

人工干潟域の基盤材料としてのダム堆積砂の適性評価

本田是人・青山裕晃・和久光靖・向井良吉・石田基雄

Evaluation of the sand accumulated at Yahagi dam in case of using as material of artificial tidal flat areaHONDA Yoshito^{*1}, AOYAMA Hiroaki,^{*2} WAKU Mitsuyasu^{*1},
MUKAI Ryoukichi^{*3} and ISHIDA Motoo^{*1}

Abstract : The possibility of using the sand accumulated at Yahagi dam was investigated in the present study, because in the near future it may become more difficult to obtain marine sand on a massive scale. This study was conducted at a Tidal Flat Mesocosm System (TFMS), and at an artificial shallow area in Mikawa Bay. The settlement of the planktonic larvae of Japanese littleneck clam (*Ruditapes philippinarum*) was examined with the small-blocked experiment (1 m×1 m) in TFMS over 2 years in spring and autumn. There was no significant difference in the larval settlement survival between the sand accumulated at Yahagi dam and natural sand. Standing stocks of macrobenthos, meiobenthos and the structure of benthic community of sand accumulated at Yahagi dam on the finish date of the settlement experiment were similar to the natural sand. In the large-blocked experiment (2.5 m×8 m) in TFMS, there was no significant difference in the larval settlement, survival between the two types sand in the spring experiment. However, as a result, in autumn, juveniles settled on the sand accumulated at Yahagi dam were larger as compared to natural sand. There was a difference in macrobenthic species between the two types sand. Thus, we suggested that it is necessary to carry out the experiment on a large-scale and several times, when the properties of artificial sand were evaluated in the future. In the experiment at artificial shallow area, there was larger recruitment of planktonic larvae of Japanese littleneck clam (*Ruditapes philippinarum*) at the sand accumulated Yahagi dam as compared to the marine sand. From these results, the possibility to using the sand accumulated at Yahagi dam as an alternative material to marine sand was suggested.

キーワード: ダム堆積砂, アサリ, 着底, メソコスム

三河湾では、1970年代の干潟・浅場の消失に伴い赤潮の多発、貧酸素水塊の拡大が進んだため、漁業者の強い要望に沿って環境回復のための干潟・浅場造成事業が1998～2004年にかけて三河湾湾口部の中山水道航路浚渫砂を利用して実施された。しかし、事業終了後は造成に適した海砂の大量供給が困難となり、要望に応えられなくなっている。このため、新たな干潟・浅場基盤材料の確保が緊急課題となっており、本田ら¹⁻³⁾は海砂に替わる人工砂として高炉水砕スラグの適性を生物学的に評

価し、その効用と問題点を明らかにしている。さらにそれ以外の基盤材料についても検討すべきと述べている。本研究では、治水・利水上大きな問題となっているダム堆積砂を干潟・浅場に生息する生物の基盤材料として利用することを想定し、干潟メソコスムを用いて底生生物に対する応答、特に三河湾の優占種であるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) に対する応答を評価した。さらに実海域に試験区を造成し、アサリ個体群の動態や底生生物の群集構造を調査した。

*1 愛知県水産試験場 (Aichi Fisheries Research Institute, Miya, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan)

*2 豊川水系対策本部事務局 (Toyogawa River Taskforce office, Hattyou-dori, Toyohashi, Aichi 440-0806, Japan)

*3 愛知県水産課 (Fisheries Division, Aichi Prefectural Government, Sannoma, Naka, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan)

材料及び方法

(1)干潟メソコスムによるダム堆積砂の適性評価

アサリ浮遊幼生の着底実験

アサリ浮遊幼生の着底実験には同等の機能を持つ2つの干潟メソコスム水槽を用いた(以下M-1, M-2と称する)。図1にM-1とM-2に造成した実験区の配置を示した。M-1は水槽を1m×1mの格子状に仕切り、図1(M-1)に示したように天然海砂(N)2区 N_1, N_2 、ダム砂(D)3区 D_1, D_2, D_3 を厚さ10cmになるよう造成した。ダム砂は三河湾に流入する一級河川である矢作川の upstream、愛知県と岐阜県の県境に位置する矢作ダム(国土交通省所管)に堆積した砂であり、礫を除いて粒度調整した。中央粒径(d_{50})の平均は、天然砂区が0.72mm、ダム砂区が0.48mmであった。M-1には別の材料試験のためこれ以外の材料で実験区を造成しているが、ここでは評価していない。図1(M-2)に示したようにM-2は水槽を2分割し、ダム砂(D)と天然海砂(N)による実験区を厚さ40cmで造成した。ダム砂区はM-1のような粒度調整を行わず、中央粒径(d_{50})はダム砂区が1.49mm、天然砂区は0.49mmであった。

