1) 覆砂施設の形状変化

砂厚と浮泥量は表1に, 底層の実測流を図4に示す。5年経過した覆砂施設の砂厚は平均21.4cmと設計値

30.0cm と比較すると約7割に減少していた。浮泥量は平均0.9cmであった。

大潮時の底層の実測流は、東西方向の流れが卓越しており、流速は最大で13cm/secであった。今回の覆砂に使用された砂のMd φは0.7であり⁷⁾、この値はMd φ0.4～1.45の砂の掃流限界流速⁸⁾である40cm/sec以下であった。

表1 覆砂5年経過後の砂厚と浮泥量の比較

No	砂厚 (cm)	浮泥量 (cm)
1	22.0	0.5
2	19.5	1.0
3	23.0	0.5
4	22.0	1.5
5	20.5	1.0
平均値	21.4	0.9

※設計値の砂厚は30cm

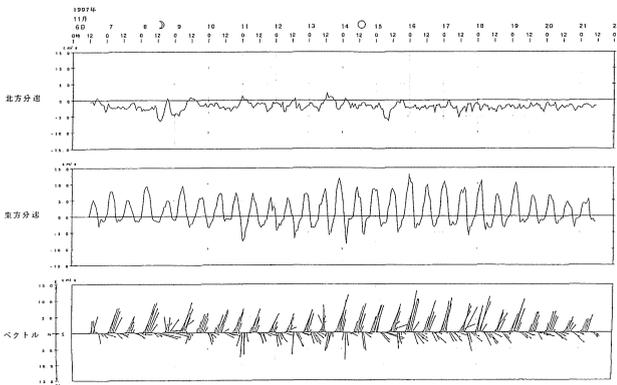


図4 覆砂区の底層の流れの実測値

(2)底質調査

硫化物濃度、強熱減量の測定値と平均値を表2に示す。

表2 底質環境の比較

	調査月日	覆砂区(A)	対照区(B)	A/B*100
硫化物 (mg/乾泥g)	'03 8/11	0.15	1.26	
	11/14	0.12	0.66	
	'04 2/27	0.09	0.61	
	5/14	0.14	0.45	
	平均	0.13	0.74	17%
強熱減量 (%)	'03 8/11	4.9	13.1	
	11/14	2.4	9.0	
	'04 2/27	3.4	9.8	
	5/14	2.4	8.8	
	平均	3.3	10.2	32%

硫化物濃度は覆砂区で平均で0.13mg/g 乾泥と低く、対照区で0.74mg/g 乾泥と高い値を示した。対照区の'03年

8,11月,'04年2月には1.26,0.66及び0.61mg/g 乾泥を示し、底生動物の生息に影響を与える値(0.50mg/g 乾泥)⁹⁾を上回った。有機物量の指標となる強熱減量は覆砂区で平均で3.3%と低く、対照区で10.2%と、覆砂区は対照区の1/3の値を示した。

(3)水質調査

底層の溶存酸素濃度の測定値を図5に示す。

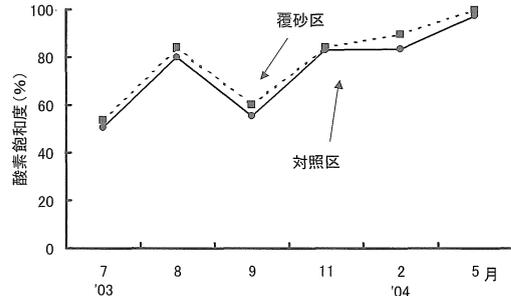


図5 底層の溶存酸素濃度の比較

調査期間中、覆砂区は対照区に比べて、やや高い値を示した。なお、夏季の高水温時に底層の貧酸素水塊はみられなかった。

(4)酸素消費速度と窒素溶出速度

酸素消費速度と窒素溶出速度の結果を表3に示す。

表3 室内試験による酸素消費速度と窒素溶出速度

	酸素消費速度 (mg/m ² /day)		窒素溶出速度 (mg/m ² /day)		底層水温 (°C)	
	覆砂区 (A)	対照区 (B)	覆砂区 (A)	対照区 (B)		
'03年7/28~29	158	196	44	74	23.2	
'03年8/11~12	144	353	31	101	24.5	
'03年9/10~11	190	283	10	25	26.0	
	164	277	59	28	67	43

酸素消費速度は、いずれも対照区で高い値を示し、平均値で比較すると覆砂区164mg/m²/dayであるのに対し、対象区277mg/m²/dayで覆砂区は対象区の59%であった。

窒素溶出速度を比較すると、いずれも対象区の方が高い値を示し、覆砂区は平均28mg/m²/dayであるのに対し、対象区は平均67mg/m²/dayと覆砂区は対照区の43%であった。試験時の底層水温は23.2~26.0°Cの範囲を示した。

