

既覆砂域における底質攪拌試験

杉野 浩二郎・内藤 剛^{*a}
(有明海研究所)

福岡県では覆砂による底質改善事業を実施しているが、覆砂から年数が経過した漁場では浮泥が堆積し、漁場環境が再度悪化する場合がある。そのような漁場において浮泥の攪拌、浮泥と砂地盤の攪拌、浮泥除去と新たな砂の搬入という3種類の底質改善手法の実証試験を行った。その結果、浮泥の攪拌では有意な底質改善効果は認められなかったが、その他の手法ではCOD、中央粒径値等で底質改善効果が認められた。しかし、浮泥と砂地盤を攪拌する手法では約8ヶ月、浮泥除去と新たな砂を搬入する手法では約10ヶ月程度で効果が減少しており、安定した漁場環境の維持には1年に一度程度の施工が必要であると考えられた。また、アサリの生残、定着性については全ての手法で一定の効果が認められ、特に浮泥層と砂地盤を攪拌する手法でその効果は顕著であった。一方でアサリの成長には、いずれの手法も影響を及ぼさなかった。

キーワード: 覆砂, 海底耕耘, アサリ, 干潟, 浮泥, 底質

福岡県有明海区では、ノリ養殖業と並び二枚貝類の漁獲が盛んであるが、近年アサリ、タイラギ等の有用二枚貝類の資源量が大きく減少しており、漁業者の生活を脅かしている⁶。

福岡県では二枚貝資源減少の一因と考えられている底質環境の悪化を抑えるため、覆砂事業を実施しているが、覆砂事業には莫大な費用がかかり、覆砂に用いる海砂の入手も年々困難となっている。

覆砂による底質改善効果については、場所による著しい差が認められ、長期間経過した覆砂区の一部では浮泥の堆積などによりその効果が大きく減少することが明らかとなっている⁷。

しかし、過去に覆砂を実施した漁場では、表層に泥が堆積しても、その下には砂の地盤が比較的安定して残っており、このような漁場では、覆砂によらず底質改善効果を得られる手法として、海底耕耘が着目されている。

本試験は、覆砂域における適切な底質改善手法を開発することを目的として実施した。過去に覆砂を実施し、その後底質が再び悪化している漁場で、海底耕耘等の底質改善手法を実施し、底質環境の変化を化学的、生物的に調査する事で各手法の効果を実証した。

方 法

試験区は図1に示した有明海区画免許漁場有区302号内に設定した。302号漁場では過去に覆砂を実施しているが、浮泥が堆積しやすく、2006年5月の時点で約7cmの浮泥の堆積が認められた。

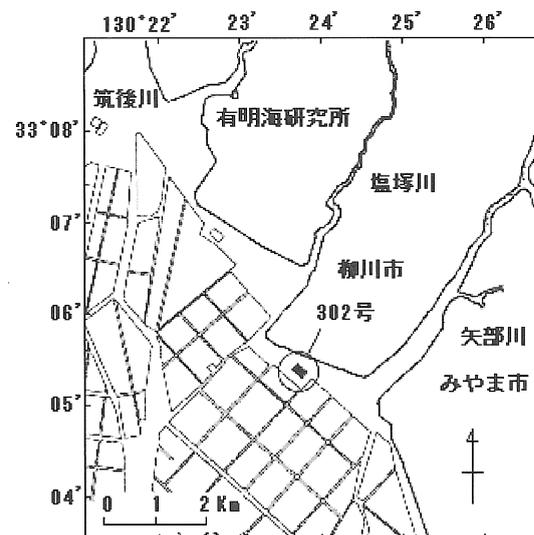


図1 試験区位置図

*a現所属：水産振興課

*第53次福岡農林水産統計年報水産編

試験区は図2に示したように2mのコンボーズで4辺を囲み、15cmのボルトで底質に固定した。また、区と区の間隔は50cmとした。浮泥層のみを攪拌した区をA区、浮泥層の下の方砂地盤まで約20cmを攪拌した区をB区、浮泥を除去し、約15cmの深さに砂を搬入した区をC区とした。攪拌は鍬を用いて実施し、C区に搬入した砂は覆砂に使用している砂(長崎県産海砂:中央粒径値1.33)を用いた。