アサリ浮遊幼生の着底実験は、小規模な実験区を造成したM-1で2年に渡り春期と秋期に計4回行った。2007年は予備の実験であり、2008年には同様な方法により2007年の結果を検証した。さらに2008年には造成規模を拡大したM-2で春期と秋期に着底実験を行った。アサリの産卵誘発は2007年と2008年に計4回実施し、実験に供する浮遊幼生を得た。三河湾で採取したアサリを12, 28にそれぞれ冷却、加温した精密ろ過海水で温度刺激法⁴⁾により放精・放卵させ、受精卵を得た。ふ化幼生がD状態幼生に変態した後、水槽水を30 μ mメッシュのナイロンネットを通して排出し、濃縮された幼生を含む残水を13m³水槽へ移し、飼育を開始した。飼育水管理としては、精密ろ過した後、紫外線照射した海水を1日あたり飼育水槽容量の2倍程度を注水する流水方式とし、弱いエアレーションを施した。餌は*pavlova lutheri*単独で、1日1回飼育水中の濃度が $2\sim 3\times 10^4$ cells/mlとなるように与えた。

M-1, M-2にはフルグロウン期幼生を表1に示すように収容した。収容後は海水中の浮遊幼生を観察し、幼生がほとんど確認されなくなるまで干潟や潮汐流は起こさなかった。着底確認後、表1に示したそれぞれの日時に1回目のサンプリングを行った。サンプリングの方法は、水槽の海水を排水し、M-1では図1(M-1)に示した天然砂2区、ダム砂3区の実験区につき内径27mmのコアを用いて深さ5cmまで5回差し込み、試料はそれぞれの実

験区ごとに混合した。M-2では、図1(M-2)に示したダム砂区3点と天然砂区3点においてM-1と同様な手法により堆積物を5回採取し、調査点ごとに混合試料とした。その後、潮位変化、潮汐流、波、風を与え、水産試験場地先の海水を潮汐周期に合わせメソコスムに導入・排出した。潮汐変化は三谷の予測潮位ファイル(電子潮見表、日本水路協会海洋情報研究センター)を用いて実時間で再現した。砂面の地盤高はD.L.(Datum Level)±0mに設定し、潮汐振幅は水槽の実現可能最高水深の制約から38%に圧縮した。流速は、満ち引きの最強流時に最大25cm/sec、潮止まり時(最満干潮時)に0cm/secとなるよう連続的に設定し、流向は満ち潮引き潮で逆転させた。水深が0.1m以下になったとき4m/secで送風し、風波や微弱な流れを起こすとともに、水温・泥温の異常上昇を防止した。また、最満潮時を中心に90分間は周期2sec、波高45mmの造波を行った。2回目、3回目のサンプリングも表1に示した調査時に同様に行い、着底稚貝の生息密度を追跡した。干潟メソコスムの実験条件として、各秋期実験については干出等によって生物量を初期値に戻すことなく、引き続き着底実験を行った。

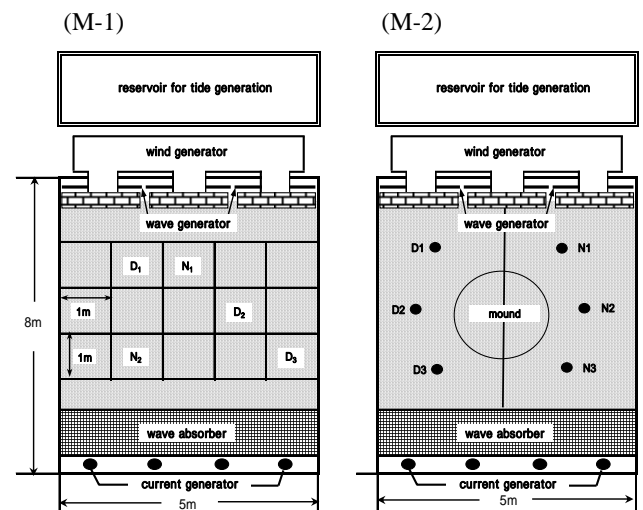


図1 実験砂の配置

(M-1)天然砂; N_1, N_2 , ダム堆積砂; D_1, D_2, D_3 ,

(M-2)ダム堆積砂; D , 天然砂; N . はサンプリング定点を示す

表 1 アサリ浮遊幼生の収容年月日，収容時の平均殻長，収容個体数，着底稚貝及び底生生物の採取年月日

M-1						
	収容年月日	平均殻長 (μm)	収容個体数 ($\times 10^4 \cdot \text{m}^{-2}$)	採取年月日		
				1回目	2回目	3回目
(a) 2007年春期実験	21-May-07	213	23.5	4-Jun-07	10-Jul-07	10-Sep-07
底生生物調査	-	-	-	-	-	10-Sep-07
(b) 2007年秋期実験	12-Nov-07	203	12.4	28-Nov-07	9-Jan-08	7-Feb-08
底生生物調査	-	-	-	-	-	7-Feb-08
(c) 2008年春期実験	31-May-08	203	2.6	25-Jun-08	23-Jul-08	25-Sep-08
底生生物調査	-	-	-	-	-	25-Sep-08
(d) 2008年秋期実験	20-Oct-08	203	33.9	12-Nov-08	11-Dec-08	10-Feb-09
底生生物調査	-	-	-	-	-	10-Feb-09