2. 生物調査

(1)底生動物(マクロベントス)

底生動物の測定結果を表4に示す。多様性指数は群集を定量的に評価する指数であり、Shannon-Wienwer 多様性指数 (H') = - Σ Pi × ln(pi) を用いて、個体数 (Pi) と種類数 (ln) をもとに算出した。

表4 底生生物調査

	'03年8月11日		11月14日		'04年2月27日		5月14日	
	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区
軟体動物	10	14	15	3	15	4	7	1
環形動物	2	1	1	1	1	1	8	1
節足動物			2				3	
個体数	12	14	18	3	16	4	18	2
種類数	7	2	5	2	6	2	12	2
多様度 (H')	2.58	0.99	1.52	0.92	2.15	0.81	3.35	1.00

'03年8月の個体数を除くと覆砂区の方が、個体数、種類数および多様度指数が高かった。種類数および多様度指数(H')は覆砂区でそれぞれ5~12種、1.52~3.35であり対照区では2種、0.81~1.00であった。

(2)有用生物 (小型底びき網による試験操業)

豊前海沖合域の覆砂施設は、主に小型底びき網が利用しているので、操業時間、操業速度等を実態に合わせた試験操業結果を表5に示す。

表5 小型底びき網試験操業

調査日 漁法 操業時間	'03 8/22 えびこぎ網 夜		'03 11/4 えびこぎ網 夜		'04 2/2 けた網 昼		'04 5/17 えびこぎ網 昼	
	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区
高価格魚	44	0	25	0	1	0	1	0
カレイ類	3	1	7	0	5	2	3	0
シロギス	14	0	4	0	0	0	0	0
コナシ	2	0	0	0	3	0	0	0
低価格魚	32	62	12	7	0	0	35	45
シロコ	26	99	22	50	32	51	50	80
その他	31	40	81	95	62	27	25	9
個体数	152	202	151	152	103	80	114	134
種類数	16	10	15	12	13	6	13	8
多様度 (H')	2.85	1.93	2.94	2.53	2.48	1.66	3.87	1.41

漁獲された個体数は'04年2月を除くと、いずれも対照区の方が多かった。種類数および多様度指数(H')は覆砂区でそれぞれ13~16種、2.48~3.87であり、対照区では6~12種、1.41~2.53であった。魚種をみると、覆砂区で高価格魚のクルマエビ、カレイ類が多く、低価格魚のシログチ等は対照区で多かった。