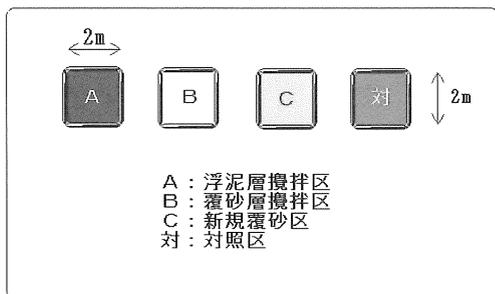


図2 試験区の設定

1. 底質調査

'06年5月から'07年2月まで、毎月大潮干潮時に底質調査を実施した(9月は荒天により欠測)。各試験区及び対照区の底質は直径36mm、長さ50cmの亚克力パイプを用いて1回の柱状採取を行った。試験区及び対照区は表面が平坦であり顕著な部分流が無く、区域内ではほぼ一様な底質の分布状況であった。研究所で表層(0~5cm)、中層(10~15cm)、下層(20~25cm)の3層に分取した。アサリの主な生息層は表層であるが、中層でもアサリの生息が認められた。一方で下層は原地盤でありアサリの生息は認められなかった。

分析項目はCOD、粒度組成、強熱減量(IL)、全硫化物(TS)とし、分析は水質汚濁調査指針³⁾に準じた。

波浪や浮泥の堆積などの影響によって、環境の変化が著しいと推測され、かつアサリの主要な生息層である表層の環境について、各項目の経時変化を明らかにした。また、全層について各項目の年平均値を求めるとともに、対照区に対する有意差検定を行い、各試験区の底質改善効果を評価した。

2. アサリ生残・成長調査

'06年5月に各試験区及び対照区にラッカー塗料で着色したアサリ各500個体(平均殻長23.78mm)を散布した。

'07年5月に各試験区及び対照区のアサリを全て取り出し、その回収率及び成長量を調査した。アサリの成長量は図3に示した殻辺縁部の無着色域の幅から求めた。

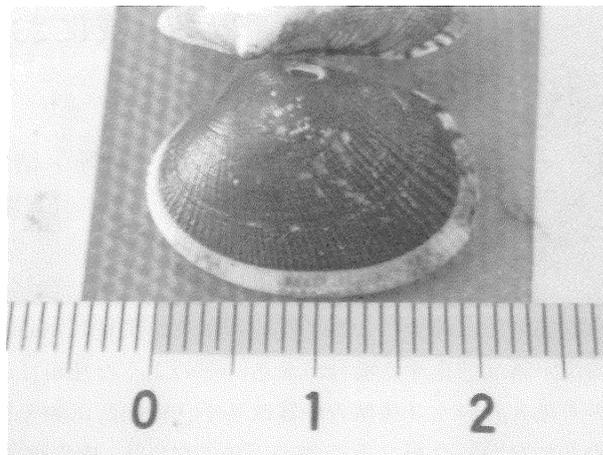


図3 アサリ殻辺縁部の無着色域

結果

1. 底質調査

(1) COD

各試験区及び対照区の表層CODの推移を図4に示した。CODは夏季に減少した後、増加する傾向が認められた。また、試験期間を通じておおむね対照区で高く、試験区で低い傾向が認められた。しかし、徐々にその差は減少し、C区を除き2月の時点では差はほとんど認められなかった。

図5に表層、図6に中層、図7に下層のCODの年間平均値と範囲、及び各試験区と対照区の有意差検定の結果について示した。

表層の年間平均値は対照区で最も高く(11.89mg/g乾泥)、A区(11.22mg/g乾泥)、B区(9.19mg/g乾泥)、C区(7.12mg/g乾泥)の順に低くなった。対照区では最大21.96mg/g乾泥となり、水産用水基準である20mg/g乾泥を超えていた³⁾。また、検定の結果C区で対照区に対して有意な差を示し、CODを減少させる効果が認められた。

中層では年間平均値はA区(7.72mg/g乾泥)が最も高く、次いで対照区(7.37mg/g乾泥)、B区(6.25mg/g乾泥)、C区(3.32mg/g乾泥)の順に低くなった。また、ここでも対照区に対する有意差が認められたのはC区のみであった。