M-2						
	収容年月日	平均殻長 (μm)	収容個体数 ($\times 10^4 \cdot \text{m}^{-2}$)	採取年月日		
				1回目	2回目	3回目
(e) 2008年春期実験	31-May-08	203	1.3	25-Jun-08	23-Jul-08	25-Sep-08
底生生物調査	-	-	-	-	-	25-Sep-08
(f) 2008年秋期実験	20-Oct-08	203	33.9	12-Nov-08	11-Dec-08	10-Feb-09
底生生物調査	-	-	-	-	-	10-Feb-09

底生生物の生息調査

アサリ浮遊幼生の着底実験と並行して，干潟メソコスムに自然加入した底生生物を追跡調査した。マクロベントスとメイオベントスは，M-1の各実験区(図1(M-1))，M-2の各調査定点(図1(M-2))において，表1に示した調査時に採取した。マクロベントスは10 cm×10 cmのステンレス製コードラートを用いて3回堆積物を採取した。試料はM-1の実験区，M-2の調査定点ごとに混合し，1 mm目の篩を用いて細粒堆積物を除き10%中性ホルマリンで固定後，種別に計数し湿重量を測定した。メイオベントスは内径27 mmのコアを深さ5 cmまで1回差し込み3%中性ホルマリンで固定後冷蔵し，1 mm目の篩を通過し32 μm の篩に残留した生物について分類群別に個体数を計数した。

海域試験によるダム堆積砂の適性評価

実海域でアサリ個体群の加入とマクロベントス群集構造を把握するために，図2に示した位置に矢作ダム堆積砂を用いて2008年8月に造成し(以下ダム砂区，50 m×50 m，D.L.-4 m)，2008年10月29日から2010年1月19日までダム砂区3点につき底質の物理化学的環境条件の調査とマクロベントス及びアサリ個体群の調査を7回行った。底質の物理化学的環境要因として，粒度組成，強熱減量，酸揮発性硫化物(AVS)濃度を分析した。分析用サンプルは内径44 mmのコアを用いて深さ5 cmまで4回差し込み採取し，調査地点ごとに混合した。粒度組成の分析は日本工業規格のJIS-A1204(日本工業標準調査会⁵⁾)，強熱減量は環水環127号底質調査方法4に従っ

た。酸揮発性硫化物(AVS)濃度はヘドロテック-S用検知管(ガステック社製)を用いて測定した。マクロベントスは各調査地点において25 cm×25 cmのステンレス製コードラートを用いて深さ10 cmの堆積物を1回採取し，1 mm目の篩を用いて細粒堆積物を除き10%中性ホルマリンで固定後，分析に供した。試料は種別に計数し，湿重量を測定した。アサリ着底稚貝(殻長1 mm未満)は内径44 mmのコアにより深さ3 cmまで2回差し込み採取し，調査地点ごとに混合した。なお，比較のために，2002年9月に造成された近傍の浅場(以下海砂区，50 m×50 m，D.L.-4 m)で同様な調査を行った。

データの統計学的処理はMann-Whitney's *U*-testを行い，有意水準5%で検定した。



図2 海域試験おける試験区の位置，ダム砂区；，海砂区

結 果

(1)メソコスム実験 (M-1 小規模区画実験) によるダム堆積砂の適性評価

2007 年のアサリ浮遊幼生着底実験と底生生物の群集構造

図 3 に M-1 の天然砂区, ダム砂区に着底したアサリ稚貝の生息密度 (平均 \pm SE) の推移とマクロベントス湿重量 (平均 \pm SE), メイオベントス個体数の密度 (平均 \pm SE) を示した。アサリ着底稚貝の生息密度をみると, い

ずれの調査時も天然砂区とダム砂区との間に統計的に有意な差はなかった ($P > 0.05$)。2007 年春期実験 (a) の 9 月 12 日に両実験区で生息密度が大きく低下したのは, メソコスム特有の夏季の高水温と餌不足の影響と思われる。マクロベントス湿重量, メイオベントス個体数の密度では, 2007 年春期実験 (a) 終了時の 2007 年 9 月 12 日, 2007 年秋期実験 (b) 終了時の 2008 年 2 月 7 日のいずれの調査時も天然砂区とダム砂区との間に有意な差はなかった ($P > 0.05$)。