3. アンケート調査結果

アンケートの回収率は71人と、全体の約5割の人からの回答があった。アンケート調査結果については表6に示す。

(1)覆砂施設の利用実態

覆砂施設の認知度：全小型底びき網漁業者の約8割が今回調査した覆砂施設の場所を知っていた。

覆砂施設の利用状況：さらに約7割の漁業者が実際に利用していた。

覆砂施設を利用する季節：最も多く利用する季節は、夏季であり、次いで秋季、春季、冬季の順であった。

覆砂施設の利用形態：えびこぎ網の昼間操業している漁業者が最も利用が多いが、えびこぎ網の夜間操業して

表6 小型底びき網漁業者へのアンケート調査

設問1 覆砂場所の認知度

	知っている	知らない
回答者数	56	14
割合	79%	20%

*無回答 1

設問2 覆砂施設の利用状況

	利用している	利用していない
回答者数	48	22
割合	68%	31%

*無回答 1

設問3 覆砂施設を利用する季節

	春	夏	秋	冬
回答者数	25	42	33	21
割合	21%	35%	27%	17%

*複数回答可

設問4 覆砂施設の利用形態

	2種：昼間	2種：夜間	3種：昼間
回答者数	40	20	24
割合	48%	24%	29%

*複数回答可

設問5 1年間の覆砂施設の利用日数

	1~2	~5	~10	~20	~50	50以上
回答者数	6	7	5	11	9	10
割合	13%	15%	10%	23%	19%	21%

設問6 覆砂効果が高い魚種

	クルマエビ	カレイ類	キス	クロダレイ
回答者数	48	31	23	15
割合	30%	19%	14%	9%

ハギ類 マゴチ ウシシタ類 その他

	ハギ類	マゴチ	ウシシタ類	その他
回答者数	18	14	6	5
割合	11%	9%	4%	3%

*複数回答可

設問7 今後の覆砂場所への要望

	中部大型 魚礁付近	南部大型 魚礁付近	人工礁 付近	その他
回答者数	26	24	9	8
割合	39%	36%	13%	12%

*無回答 4

設問8 今後の覆砂事業への要望

	砂山魚礁	現状	石と砂
回答者数	44	19	2
割合	68%	29%	3%

*無回答 6

設問9 今後の水産基盤整備事業の要望

	海底清掃	覆砂	魚礁
回答者数	51	34	8
割合	55%	37%	9%

*複数回答可

いる漁業者の割合が少ないことから高い頻度で利用しているものと思われる。

1年間の覆砂施設の利用日数：1年間に10～20日程度利用している漁業者が最も多いが、50日以上という漁業者も約2割を占めた。

覆砂効果が高い魚種：上位3種は、クルマエビ、カレイ類、キスと砂質を好む魚種が占めた。

(2)今後の覆砂事業への要望

今後の覆砂場所：中部大型魚礁付近と南部大型魚礁付近の要望が多く、小型底びき網漁業者が多い地区から近い操業場所への要望が強い。

今後の覆砂施設：魚礁のように「砂の山」をつくってほしいとの要望が多い。現在の覆砂工事は管理等の面から、砂投入後、工事船でU字鋼を曳いて砂表面を平らにしている。

今後の水産基盤整備事業：海底清掃の要望が最も多いものの、漁場造成面からみると小型底びき網漁業者が直接操業できる覆砂事業の要望が多い。

考 察

豊前海沖合域の5年経過した覆砂施設は、砂厚が当初の約7割に減少していた。この減少割合は、同様の事業が行われている内湾の有明海の事例（10年経過後、約7割に減少。水産振興課調査）と比較すると減耗が大きい。その原因としては大潮時の最大流速が掃流限界流速以下であったことから、通常の流れではほとんど砂は流出しないと考えられ、台風等の時化時の掃流限界流速を超える流れによる砂流出や小型底びき網の操業による影響が大きいと考えられる。

一方、浮泥量は約1cmと過去の浅海域調査の5年経過した覆砂施設の約4cmと比較すると少ない。この点については、今回の沖合域の施設は小型底びき網の操業区域であることから、漁具等により攪拌され、浮泥が堆積しにくいと思われる。

以上のことから、覆砂施設の形状は砂の減耗は多少みられるものの、10年間という耐用年数期間は、十分砂厚を確保できると推定されるが、今後の追跡調査が必要である。

底質環境の指標である硫化物量、強熱減量の値が対象区で高いことから、対照区では有機物が多く、汚染が進行していることが推定された。しかし、覆砂区ではこの値は低く有機物が減少し、底生動物の生息に好適環境となることが示唆された。

覆砂区と対照区の底泥の酸素消費速度及び窒素溶出速度の結果から、覆砂を行うことにより底泥の酸素消費と底泥からの窒素溶出が減少し、貧酸素水塊の発生を抑え、生物に対して好適な生息環境条件を提供することが期待できる。その結果、底生動物の個体数が増加するとともに種の多様性が増え、それらの底生動物を餌量として、砂質を好む高価格魚のクルマエビ、カレイ類が増加するものと考えられる。

豊前海では、浅海域（水深2, 8 m）の覆砂効果は報告されており、今回の沖合域（水深10m）の海域においても改善が認められた。そこで、施工後の経過年が近く、砂厚が一致するそれぞれの海域での底質改善効果の比較を表7に示した。今回調査の沖合域水深10mでの覆砂区の底質は、浅海域2及び8 mでのそれに比べて、水深2 mには劣るものの、水深8 mとはほぼ同様の底質の改善効果がみられた。

表7 水深別の底質の比較

調査海域	沖合域 (小型底びき網操業区域)			浅海域 (小型底びき網操業禁止区域)					
	10m			8m		2m			
	5年			3年					
経過年数	覆砂区 (A)	対照区 (B)	A/B*100 (%)	覆砂区 (A)	対照区 (B)	A/B*100 (%)	覆砂区 (A)	対照区 (B)	A/B*100 (%)
硫化物 (mg/乾泥g)	0.13	0.74	17%	0.04	0.87	5%	0.01	0.76	1%
強熱減量 (%)	3.3	10.2	32%	3.4	9.9	38%	0.85	8.87	10%

また、同様に今回調査と浅海域調査での水深別の小型底びき網試験操業の比較を表8に示した。

沖合域水深10mでの漁獲物は、浅海域水深8 mのそれに比べてクルマエビ、カレイ類などほぼ同様の覆砂効果がみられた。しかし、水深10m以深の海域は小型底びき網漁業の操業区域であり、周年、小型底びき網が操業利用していることから、その効果はさらに高いものと推定された。

表8 水深別の小型底びき網試験操業の比較

調査海域	沖合域 (小型底びき網操業区域)				浅海域 (小型底びき網操業禁止区域)			
	10m				8m			
	5年				3年			
区分	覆砂区		対照区		覆砂区		対照区	
	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲
クルマエビ	18	1-44	0	0	16	0-33	0	0
カレイ類	5	3-7	1	0-2	10	3-20	5	0-16
個体数	130	76-697	142	104-645	364	76-697	388	104-645
種類数	14	16-29	9	8-14	24	16-29	12	8-14
多様度 (H')	3.04	1.90-3.55	1.88	1.37-3.55	2.80	1.90-3.55	1.92	1.37-2.48

