

粗朶搦工による懸濁物捕捉効果と 底生生物の生息場創出に関する研究

Effect of sediment accumulation and benthos habitat potential by the *Sodagarami*

山西博幸¹・黒木圭介²・坂田智昭³

Hiroyuki YAMANISHI, Keisuke KUROI and Tomoaki SAKATA

¹正会員 博(工) 佐賀大学准教授 低平地研究センター (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1)

²正会員 修(工) 宮崎市役所 (〒880-8505 宮崎県宮崎市橋通西1丁目1番1号)

³西部電気工業(株) (〒812-8565 福岡市博多区博多駅東3-7-1)

Recently, inflow of abnormal red tides and anoxic waters in the tidal flat has been observed in summer, and the change of mud flat environment is on-going problem in the Ariake sea. This gives the greatest impact for the living animals in an inter tidal area. In this study, suspended matters transport around the *Sodagarami* structure in the mud flat of the Ariake sea were measured for a long term. The survey site is the Nanaura mud flats near Kashima city in Saga, Japan. The hydrodynamic characteristics and prediction of suspended sediment transport was studied using a numerical model. As a result, it was revealed that the *Sodagarami* method is useful to make the sedimentation of fine particles accelerate. Also, the potential of benthos habitat using the *Sodagarami* method were estimated by the composite suitability index.

Key Words : Ariake sea, tidal flat, suspended matter, mud transport, benthos, simulation

1. はじめに

有明海湾奥部では、その地形的特性から日本最大の干満差を有し、常時底泥の巻き上げや懸濁物の流動・沈降が生じている。また、干出および冠水を繰り返す泥干潟の潮間帯には、独特な生物群集と多様な生態系が形成されている。このような生物生産性の高い浅海干潟域では、古くからノリや二枚貝といった水産資源の好漁場として利用されている。

一方、2000年冬季に生じたノリ不作問題¹⁾を契機に有明海の環境問題が注目され、諫早湾干拓事業との関連とともに、水質・底質環境の悪化、底質粒度の細粒化、赤潮の発生頻度の増加、特産魚介類の漁獲量減少などが指摘されている^(例えば、2)~4)。またノリ以外でも、有明海の特産種としてかつて盛んに養殖されてきたアゲマキ(*Sinonovacula constricta*)は、1992年以降、その生息数が激減し、1993年以降は韓国産のアゲマキを移植するなどの処置がなされている⁵⁾。林ら⁶⁾は、アゲマキの生息数激減の一因として、底質の細粒化に起因した底質環境の悪化を指摘し、底質改善によるアゲマキ漁の再生を目指した調査研究を進めている。

一般に、生息生物の生息環境を修復するには、対象生物の生息場の改善が図られる。例えば、水産増養殖と漁業造成については、流況をコントロールし、底質環境の改善と稚貝着底を期待した作濇工、波浪

等の外的インパクトの低減と工作物内の底質改善環境の維持のための土留堤、あるいは干潟上の細粒分を積極的に沈積させるための湛泥工といったものが検討され、調査及び数値計算による評価もなされている^(例えば、7)~8)。また、干潟底生生物の環境動態や保全策のための浮遊幼生を対象とした輸送シミュレーションによる検討もなされ、有用な情報が得られている^(例えば、9)~11)。しかしながら、浮遊幼生の移動特性の配慮や数値モデルの推測とともに、現場での実証的な調査による裏付けも必要とされている。

本研究では、底泥の細粒化³⁾の進行による底生生物への影響を軽減させ、大型構造物を持ち込まず、自然材料の利活用も配慮し、古来の干拓技術を応用した粗朶搦工(そだがらみこう)を泥干潟上に構築した。一般に、粗朶搦工とは伐り取った樹の枝(粗朶)を搦めて束とし、これを数段重ねた工作物であるが、本研究では、粗朶以外にも竹および牡蠣殻を土嚢袋に詰めたものも使用して実証試験を行った。これにより、粗朶搦工によって囲われた静穏場の形成と水中懸濁物の積極的な捕捉促進を期待するとともに、人工的に形成された空間内の水・底質環境と底生生物の生息環境および浮遊幼生の着床地あるいは底生生物の生息場創出の可能性について検討するものである。