下層の平均CODは表層、中層とは異なり、C区(7.73mg/g乾泥)で最も高く、次いでB区(7.04mg/g乾泥)、対照区(6.93mg/g乾泥)、A区(5.85mg/g乾泥)の順に低くなっていた。しかし、各試験区と対照区間に有意差は認められなかった。

(2) 硫化物

図8に各試験区及び対照区の表層の硫化物量の推移を示した。ほぼ全ての試験区で対照区に比べて硫化物量が低い傾向を示し、B区及びC区では試験期間を通じて0.1mg/g乾泥以下の低い値で推移した。対照区では徐々に減少する傾向があったが、月による変動が大きく、非常に不安定であった。

図9に表層、図10に中層、図11に下層の硫化物の年間平均値と範囲、及び各試験区と対照区の有意差検定の結果について示した。

表層の平均硫化物量は対照区で最も高く(0.09mg/g乾泥)、次いでA区(0.04mg/g乾泥)、B区(0.03mg/g乾泥)、C区(0.02mg/g乾泥)の順に低くなり、表層のCOD年間平均値と同様の傾向が認められた。また、対照区では最大0.22mg/g乾泥となり、水産用水基準(0.20mg/g乾泥)を上回った³⁾。A区については対照区に対して有意な差は無かったが、B区及びC区では有意な硫化物量の減少が認められた。

中層の平均硫化物量も表層同様に対照区で最も高く(0.13mg/g乾泥)、A区(0.10mg/g乾泥)、B区(0.05mg/g乾泥)、C区(0.03mg/g乾泥)の順に低くなった。また対照区の最大値は0.27mg/g乾泥であり、中層でも水産用水基準を超えていた。さらに、対照区に対する有意差も表層と同じようにB区及びC区でのみ認められた。

下層ではB区(0.11mg/g乾泥)及びC区(0.11mg/g乾泥)で高く、対照区(0.06mg/g乾泥)、A区(0.06mg/g乾泥)で低く、表層及び中層とは逆の結果となった。また、C区については対照区に比べて、有意に硫化物量が増加していた。

(3) 強熱減量

図12に表層の強熱減量の推移を示した。B区及びC区では10%以下の低い水準で推移したが、A区及び対照区では12月以降に急激な上昇が認められた。

図13に表層、図14に中層、図15に下層の強熱減量の年間平均値と範囲及び各試験区と対照区の有意差検定の結果について示した。

表層の平均強熱減量は対照区(8.2%)が最も高く、A区(7.9%)、B区(4.3%)、C区(4.0%)と低くなったが、各区の間には有意差は認められなかった。しかし、最大値は対照区の31.9%、A区の22.1%に対し、B区では8.0%、C区では7.0%と低く、B区及びC区が対照区及びA区に比べて安定した環境を維持していたことがわかる。

中層では平均強熱減量はA区(3.9%)で最も高く、次いで対照区(3.6%)、B区(3.2%)、C区(2.3%)と低くなった。C区では対照区との間に有意差が認められ、有機物量が

減少していた。またA区で7.2%を示したのが最大であり、いずれの区でも表層に比べて有機物が少なく、試験期間を通じて安定した環境であった。

下層については中層よりさらに安定した環境を示し、平均強熱減量は3.4%~3.5%とほとんど差が無く、いずれの試験区でも対照区との間に有意差は認められなかった。また最大値はA区の5.8%であり、中層同様に有機物量が少なかった。

(4) 粒度組成

図16に表層の中央粒径値の推移を示した。A区及び対照区は夏季に減少したものの、A区では12月以降、対照区では11月以降は中央粒径値4以上の泥質で推移した。また、B区については10月までは比較的安定していたが、11月に中央粒径値4以上の泥質になり、その後12月に1.7に減少したものの、2月には再び泥質となった。C区も徐々に細粒化が進んだが、2月に最大となった時点でも中央粒径値2.3程度の細砂であった。