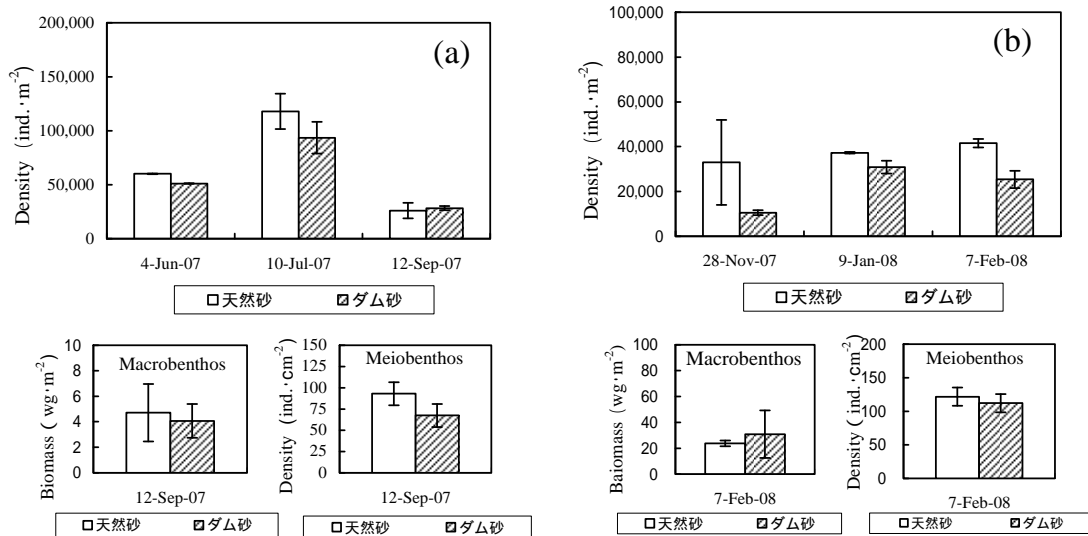


図 3 2007 年アサリ春期着底実験 (a), 秋期着底実験 (b) の M-1 における着底稚貝生息状況とマクロベントス, メイオベントス現存量

表 2 に M-1 の天然砂区, ダム砂区で着底実験終了時の 2007 年 9 月 12 日, 2008 年 2 月 7 日に採取したマクロベントス湿重量, メイオベントス個体数の組成比を平均値で示した。ただし, 人為的に加入させたアサリは除いた。2007 年 9 月 12 日のマクロベントスをみると, 天然砂区では 4 種出現し, 内訳では環形動物, 節足動物, 棘皮動物, 原索動物がそれぞれ 1 種であった。ダム砂区では環形動物 1 種, 棘皮動物 1 種の 2 種が出現した。組成比では, いずれの実験区もミズヒキゴカイ (*Cirriformia tentaculata*) が全体の 60% 以上を占めた。2008 年 2 月 7 日の天然砂区では, 環形動物 2 種, 節足動物 1 種, 棘皮動物 1 種の 4 種, ダム砂区では環形動物 3 種, 節足動物 1 種, 棘皮動物 1 種の 5 種が出現した。組成比では天然

砂区はホソイカリナマコ (*Leptosynapta inhaerens*), ミズヒキゴカイ, ダム砂区ではハヤテシロガネゴカイ (*Nephtys caeca*), ホソイカリナマコが優占していた。メイオベントスは 2007 年 9 月 12 日の調査時には天然砂区, ダム砂区とも線虫綱 (NEMATODA) > 有孔虫目 (Foraminifera) > ハルパクチクス目 (Harpacticoida) の順に優占率が高く, 2008 年 2 月 7 日はいずれの実験区も線虫綱が 70% 以上を占め, 天然砂区, ダム砂区の底生生物の種組成に顕著な違いはなかった。

表 2 2007 年春期実験, 秋期実験における M-1 の(a)マクロベントス, (b)メイオベントスの種構成

(a)マクロベントス

動物門	綱	学名	12-Sep-07				7-Feb-08			
			天然砂		ダム砂		天然砂		ダム砂	
			湿重量 %	湿重量 %	湿重量 %	湿重量 %	湿重量 %	湿重量 %		
環形	ゴカイ	<i>Nephtys caeca</i> (ハヤシロガカイ)					16.1	52.1		
		<i>Cirriiformia tentaculata</i> (ミスヒキゴカイ)	3.0	63.3	2.4	67.0	6.6	34.9	4.4	14.3
		<i>Capitella</i> sp. (イトゴカイ属)					2.3	12.2	0.8	2.6
		<i>Aonides oxycephala</i> (ケツサスオ)								
節足	甲殻	<i>Corophium</i> sp. (ドコガミ属)	0.1	1.4			2.3	12.1	1.6	5.3
棘皮	ナマコ	<i>Leptosynapta inhaerens</i> (ホイカケナマコ)	1.5	32.2	1.2	33.0	7.7	40.8	8.0	25.8
原索	ホコ	Asciidiidae (オコノホコ科)	0.2	3.2						
Total			4.7	100.0	3.6	100.0	18.9	100.0	30.9	100.0

unit, mg/m²

(b)メイオベントス

動物門	綱	学名	12-Sep-07				7-Feb-08			
			天然砂		ダム砂		天然砂		ダム砂	
			個体数	%	個体数	%	個体数	%	個体数	%
原生	根足虫	Foraminifera (有孔虫目)	30.1	32.4	16.4	24.3	5.5	4.5	3.6	3.3
	繊毛虫	CILIATA (繊毛虫綱)	1.4	1.5	0.9	1.4	2.7	2.2	0.9	0.8
袋形	線虫	NEMATODA (線虫綱)	43.7	47.1	34.6	51.4	92.9	76.4	89.3	79.7
軟体	二枚貝	BIVALVIA (二枚貝綱)	5.5	5.9	3.6	5.4	4.1	3.4	5.5	4.9
環形	ゴカイ	POLYCHAETA (ゴカイ綱)					2.7	4.1		
節足	甲殻	OSTRACODA (かみ目)			0.9	1.4				
		Harpacticoida (ハルパキウス目)	12.3	13.2	8.2	12.2	16.4	13.5	12.8	11.4
Total			92.9	100.0	67.4	100.0	121.6	100.0	112.1	100.0