※4回調査の平均及び範囲を示す

今回調査した覆砂施設の経済効果を把握するために、漁獲魚種について、中川ら¹⁰⁾の方法を参考に、大きさや魚市場のデータをもとに推定漁獲金額を算出した。なお、根拠となる想定単価を表9に、推定漁獲金額を表10に示す。

覆砂区と対照区を比較すると、覆砂区は重量で1.5倍、推定漁獲金額で6倍程度、対照区を上回った。このように漁獲の面からも覆砂による底質改善効果が示唆された。

表9 魚種別の想定単価

魚種	金額(円)
クルマエビ	4,500
カレイ類	1,200
マゴチ	1,000
ウシノシタ類	900
クロダイ	800
シャコ	300
シロギス	200
シログチ	100

1kg当たり

表10 覆砂区と対照区の漁獲量と推定漁獲金額

	重量 (kg)			推定金額 (円)		
	覆砂区(A)	対照区(B)	(A)/(B)	覆砂区(A)	対照区(B)	(A)/(B)
'03.8.22	5.4	3.04		6,570	490	
'03.11.4	2.67	2.92		3,689	725	
'04.2.2	3.37	1.77		2,172	704	
'04.5.17	1.64	0.75		2,754	465	
平均	3.27	2.12	1.5	3,796	596	6.4

アンケート調査の結果から、操業実態については、夏季を中心にえびこぎ網で夜間操業を行い、クルマエビ、カレイ類、キス等を漁獲する漁業者が多く利用していることから、今回の試験操業結果とほぼ同様の効果を漁業者が実感していることが伺える。

今後の要望として、覆砂場所については、燃料費節減等の関係から地元漁港から少しでも近い場所につくってほしいとの要望が多く、今後の計画についても十分反映させるべきである。また、覆砂方法については、魚類が蝟集しやすい瀬のような「砂の山」にしてほしいとの要望が多く、管理の方法も含めて実証試験を行い形状の変化や効果について明らかにする必要がある。

今回、施工後5年経過した沖合域の覆砂施設の効果を評価し、浅海域と同様に底質改善効果があることがわかったが、今後はさらに継続して調査を行い、覆砂効果の持続性等、長期的な観点での評価が必要であると考えられる。

要 約

豊前海沖合域での覆砂による底質改善について検討を行った。

1) 底質環境(硫化物濃度、強熱減量)の測定値は覆砂

区で低い値を示した。

2) 溶存酸素濃度は、周年を通して覆砂区でやや高い値を示した。

3) 覆砂を行うことによって、底泥による酸素消費速度を59%に、窒素溶出速度を43%に抑えられることがわかった。

4) 覆砂区と対照区の底生動物の個体数、種類数および多様性の比較から、底生動物の生息環境は改善されていることがわかった。

5) 小型底びき網で試験操業した結果、覆砂区で、高価格魚のクルマエビ、カレイ類が増加しており、生物の多様度も高くなっていた。

6) 覆砂区と対照区を比較すると、覆砂区は重量で1.5倍、推定金額で6倍程度対照区を上回っていた。

7) 沖合域の覆砂事業においても浅海域と同様な底質改善効果があることが分かった。

8) 小型底びき網漁業者へアンケートを行った結果、今回の調査結果とほぼ同様の覆砂の効果を実感しており、今後も覆砂事業への要望が高い。

文 献

- 1) 江藤拓也・佐藤博之・神菌真人：夏季の周防灘の底質環境とマクロベントスの分布，福岡県水技研報，第8号．107-112(1998)．
- 2) 神菌真人・江藤拓也・荒田敏生：豊前海の貧酸素水塊形成と降水量との関係，福岡県水技研報，第1号．217-224(1993)．
- 3) 神菌真人・江藤拓也・上妻智行：覆砂による豊前海の底質改善効果，福岡県水技研報，第2号．129-134(1994)．
- 4) 江藤拓也・中川浩一・佐藤博之：豊前浅海域における覆砂による底質改善効果，福岡県水技研報，第9号．61-65(1999)．
- 5) 日本水産資源保護協会編：水質汚濁調査指針，237-256(1980)．
- 6) 水産庁：覆砂事業効果計測マニュアル(2003)
- 7) 福岡県水産振興課：平成10年度豊前海沖地区大規模漁場保全工事(1998)
- 8) 秋本恒基・山下輝昌：回流水槽による造州漁場の耐久性の検討，福岡県水技研報，第1号．211-215 (1993) ．
- 9) 荒川清：底泥中の有機物の発酵とベントスの生息との関係，内水研報告，第7号，12-15 (1955) ．
- 10) 中川清・中川浩一：豊前海における大型魚礁の集魚効果，福岡県水技研報，第11号．77-81 (2001) ．