図17に表層、図18に中層、図19に下層の中央粒径値の年間平均値と範囲、及び各試験区と対照区の有意差検定の結果を示した。

表層の中央粒径値の年間平均値は対照区(3.0)で最も高く、A区(2.7)、B区(2.3)、C区(1.7)の順に低くなった。対照区、A区、B区では最大値は測定上の上限である4となり、泥化が進行していたが、C区では最大でも2、3であり、砂質が維持されていた。またA区では対照区との間に有意な差はなかったが、B区及びC区では対照区に比べて中央粒径値が小さくなる効果が認められた。

中層の中央粒径値の年間平均値は対照区(2.3)、B区(1.9)、A区(1.8)、C区(1.2)の順に低くなったがいずれの区も表層よりも小さい値を示し、表層よりも泥化が進行していなかった。またC区でのみ、中央粒径値を小さくする効果が認められた。

下層の中央粒径値の年平均はいずれの区でも2.0~2.3の値を示し、対照区と各試験区の間には有意な差は認められなかった。

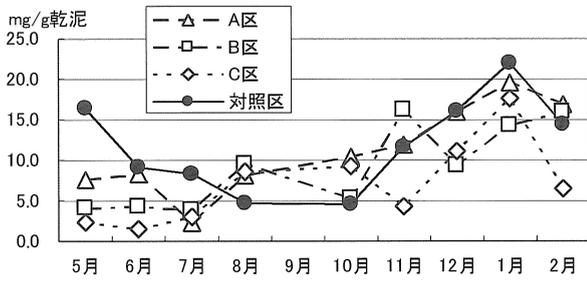


図4 表層CODの推移

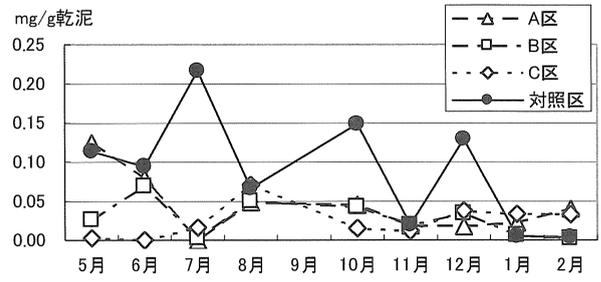


図8 表層硫化物量の推移

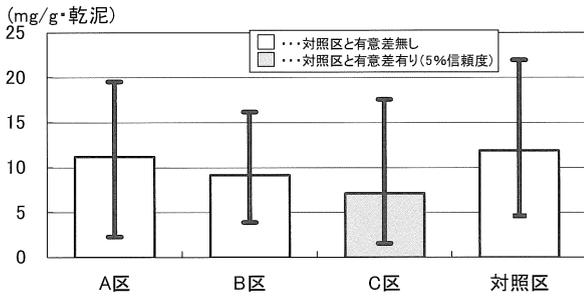


図5 表層年平均COD

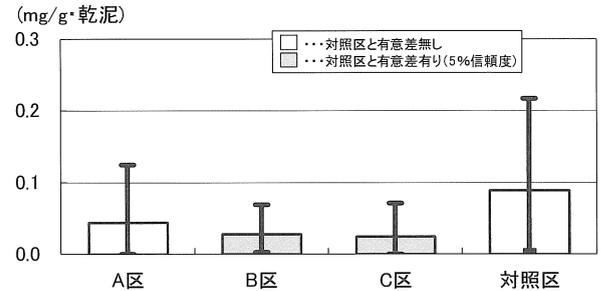


図9 表層年平均硫化物量

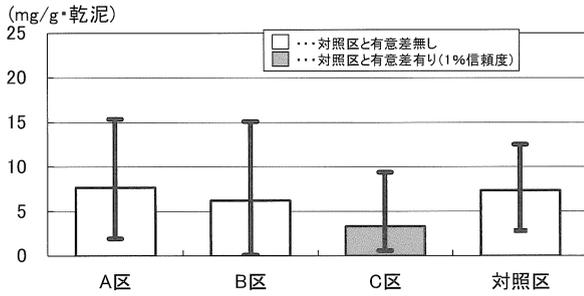