2008 年のアサリ浮遊幼生着底実験と底生生物の群集構造

図 4 に M-1 における 2008 年のアサリ浮遊幼生の着底稚貝の密度 (平均 ± SE) とマクロベントス湿重量 (平均 ± SE), メイオベントス個体数の密度 (平均 ± SE) を示した。アサリ着底稚貝の生息密度をみると, 2008 年春期実験 (c) では, 7 月 23 日の調査時には天然砂区がダム砂区に比べ統計的に有意に高かったが ($P < 0.05$), 9 月

25 日にはいずれの実験区も生息密度が大きく低下し, それぞれの差は有意でなくなった ($P > 0.05$)。2008 年秋期実験 (d) では, 天然砂区とダム砂区で有意な差はなかった ($P > 0.05$)。マクロベントス湿重量は, 2008 年春期実験 (c) 終了時の 9 月 25 日では天然砂区がダム砂区に比べ有意に多く ($P < 0.05$), メイオベントス個体数の密度については有意な差はなかった ($P > 0.05$)。2008 年秋期実験 (d) 終了時の 2009 年 2 月 10 日におけるマクロベ

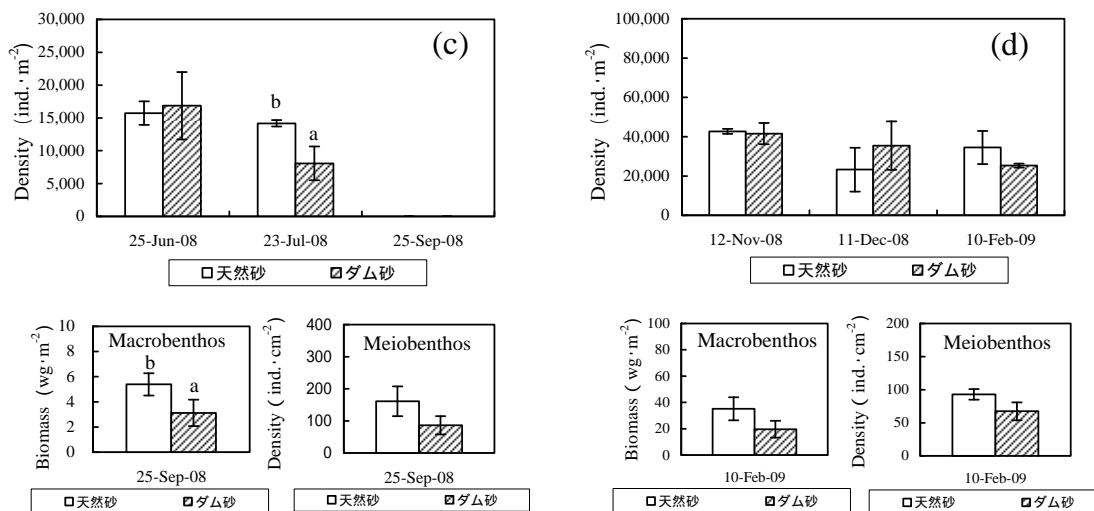


図 4 2008 年春期着底実験(c), 秋期着底実験(d)の M-1 における着底稚貝生息状況とマクロベントス, メイオベントス現存量

異なるアルファベットは $P < 0.05$ で統計的に有意 (Mann-Whitney's U -test, $a < b$)

ントス湿重量, メイオベントス個体数の密度は, いずれも有意な差はなかった ($P > 0.05$)。

表 3 に M-1 の天然砂区, ダム砂区で着底実験終了時の 2008 年 9 月 25 日, 2009 年 2 月 10 日に採取したマクロベントス湿重量, メイオベントス個体数の組成比を平均値で示した。ただし, 人為的に加入させたアサリは除いた。2008 年 9 月 25 日をみると, マクロベントスは天然砂区では 4 種出現し, 内訳では環形動物 2 種, 節足動物, 棘皮動物がそれぞれ 1 種であった。ダム砂区では環形動物が 2 種, 節足動物, 棘皮動物がそれぞれ 1 種の 4 種が出

現し, 実験区で種数に差はなかった。組成比では, 天然砂区, ダム砂区ともミズヒキゴカイ, ホソイカリナマコの優占率が高く, 両種で全体の 90% 以上を占めた。2009 年 2 月 10 日は天然砂区, ダム砂区とも環形動物 3 種, 節足動物 1 種, 棘皮動物 1 種の 5 種が出現したが, いずれの実験区もミズヒキゴカイが卓越し全体の 70% 以上を占めていた。メイオベントスは, いずれの実験区も線虫綱, ハルパクチクス目が優占し, 両種で全体の 70% 以上を占めた。