2. 現地調査

(1) 粗朶撈工内外での懸濁物捕捉に関する調査

粗朶撈工による現地実証実験は、佐賀県鹿島市飯田海岸に位置する七浦干潟にて実施された。粗朶撈工は全部で3基あり、図-1はこれら3基の配置を示したものである。粗朶撈工No. 1は粗朶および竹を部材とし、2006年3月に設置された。総延長は250mでその高さは底泥面から0.5mとした。粗朶撈工No. 2とNo. 3は牡蠣殻を詰めた土嚢袋を部材とし、2007年3月と7月にそれぞれ設置された。総延長は各々150m、300mで高さは0.5mとした。

粗朶撈工による懸濁物の捕捉効果を評価する一指標として、底泥の堆積厚を長期にわたって測定した。測定方法は、粗朶撈工内外および比較地点(blank)に標尺を立て、底泥面の高さを測定した。また、周辺部として粗朶撈工から約5m離れた地点、比較対照地(blank)として粗朶撈工から約50m離れた地点についても同様の要領で底泥面の高さを測定した。標尺設置数は、粗朶撈工No. 1内外に23点、No. 2内外で26点、No. 3内外で40点の計89点である。さらに、粗朶撈工内外にセジメントトラップを設置して水中懸濁物の沈降量を調査した。セジメントトラップには内径69mm、長さ620mmの亚克力製円筒パイプを使用し、開口面を底面から高さ0.2mに設定した。調査日は2008年11月28日～29日(大潮)である。なお、沈降フラックスは、採集した懸濁物の乾燥質量を浸水時間と開口面積で除して求めた。また、既報同様¹²⁾、セジメントトラップ内にはあらかじめ過海水を満たし、冠水初期の過剰な懸濁物の直接流入を避けた。

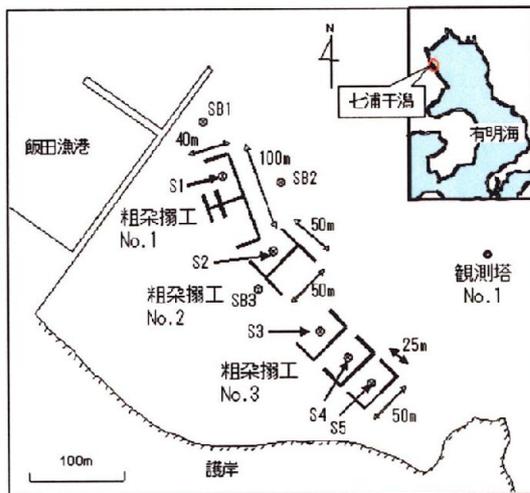


図-1 粗朶撈工の配置 (S: 底生生物調査地点, SB: 比較対照地点 (blank地点))

(2) 粗朶撈工内外での生物および底質調査

粗朶撈工No. 1～No. 3の所定の位置(図-1中、S1～S5およびblank地点)で詳細なベントス調査を行った。調査には各地点毎で25cm×25cmのコドラートをを用い、干潟表面から深さ10cmまでの底泥を採取した。このあと、採取した泥を1mm目のふるいにかけて、ふるい

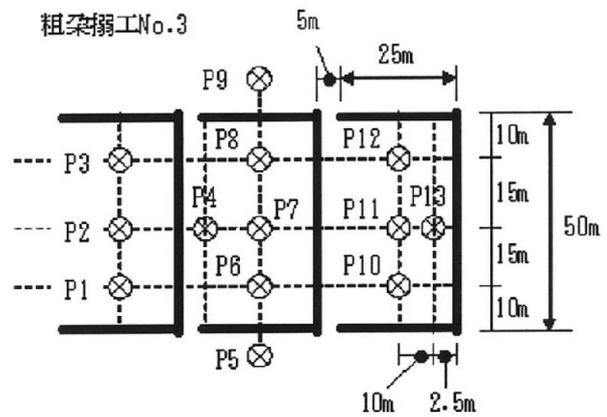


図-2 粗朶撈工No. 3におけるベントス調査地点

に残存したベントスから体長(あるいは殻長)が0.1～2cm、湿重量0.5g以下のマクロベントス¹³⁾(ゴカイ類、貝類、甲殻類ほか)を調査対象とし、個体数、湿重量、を測定した。また粗朶撈工No. 3では、さらに13箇所(P1～P13)と比較対象地点1箇所(blank)でも調査した(図-2参照)。なお、この場合、マクロベントスとしてゴカイ類、貝類、甲殻類の3種のみを同定とした。これら生物調査と同時に、底泥を亚克力パイプ(径10cm、長さ50cm)で採取した。亚克力パイプでの試料は、底泥表面から約20cm程度とした。採取後は、現場にて直ちに層状分割(0～1cm、1～5cm、5～10cm)し、泥温、pH、ORP(酸化還元電位)の測定を行った。また、分画した試料は冷温保存し研究室まで持ち帰った。採取試料の分析項目は含水比、AVS(酸揮発性硫化物量)およびChl-aである。