図6 中層年平均COD

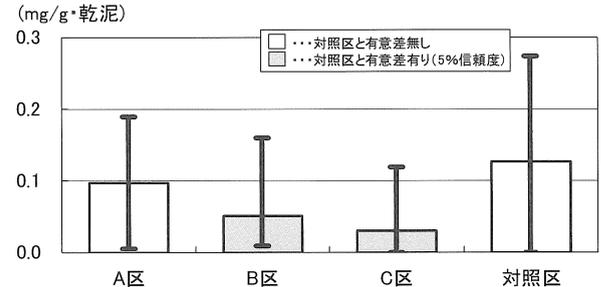


図10 中層年平均硫化物量

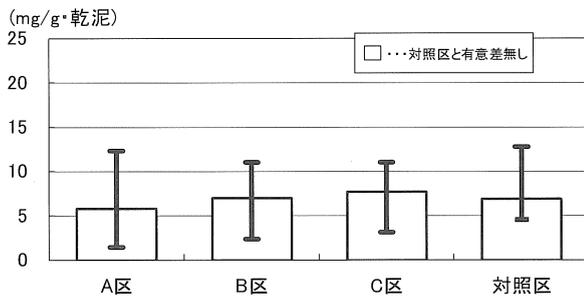


図7 下層年平均COD

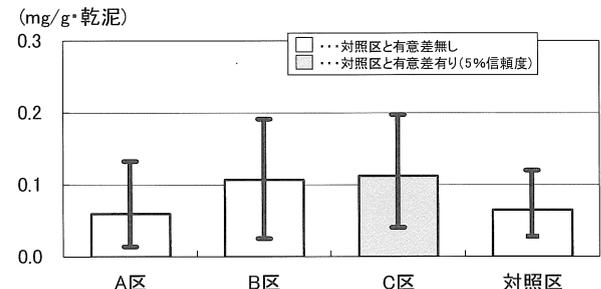


図11 下層年平均硫化物量

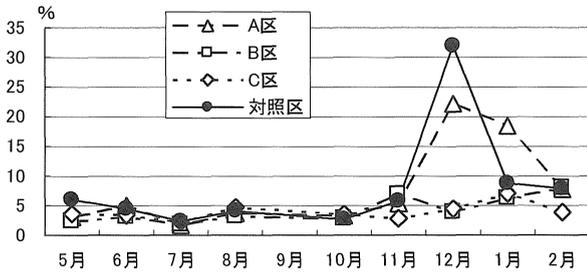


図12 表層強熱減量の推移

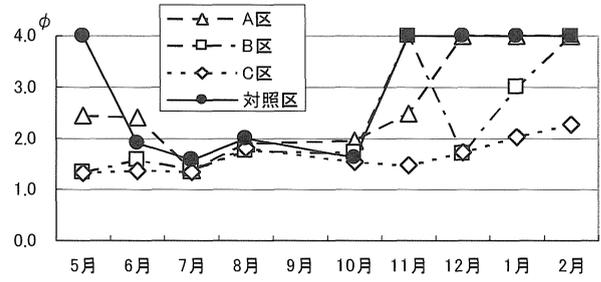


図16 表層中央粒径値の推移

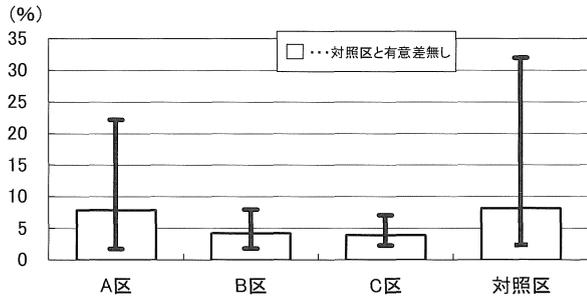


図13 表層年平均強熱減量

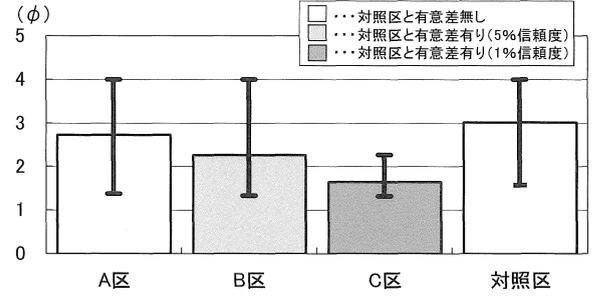


図17 表層年平均中央粒径値

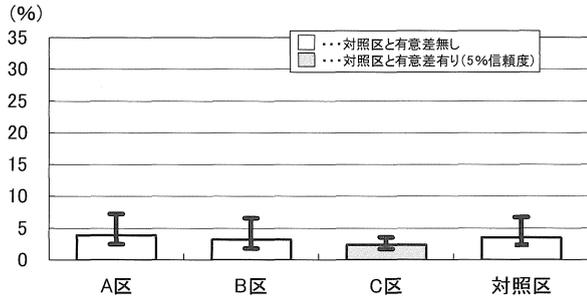


図14 中層年平均強熱減量

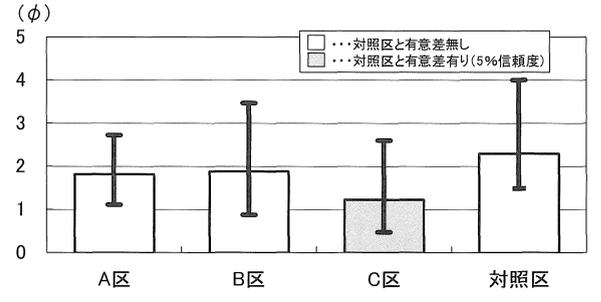


図18 中層年平均中央粒径値

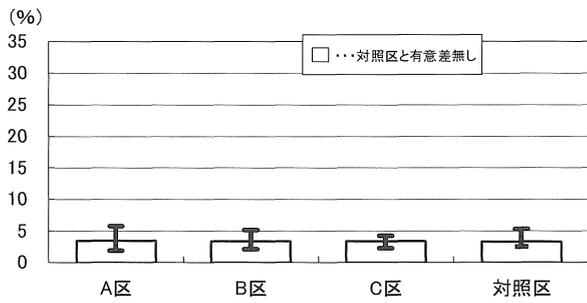


図15 下層年平均強熱減量

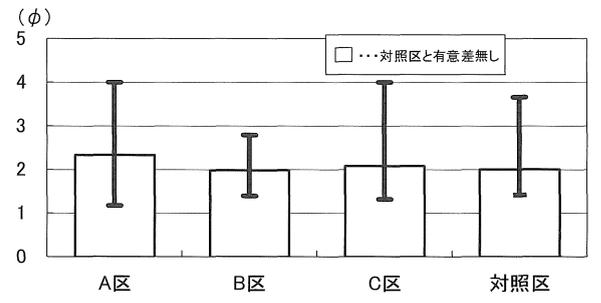


図19 下層年平均中央粒径値

各試験区の対照区に対する有意差の有無を項目毎にt-検定により判定した結果を表1～表4に示した。