表 3 2008 年春期実験, 秋期実験における M-1 の(a)マクロベントス, (b)メイオベントスの種構成

(a)マクロベントス

動物門	綱	学名	25-Sep-08				10-Feb-09			
			天然砂		ダム砂		天然砂		ダム砂	
			湿重量	%	湿重量	%	湿重量	%	湿重量	%
環形	ゴカイ	<i>Cirriiformia tentaculata</i> (ミズヒキゴカイ)	4.8	56.3	1.2	38.0	27.8	79.0	13.7	70.1
	ゴカイ	<i>Capitella</i> sp.(トゴカイ属)					0.6	1.6	0.6	3.0
	ゴカイ	<i>Arenicola brasiliensis</i> (タマシゴカイ)							0.1	0.5
	ゴカイ	Syllinae (シリス科)			0.1	3.2	0.1	0.2		
節足	ゴカイ	<i>Aonides oxycephala</i> (ケウサシオ)	0.3	3.1						
	甲殻	<i>Corophium</i> sp.(トコガシ属)	0.3	3.7	0.0	1.1	2.2	6.2	1.9	9.9
棘皮	ナマコ	<i>Leptosynapta inhaerens</i> (ホソイカリナマコ)	3.2	36.9	1.8	57.8	4.6	13.0	3.2	16.5
Total			8.5	100.0	3.1	100.0	35.2	100.0	19.5	100.0

unit, mg/m²

(b)メイオベントス

動物門	綱	学名	25-Sep-08				10-Feb-09			
			天然砂		ダム砂		天然砂		ダム砂	
			個体数	%	個体数	%	個体数	%	個体数	%
原生	根足虫	Foraminifera (有孔虫目)	9.6	5.9	0.9	1.1			5.5	3.1
袋形	線虫	NEMATODA (線虫綱)	127.1	78.8	66.5	76.8	139.4	82.3	109.3	61.9
	ワムシ	ROTATORIA (ワムシ綱)								
軟体	ニマガイ	BIVALVIA (ニマガイ綱)					8.2	4.8	18.2	10.3
環形	ゴカイ	POLYCHAETA (ゴカイ綱)	1.4	0.8					5.5	3.1
節足	甲殻	OSTRACODA (カシ目)	6.8	4.2	2.7	3.2			9.1	5.2
	甲殻	Acarina (ダニ目)			0.9	1.1				
	甲殻	Harpacticoida (ハルパクチクス目)	16.4	10.2	15.5	17.9	21.9	12.9	29.2	16.5
Total			161.3	100.0	86.6	100.0	169.5	100.0	176.8	100.0

unit, ind./cm²

(2)M-2 (大規模区画実験)によるダム堆積砂の適性評価
図 5 に M-2 の天然砂区, ダム砂区に着底したアサリ稚貝の生息密度 (平均 ± SE) とマクロベントス湿重量 (平均 ± SE), メイオベントス個体数の密度 (平均 ± SE) を示した。アサリ稚貝の生息密度をみると, 2008 年春期実験 (e) では着底初期の 6 月 25 日にはダム砂区が天然砂区に比べ低いものの統計的に有意な差はなく ($P > 0.05$), その後は時間経過に伴い両区の差が小さくなる傾向にあり, 9 月 25 日の調査時にはいずれの実験区も生息密度が大きく低下した。2008 年秋期実験 (f) では, ダム砂区の生息密度が天然砂区より高い傾向で推移し, 11 月 12 日と 12 月 11 日の調査時ではダム砂区が天然砂に比べ有意に高かった ($P < 0.05$)。マクロベントス, メイオベ

ントス現存量は, いずれの調査時も天然砂区とダム砂区との間に有意な差はなかった ($P > 0.05$)。

表 4 に M-2 の天然砂区, ダム砂区で着底実験終了時の 2008 年 9 月 25 日, 2009 年 2 月 10 日に採取したマクロベントス湿重量, メイオベントス個体数の組成比を平均値で示した。ただし, 人為的に加入させたアサリは除いた。マクロベントスをみると, 2008 年 9 月 25 日の天然砂区では 3 種出現し, 内訳では環形動物, 節足動物, 棘皮動物がそれぞれ 1 種であった。ダム砂区では 4 種出現し, 軟体動物が 1 種, 環形動物が 2 種, 棘皮動物が 1 種であった。組成比では, 天然砂区でホソイカリナマコ, ダム砂区ではミズヒキゴカイ, ホソイカリナマコが優占していた。2009 年 2 月 10 日は, 天然砂区では環形動物 1 種,

節足動物 1 種, 棘皮動物 1 種の 3 種, ダム砂区では環形動物 2 種, 節足動物 1 種, 棘皮動物 1 種の 4 種が出現した。組成比では, 天然砂区でドロクダムシ属, ホソイカリナマコ, ダム砂区ではミズヒキゴカイ, ドロクダムシ