3. 粗朶撈工周辺部での流れと懸濁物輸送に関する数値計算

粗朶撈工周辺部での流れと懸濁物の輸送に関する流動計算には、DHIデンマーク水理研究所によって開発された3次元流動モデルのMIKE3を使用した。流れ場における基礎方程式は、連続の式、運動方程式、塩分・水温の保存式である。対象水域を粗朶撈工No. 1周辺の200m四方の領域に設定した。この計算領域を、水平方向に1m格子で一様分割し、鉛直方向に0.3m間隔で分割した。計算期間は2008年1月25日の5:00から17:00までとし、タイムステップを0.1秒とした。境界条件には調査当日の粗朶撈工周辺で測定した流速およびSSの実測値を与えた。また、塩分は25PSUの一定値とした。なお、一潮汐の水位変動は計算の都合上、上げ潮から下げ潮にかけて0.4m、1.0m、2.2m、1.0m、0.4mと段階的に変化させて計算した。図-3は、計算上の水位変動と実測の水位変動を示している。

底泥及び懸濁物の輸送については、底泥面からの巻き上げ及び上層水から底面への沈降を規定する、

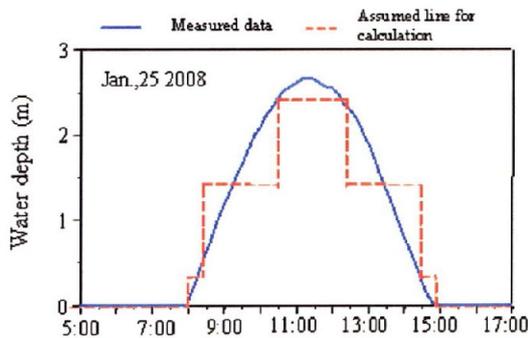


図-3 水位の実測値と計算に用いた仮定水位変化

いわゆる底泥輸送モデルでのソース項をどのように表記するかが重要である。ここでは、底泥面からの巻き上げフラックス E と底面への沈降フラックス D を次のように規定した。

$$E = \begin{cases} E_0 \left(\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1 \right), & \tau_b \geq \tau_{ce} \\ 0, & 0 \leq \tau_b < \tau_{ce} \end{cases} \quad (1)$$

$$D = \begin{cases} CW_s \left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}} \right), & 0 \leq \tau_b < \tau_{cd} \\ 0, & \tau_b \geq \tau_{cd} \end{cases} \quad (2)$$

ここに、 E_0 :巻き上げ速度係数 ($=1.0 \times 10^{-4} \text{kg/m}^2\text{s}$)、 τ_b :底面剪断応力、 τ_{ce} :巻き上げ限界底面剪断応力 ($=0.3 \text{Pa}$)、 C :SS濃度、 τ_{cd} :沈降限界底面剪断応力 ($=0.05 \text{Pa}$)、 W_s :沈降速度 ($=1.15 \times 10^{-2} \text{mm/s}$)である。また、底泥層の初期厚を1m単層とし、底泥密度は、 $300 (\text{kg/m}^3)$ で与えた。水中の懸濁物の初期濃度は、 $0.1 (\text{kg/m}^3)$ で全水層一様に与えた。

4. 結果及び考察

(1) 懸濁物捕捉に関する現地調査

図-4に粗朶撈工No. 1~3と比較地点における底泥堆積厚の変化を示す。図より各粗朶撈工内の平均堆積厚とblank値はほぼ同様であった。また、平均的な堆積速度はそれぞれ粗朶撈工No. 1で 0.38mm/day 、粗朶撈工No. 2で 0.36mm/day 、粗朶撈工No. 3で 0.20mm/day 、およびblank地点で 0.37mm/day であった。一方、2006年9月に約12cm、2007年7月に約6cm、2008年5月に約5.5cmの急激な底泥洗掘が見られた。これは台風通過(2006年13号、2007年4号)や大雨(2008年5月)によるものである。しかし、このような荒天時期を除けば、基本的に粗朶撈工内外では懸濁物が堆積する傾向にあるといえる。