考 察

表 1 各試験区のCOD低減効果判定結果

試験区名	表層	中層	低層
A区(浮泥攪拌区)	×	×	×
B区(浮泥+砂攪拌区)	×	×	×
C区(浮泥除去+覆砂区)	○	◎	×

×:有意差無 ○:5%で有意差有 ◎:1%で有意差有

表 2 各試験区の硫化物量低減効果判定結果

試験区名	表層	中層	低層
A区(浮泥攪拌区)	×	×	×
B区(浮泥+砂攪拌区)	○	○	×
C区(浮泥除去+覆砂区)	○	○	○※

×:有意差無 ○:5%で有意差有 ◎:1%で有意差有

※:負の効果(硫化物を増加させる効果)

表 3 各試験区の強熱減量低減効果判定結果

試験区名	表層	中層	低層
A区(浮泥攪拌区)	×	×	×
B区(浮泥+砂攪拌区)	×	×	×
C区(浮泥除去+覆砂区)	×	○	×

×:有意差無 ○:5%で有意差有 ◎:1%で有意差有

表 4 各試験区の中央粒径値低減効果判定結果

試験区名	表層	中層	低層
A区(浮泥攪拌区)	×	×	×
B区(浮泥+砂攪拌区)	○	×	×
C区(浮泥除去+覆砂区)	◎	○	×

×:有意差無 ○:5%で有意差有 ◎:1%で有意差有

2. アサリ生残・成長調査

'07年5月時点での各試験区及び対照区のアサリの回収率と成長量を表5に示した。

表 5 各試験区及び対照区のアサリ回収率及び成長量

試験区名	回収率	平均成長量
A区(浮泥攪拌区)	2.4%	5.6mm
B区(浮泥+砂攪拌区)	14.8%	4.9mm
C区(浮泥除去+覆砂区)	6.4%	5.8mm
対照区	0.6%	4.7mm