属の優占率が高かった。メイオベントスはいずれの調査時も天然砂区, ダム砂区で線虫綱, 次いでハルパクチクス目が多く出現し, これら 2 種で全体の 70%以上を占めた。

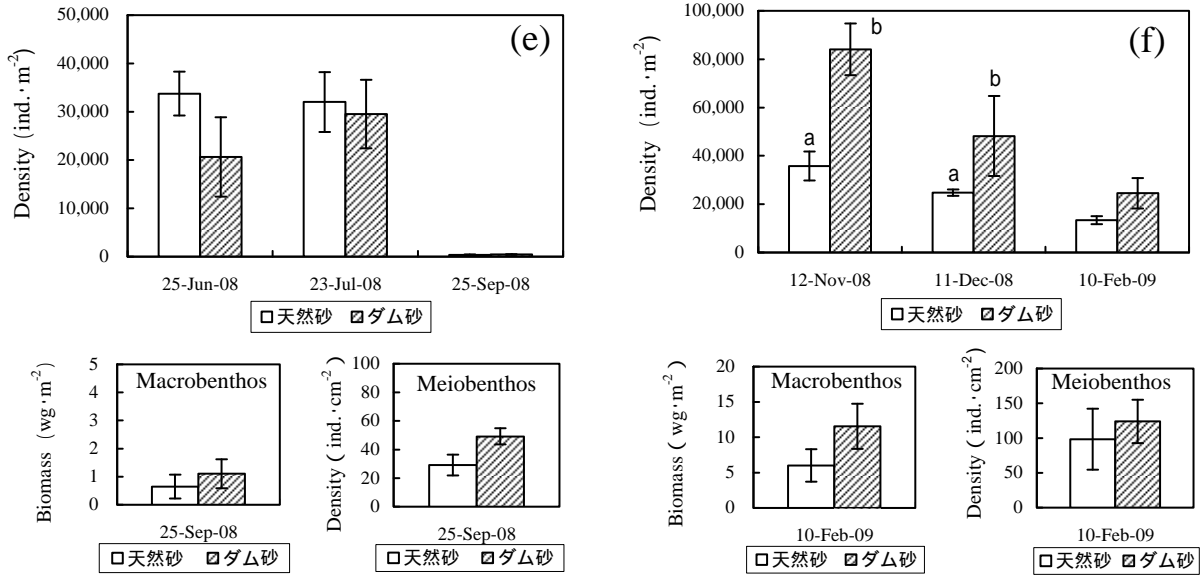


図 5 2008 年春期着底実験(e), 秋期着底実験(f)における M-2 の着底稚貝生息状況とマクロベントス, メイオベントス現存量
異なるアルファベットは $P < 0.05$ で統計的に有意 (Mann-Whitney's U -test, $a < b$)

表 4 M-2 における(a)マクロベントスと(b)メイオベントスの種構成

(a)マクロベントス

動物門	綱	学名	25-Sep-08				10-Feb-09			
			天然砂		ダム砂		天然砂		ダム砂	
			湿重量	%	湿重量	%	湿重量	%	湿重量	%
軟体	ニカイ	<i>Musculista senhousia</i> (ホトギスカイ)			0.1	16.7				
環形	ゴカイ	<i>Cirriiformia tentaculata</i> (ミズヒキゴカイ)			0.4	50.0			5.0	43.3
		Syllinae (シリス科)	0.1	9.1	0.1	11.1	0.1	0.9	0.1	0.9
節足	甲殻	<i>Corophium</i> sp. (ドロクダムシ属)	0.1	10.9			3.0	50.9	4.9	42.5
棘皮	ナマコ	<i>Leptosynapta inhaerens</i> (ホソイカリナマコ)	0.5	80.0	0.2	22.2	2.8	48.1	1.5	13.3
Total			0.6	100.0	0.8	100.0	5.9	100.0	11.5	100.0

unit: wet g · m⁻²

(b)メイオベントス

動物門	綱	学名	25-Sep-08				10-Feb-09			
			天然砂		ダム砂		天然砂		ダム砂	
			個体数	%	個体数	%	個体数	%	個体数	%
原生	根足虫	Foraminifera (有孔虫目)	0.9	3.1	4.6	9.3	7.3	7.4	3.6	2.9
袋形	線虫	NEMATODA (線虫綱)	10.9	37.5	23.7	48.1	62.0	63.0	92.9	75.0
		ワムシ ROTATORIA (ワムシ綱)	0.9	3.1						
軟体	ニカイ	BIVALVIA (ニカイ綱)					3.6	3.7	5.5	4.4
環形	ゴカイ	POLYCHAETA (ゴカイ綱)	0.9	3.1	1.8	3.7			1.8	1.5
節足	甲殻	OSTRACODA (ガイムシ目)	4.6	15.6	2.7	5.6				
		Harpacticoida (ハルパクチクス目)	10.0	34.4	16.4	33.3	25.5	25.9	20.0	16.2
		<i>Ampithoe vallis</i> (オシロイソデ)	0.9	3.1						
Total			29.2	100.0	49.2	100.0	98.4	100.0	123.9	100.0