図-5は2006年4月16日から2008年11月28日までの

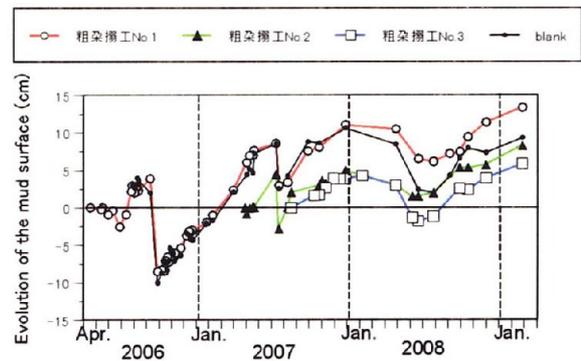


図-4 粗朶撈工内の堆積厚変化 (2006. 4~2009. 2)

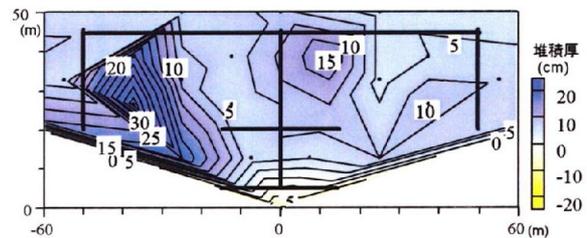


図-5 粗朶撈工No. 1周辺の堆積厚分布 (2006. 4~2008. 11)

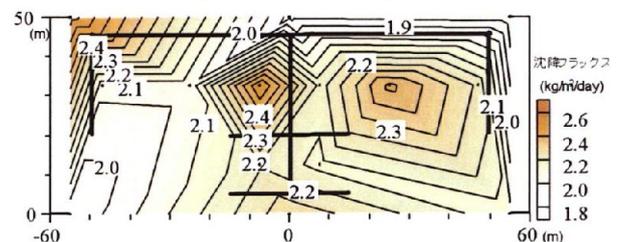


図-6 粗朶撈工No. 1内の沈降フラックス分布図

粗朶撈工No. 1周辺の堆積厚分布である。粗朶撈工No. 1内での平均堆積厚は11.4cmで、blankの7.3cmや粗朶撈工No. 1周辺部の3.8cmよりも大きい。なお粗朶撈工内に最大約30cm堆積したところも見られた。つまり粗朶撈工内での堆積厚分布特性として、工内全面で懸濁物の沈積が一斉に促進されるのではなく、粗朶撈工周辺の局所的な場所でその効果が働くことを示している。

図-6は粗朶撈工内外に設置したセジメントトラップで採集した懸濁物量から算出した沈降フラックスの分布図である。粗朶撈工No. 1周辺の沈降フラックスは $1.9 \sim 2.6 \text{kg/m}^2/\text{day}$ であった、特に、図-6中央粗朶の左側近辺、図-6右側区画の粗朶撈工内中心付近での沈降フラックスが大きい。これは数値計算で示される粗朶撈工内の流れ場からわかるように、粗朶撈工後背部の流速低減や工内に生成した循環流とその中心に向かう二次流によって懸濁物の沈降が局所的に促進されたことによる結果と思われる。

(2) 数値計算による粗朶撈工内外の懸濁物輸送特性

まず、粗朶撈工の基本的な懸濁物の捕捉機能について検証した。図-7は下げ潮を想定し、一定水深で定常状態での結果を示したものである。図には、計

算で求めた流速ベクトルと懸濁物 (SS) 分布, またその時の底面剪断力 τ_b と沈降フラックス D を示している. 図より, 粗朶掘工を模した突起部周辺の底面付近で濃度上昇がみられ, 流入SS濃度と比較して約5%の増加が見られた. また, 粗朶掘工による流速減衰効果がみられ, 後背部で渦が生成している. 図中の τ_b は τ_{ce} 以下であるため, 巻き上げはなく沈降のみが生じている. 特に沈降フラックス D は粗朶掘工前面1~2m付近から粗朶背面5m以降まで流入時の D よりも大きく, 最大で約50%上昇している. このことから粗朶掘工前面部と後背部に特に懸濁物を沈降させる機能があるといえる.