回収率はB区で最も高く、C区、A区、対照区の順に低くなった。平均の成長量についてはいずれの区でも5cm～6cm程度であった。

今回の試験では施工の範囲は20cm以浅であり、20～25cm層である下層は原地盤であった。下層ではほとんどの項目について、いずれの試験区でも対照区に対する有意差が認められなかった。このことから、今回実施した底質改善手法は施工した深度までしか効果が無いと考えられた。

各試験区毎に底質改善効果を検証すると、浮泥層のみを攪拌したA区では、全ての項目及び層において、有意な改善効果は認められなかった。A区で実施した浮泥層の攪拌によって得られる作用は、浮泥層内に空気(酸素)を混入させる事による嫌気条件の解消である。しかし、一時的に嫌気条件が解消されても、有機物量などは変動しないため、やがて有機物の分解により酸素が消費され、再び嫌気条件となる。そのため、攪拌直後は有機物の指標であるCOD、強熱減量が減少するものの、それ以降は徐々に増加し、さらに嫌気条件により硫化物も増加したと考えられた。

浮泥と原地盤である砂を攪拌したB区では、表層で硫化物量、中央粒径値、中層でも硫化物量で有意な底質改善効果が認められた。B区は砂地盤との攪拌によって有機物量が減少しており、表層のCOD、強熱減量については有意差は無いもののA区に比べて長期間低い水準で推移している。硫化物についても低水準で安定しており、有機物の減少により好气的条件が長期間保たれた事が予想される。

浮泥を除去した上で同量の砂を搬入したC区では、表層ではCOD、硫化物量及び中央粒径値で、中層では全ての項目において有意な底質改善効果が認められた。しかし下層では硫化物量に関して有意差が認められているが、これは対照区よりも硫化物量が有意に増加している、期待される効果とは逆の影響であった。C区の下層で硫化物量が増加した理由は不明であるが、施工の際に除去しきれなかった有機物が砂で覆われ、嫌気環境下で分解される際に硫化物が発生したものと推測される。

各項目の内、硫化物量についてはB区及びC区の表層及び中層のアサリの生息層で硫化物量が減少する効果が認められた。対照区では最大値が0.27mg/g・乾泥であったのに対し、いずれの試験区でも最大値は0.20mg/g・乾泥を下回っていた。底質中の硫化物がアサリに与える影響について、河辺は硫化物濃度が0.113mg/g乾泥を超える漁場では1,000個体/m²以上の高密度でのアサリの生息は見られないとしている⁹⁾。また高橋等は室内実験では2.4mg/g乾泥であっても生存していると報告しており⁹⁾、他

の環境条件によりアサリへの影響は大きく左右されると考えられている。しかし水産用水基準では0.2mg/g・乾泥を超えるると生物の生息に悪影響を及ぼすとされており³⁾、アサリの生残に対する一定の効果があると考えられる。

また、試験区を設定した漁場は地盤が150cmと高いこともあり、波浪の影響を強く受け、試験期間中に表層の底質が移動していた可能性が高い⁶⁾。特に6月には風速7~8m/sの強風の日が多く⁷⁾、軽い浮泥が逸散していることが確認されており、対照区においても夏季の表層では中央粒径値が減少している。夏季の対照区の底質が波浪によって一時的に改善されたことから、試験区との差が減少し、表層に対する改善効果が過小評価されている可能性が高い。従って同様の試験を波浪の影響を受けにくい漁場で実施した場合、より明確な差が生じると考えられる。