図-8は粗朶掘工No.1の突起高 (0.5m) よりも水位が低い場合 (水深0.4m) の下げ潮での流速ベクトルの分布である. 粗朶掘工の影響により粗朶掘工内および粗朶掘工後背部で流速の減衰がみられる. その減衰効果は場所に応じて異なるものの流入速度に対し, 30~80%の低減であった. また, 粗朶掘工内部では, 緩やかな循環流が形成され, 急激な流速低減と相乗し, 水中懸濁物の沈降が促進され, 粗朶掘工左区画開口部やや奥と右区画内循環流中心付近での堆積が予測される. 図-9は1潮汐間における正味の堆積厚変化を示したものである. 図より粗朶掘工内部や周辺部に他の場所よりも底泥の堆積が工内で促進されている. 図-5に示した現地実験での堆積厚分布図とほぼその傾向は一致する. 1潮汐での堆積厚計算値を2倍し, 簡易的に1日の堆積厚を算出すると0.09~0.15mm/day程度となる. この値は現場での長期観測データから求めた0.38mm/dayに対して小さいもののオーダー的には一致した.

(3) 粗朶掘工内におけるマクロベントスの生息分布特性

2006年9月から2008年10月にかけて, 粗朶掘工No.1~No.3と粗朶掘工外の比較対照地点(blank)のマクロベントス調査の結果の一例として, 動物門別のマクロベントス個体数の時系列変化を示したものが図-10である. 図より, 粗朶掘工内とblankの個体数の変化はほぼ同様の季節変動の傾向を示している. 動物門別でみると, 軟体動物門の生物個体数が極めて大きい. また, 軟体動物門の季節変動は大きく, 初秋から冬場に多くなる傾向がある. その他の動物門では, 粗朶掘工内はblankに比べて節足動物の割合が高い傾向にあった. マクロベントスの種類数については, 5~20種程度で変動し, 場所による差異はそれほど観察されなかった. 図-11は2006年9月から2008年10月までの各々の場所での種の豊富さと種間の個体数の均等性を論ずるため, Shannonの多様性指数 H' (4)を算出し, これを図示したものである. 粗朶掘工No.1およびNo.3はblankよりも値がやや大きい. 粗朶掘工No.2は, 施工時に比べてやや低い値となった. これらが粗朶掘工の構造的な配置に依存

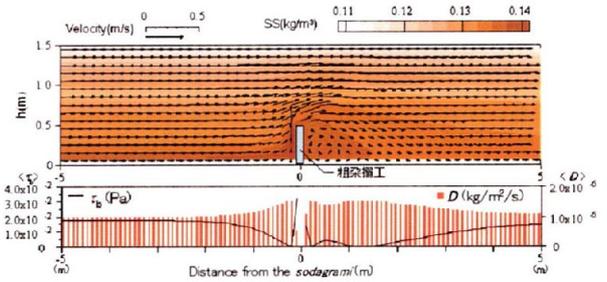


図-7 粗朶掘工周りの流速ベクトル, SS分布, 底面剪断力分布および沈降フラックス (数値計算結果)

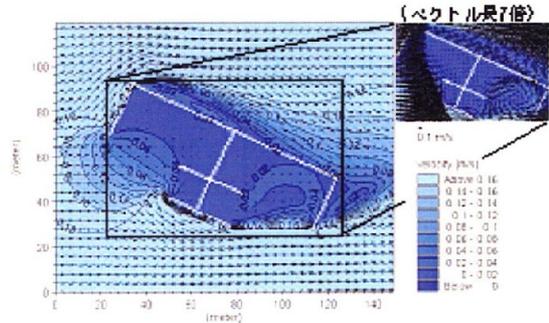


図-8 粗朶掘工No.1周辺の流れ場の様子 (下げ潮)

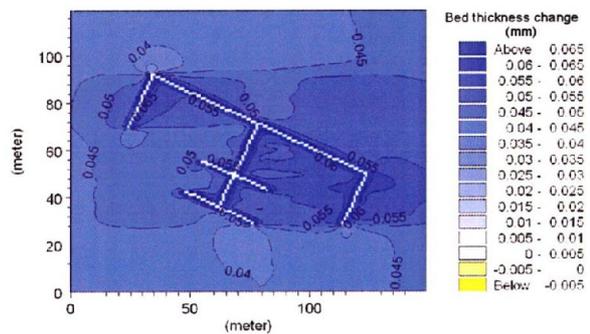


図-9 一潮汐間の堆積厚の計算値

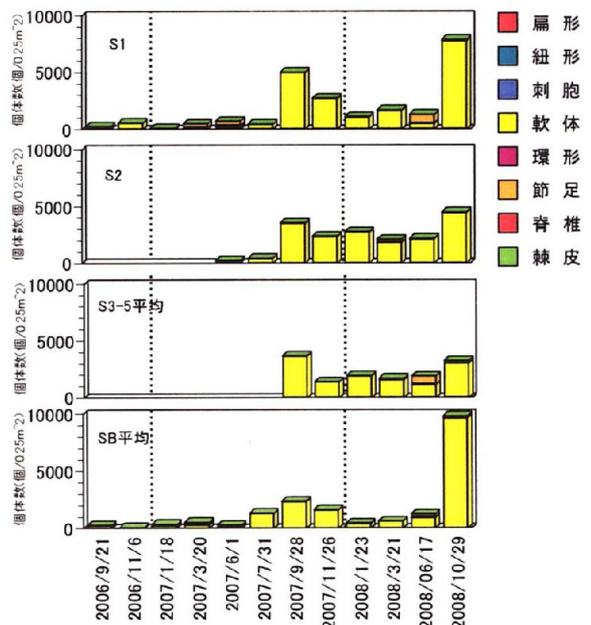


図-10 動物門別の個体数変化

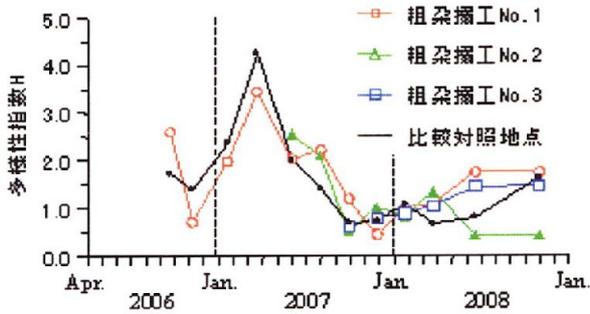


図-11 多様性指数の変化

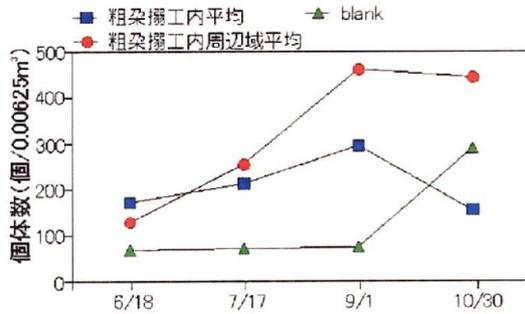


図-12 マクロベントス個体数の経月変化
(2008. 6~10月, 粗朶撈工No. 3)

しているものかどうか不明な点も多く、今後、さらなるモニタリングによる検討が必要とされる。

図-12は粗朶撈工No. 3内を詳細に調査した際の粗朶撈工内部と周辺域及びblank地点でのベントス個体数の経月変化を示したものである。2008年6月から9月までの期間で粗朶撈工内部とその周辺域はblankよりも個体数が多くなっており、粗朶撈工設置は生物の生息空間の創出に少なからず寄与していると言える。また、粗朶撈工内の底泥堆積速度は平均的には工内問わず、いずれの場所でも大きく変わらないものの、粗朶撈工内やその周辺域で局所的に異なることから、生息場は空間的に差異が生じる可能性がある。

図-13はORP、AVSとマクロベントスの生息密度との関係を示したものである。なお、マクロベントスの生息主域は、表層から10cm以浅で、とくに粗朶撈工の細粒分捕捉という特性を考慮し、底質代表値として0-1cm層の値を用いた。図より、マクロベントスの生息密度をORPあるいはAVSのみで評価することは難しい。一般に、生物の生息環境を評価する手法として、独立した選好因子による選好曲線を求め、この加減乗除によって数値化することが行われる¹⁵⁾。この際、独立した環境因子に対して単一種の生息密度の関係が室内実験等で評価される。今回対象としたマクロベントスには3種(ゴカイ類、貝類、甲殻類)の生物種が混合した状態であるとともに、現地調査データから独立した環境因子での選好曲線を描くことは困難である。しかし、これらの問題を十分理解しつつ、AVS、ORPおよび底泥堆積量についてマクロベントスの選好曲線¹⁶⁾(SI曲線)を求め(図-14(a)~(c))、これらのSI値を積形で表した合成適