アサリの回収率に関しては最も良好であったB区でも14.8%と低い水準であった。これは斃死に加えて、周辺の漁場への逸散が起こったことが影響していると考えられ、実際に試験区及び対照区の周辺から着色アサリが採集されている。逸散の原因として散布直後、潜砂する前に潮流によって流される事が考えられたが、高橋等は砂に潜る速度は小型貝ほど速く、殻長30mm未満の貝は底質の中央粒径が0.737以上であれば速やかに潜砂できるとしている⁸⁾。本試験に供したアサリは散布時の平均殻長が23.78mm、底質の中央粒径値は最も粗いC区でも最大で1.33であり、速やかに潜砂が可能と考えられた。アサリの移動には波浪等の外力が大きく関与しているが⁹⁾、本試験では試験区が隣接しており、地形も平坦なことから潮汐、波浪等には試験区による差は無いと考えられる。また柿野等は好適な環境でなければアサリが能動的に移動することを示唆しており⁹⁾、試験区による逸散の違いはアサリの能動的な移動の差によると考えられる。逸散が大きいということはその底質がアサリにとって好ましくない環境であるということであり、回収率はそれぞれの区がアサリの生息に対して適しているかを表す指標となる。よって、アサリの生残あるいは定着についても本試験で実施した底質改善手法は効果があり、中でもB区でその効果は顕著であったと言える。

一方で、アサリの成長に関しては各試験区及び対照区の間には明確な差は認められなかった。これは、底質環境の改善がアサリの主な餌料とされている海水中の珪藻やデトリタス⁹⁾の多寡に直接影響を与えず、また海水交換にも影響しないため、餌料環境に試験区による差が生じなかったためと考えられる。むしろ、アサリの生残、定着が良好になることで密度効果が働き、成長量が減少することが考えられる。

本試験を実施した有区302号漁場は地盤が高く、アサリの自然発生は少ない⁴⁾。そのため、過去に覆砂が実施され、他の漁場からアサリを移植放流し、成長した後に採捕する畜養漁場としての利用が考えられている。しかし、現状では浮泥の堆積が認められ、アサリの生残に適さない環境となっていることから、底質改善手法の実施が必要と考えられている。

本試験で実証した、A:浮泥の攪拌、B:浮泥と砂地盤の攪拌、C:浮泥を除去し、新たに砂を加える、の3つの手法では、有意差判定の結果から効果はC、B、Aの順に高かったと考えられる。しかし、Cの手法は再度覆砂をするのと同様であるため、大規模に実施するためには多額の費用と大きな労力が求められる。また、C区の下層では硫化物量の増加が認められた事から、比較的深い層に生息する生物には悪影響を与える可能性がある。一方でA及びBの手法については安価で、特別な技能や機器を用いずに実施可能である。そのため、費用対効果を考えて場合、既覆砂域における底質改善手法としては、B、つまり砂地盤まで達する海底耕耘を行う手法が最も実用的である。

ただし、その効果は今回の結果からは8ヶ月程度で失われており、安定したアサリ資源の維持のためには、少なくとも年に1回の頻度で実施が必要であると考えられた。

文 献

- 1) 内藤剛・筑紫康博:有明海浅海域における覆砂効果. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 第14号, 125-130(2004).
- 2) 日本水産資源保護協会:新編水質汚濁調査指針, 恒星社厚生閣, 東京, 1980, pp. 237-257.
- 3) 日本水産資源保護協会:水産用水基準(2000年版), 2000, pp. 36-91.
- 4) 河辺博:熊本県地先におけるアサリの分布と底質. 栽培技研14(1), 13-19 (1985).
- 5) 高橋清孝・佐藤陽一・渡辺競:アサリの生存限界に関する実験的検討. 宮城県水産試験場研究報告, No. 11, 1986, pp. 44-58.
- 6) 井上泰:山口・大海湾におけるあさりの生態と環境について. 水産土木, Vo. 16, No. 2, pp. 29-35.
- 7) 気象統計情報:気象庁ホームページ
- 8) 柿野 純・中田喜三郎・西沢 正・田口 浩一:東京湾盤州干潟におけるアサリの生息と波浪の関係. 水産工学, Vol. 28, No. 2, pp. 51-55.
- 9) 黒倉 寿・黒田信行・笠原正五郎:芦田川河口域に

おけるアサリの生き残り条件に関する研究. 水産増殖,
35(4), 223-228 (1998).