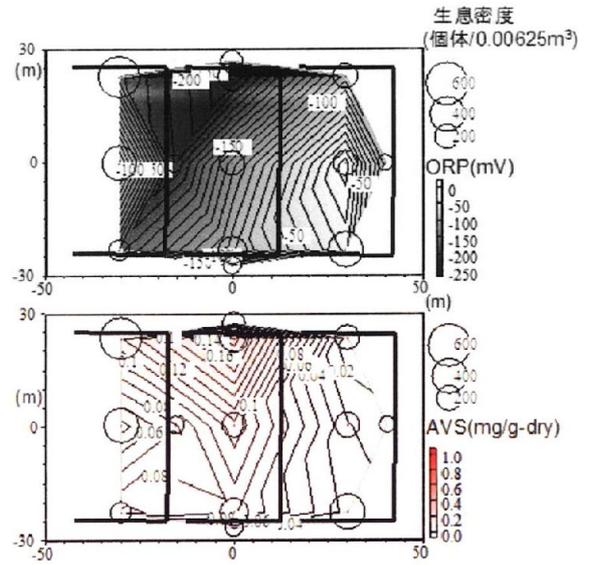


図-13 生息密度と底質環境因子との関係
(2008. 07. 17, 上:ORP, 下:AVS)

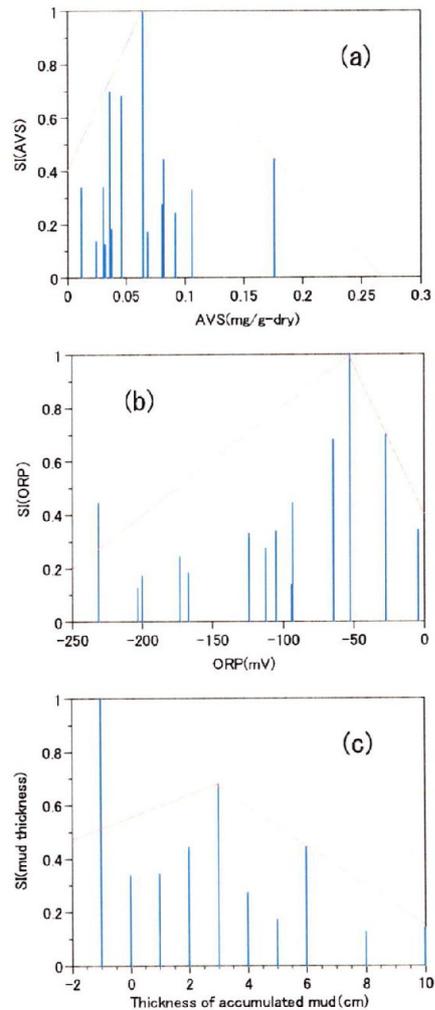


図-14 AVS(0-1cm)、ORP(0-1cm)及び底泥堆積量に関する底生生物の選好曲線(2008. 7)

正值CSI (=SI(AVS)・SI(ORP)・SI(底泥堆積量))として数値化した。なお図-14(c)の底泥堆積量に関するSI曲線については、洗堀傾向(底泥堆積量が負の

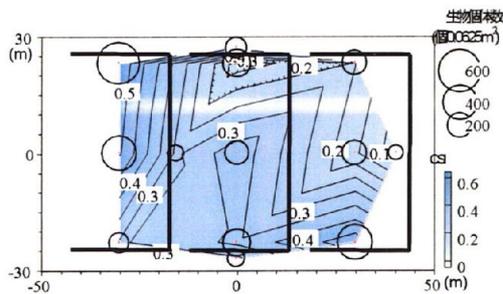


図-15 底生生物の生息密度と合成適正值CSIによる生息可能域の評価

値)となる領域では、浮遊幼生の着底が困難となることと堆積厚0-3cmの傾向を加味して求めた。図-15は2008年7月での粗朶撈工No.3内の底生生物密度と生息可能域の評価を行ったものである。前述したように、完全に独立した環境因子による評価式ではないなどの問題を含んでいるとはいえ、評価結果と生息密度との相関は良好であった。この評価は粗朶撈工内部での空間分布特性の一次評価としては有用といえる。

5. 結論

本研究は、細粒分捕捉技術としての粗朶撈工を現場干潟域に設置し、現地での長期モニタリングと数値計算によって以下のような結論を得た。

- (1) 粗朶撈工内でみた場合、懸濁物の沈降・堆積に局所的な差が生じ、これに応じた生息環境としての環境場に違いが生じる。
- (2) 数値計算結果から、粗朶撈工前面部と後背部に特に懸濁物を沈降させる機能があるといえる。
- (3) 粗朶撈工内および粗朶撈工背部で顕著な流速減衰がみられ、その減衰効果は流入速度に対し、30-80%の低減であった。また、粗朶撈工内に生成した循環流とその中心に向かう二次流によって粗朶撈工左区画開口部やや奥と右区画内循環流中心付近での堆積が予測され、調査結果との相関も良好であった。
- (4) 粗朶撈工No.3内の底生生物密度と生息可能域の評価について、その環境因子として底泥のAVS、ORPおよび底泥堆積量を採用し、これらとマクロベントスの生息分布との関係から選好曲線を求めた。その結果、生息密度との相関は良好で、粗朶撈工内部での空間分布特性の一次的な評価としては有用である。

本研究では、粗朶撈工による干潟域での局所的な生息空間の創出の可能性についての一部を評価したに過ぎず、粗朶部材の違いによる効果や稚貝着床への効率的な配置方法など、未だ十分な調査や解析がなされておらず、今後の課題としたい。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、平成20年度科学技術振興調整費(代表:楠田哲也・九州大学大学院特任教授)の補助を受けた。また、現地調査では、佐賀大学低平地研究センターの学生諸君にご協力頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 川村嘉応：平成 12 年度佐賀県有明海の海苔養殖の不作と珪藻の大増殖，海苔と海藻，No. 62, pp. 1-12, 2001.
- 2) 沿岸環境関連学会：第 8 回ジョイントシンポジウム・諫早湾締め切りが有明海環境に及ぼす影響の検討，要旨集，49p.，2002.
- 3) 大隈斉ら：有明海湾奥部の底質およびマクロベントス，佐有水研報，20，pp. 55-62，2001.
- 4) 伊藤史郎：有明海における水産資源の現状と再生，佐賀県有明水産振興センター研究報告，Vol. 20，pp. 69-80，2004.
- 5) 吉本宗央：アゲマキの生態 IX-国内産貝と韓国産の形態的比較，佐有水研報，16，pp. 15-24，1994.
- 6) 林重徳ら：有明海における底生生物の生息環境改善を目的とした底質改善工法，第 7 回地盤改良シンポジウム論文集，pp. 201-204，2006.
- 7) 中村充：水産土木学-漁場造成・海岸環境エンジニアリング，工業時事通信社，508p.，1979.
- 8) 中村充：漁場工学（水産土木）入門，水産の研究(6)，緑書房，pp. 68-72，1983.
- 9) 小野正順，山崎剛央，出口一郎：外洋性二枚貝の浮遊稚貝の着底率と波と流れによる着底稚貝の移動に関する研究，海岸工学論文集，第 45 巻，pp. 1086-1090，1998.
- 10) 中野晋，宇野宏司：底生動物「シオマネキ」の浮遊幼生分散と塩分環境，海岸工学論文集，第 48 巻，pp. 1181-1185，2001.
- 11) 桑原久実，齊藤肇：下流濁沼川におけるヤマトシジミ浮遊幼生の挙動特性，海岸工学論文集，第 50 巻，pp. 1106-1110，2003.
- 12) 山西博幸ら：泥質干潟域における懸濁物質の沈降特性に関する研究，環境工学研究論文集，第 43 巻，pp. 527-534，2006.
- 13) 玉井恭一：沿岸の環境圏，株式会社フジテクノシステム，pp. 244-253，1998.
- 14) 土木学会編：環境工学公式・モデル・数値集，丸善(株)，p. 327，2004.
- 15) 関根雅彦ら：河川環境管理を目的とした生態系モデルにおける生物の環境選好性の定式化，土木学会論文集，No. 503/II-29，pp. 177-186，1994.
- 16) 玉井信行，奥田重俊，中村俊六編：河川生態環境評価法，東京大学出版，p. 176，2000.