unit: ind. · cm⁻²

(3) 海域試験によるダム堆積砂の適性評価

図 6 に調査開始 2008 年 10 月時点でのダム砂区 3 点と比較のための海砂区 3 点における堆積物の粒度組成を示した。調査地点で平均するとダム砂区の中央粒径 (d_{50}) は 2.7 mm で、細礫分と中礫分が 4~5 割を占めていた。海砂区は細砂分が 8~9 割の均一な分布で、中央粒径 (d_{50}) は平均すると 0.18 mm であった。いずれの造成砂もシルト+泥分は 5%以下だった。図には示していないが、その他調査時の粒度組成はいずれの試験区も類似しており、大きな変化はなかった。ダム砂区、海砂区における強熱減量、硫化物濃度の変動を図 7 に示した。いずれの項目もダム砂区が海砂区に比べ低い値で推移した。

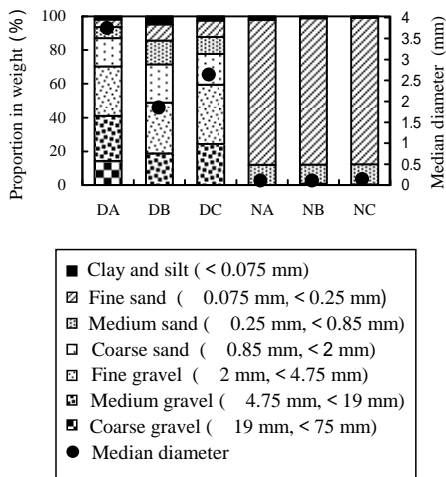


図 6 粒度組成と中央粒径

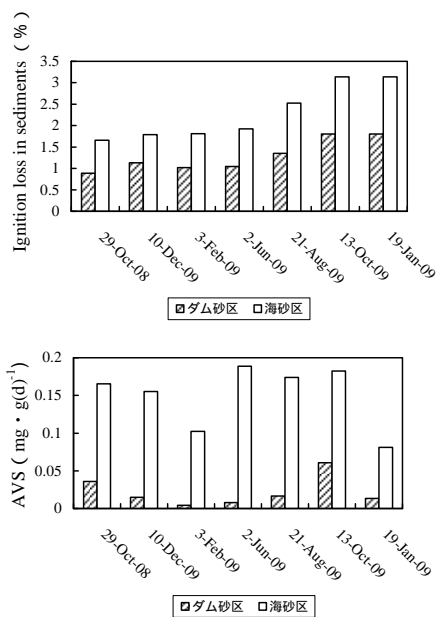


図 7 強熱減量と硫化物(AVS)濃度の季節変動

表 5 に調査期間中に出現したダム砂区、海砂区における上位 5 種のマクロベントス湿重量の組成比を平均値で示した。ダム砂区の優占種はアサリ (*Ruditapes philippinarum*) とホトトギスガイ (*Musculista senhousia*) で、それぞれ全体の 45.8%、41.1%を占めた。その他ではシオフキ (*Mactra veneriformis*) が 5.1%で、サルボウガイ (*Scapharca subcrenata*) の出現もみられた。一方、海砂区ではホトトギスガイ 1 種で全体の 90.7%を占めた。

表 5. 海域試験のダム砂区、海砂区に出現したマクロベントス上位 5 種

ダム砂区				
No.	学名	範囲	平均	%
1	<i>Ruditapes philippinarum</i> (アサリ)	0 - 2731	857.8	45.8
2	<i>Musculista senhousia</i> (ホトトギスガイ)	0 - 2899	768.8	41.1
3	<i>Mactra veneriformis</i> (シオフキ)	0 - 471	95.2	5.1
4	<i>Scapharca subcrenata</i> (サルボウガイ)	0 - 191	60.6	3.2
5	<i>Phlyctiderma japonicum</i> (ヤエウメガイ)	0 - 109	13.9	0.7

海砂区				
No.	学名	範囲	平均	%
1	<i>Musculista senhousia</i> (ホトトギスガイ)	71 - 2899	1482.4	90.7
2	<i>Ruditapes philippinarum</i> (アサリ)	0 - 202	68.5	4.2
3	<i>Owenia fusiformis</i> (チマキコガイ)	0 - 58	20.4	1.2
4	<i>Cirriformia tentaculata</i> (ミスヒキコガイ)	0 - 42	10.9	0.7
5	<i>Glossaulax didyma</i> (ツメタガイ)	0 - 34	6.0	0.4

unit; wet mg · m⁻²

図 8 にダム砂区、海砂区に出現したアサリ着底稚貝 (殻長 1 mm 未満) の密度 (平均 ± SE) を示した。2008 年 10 月、2009 年 2 月の調査ではダム砂区、海砂区いずれの調査点にも出現しなかったが、それ以外は 2009 年 8 月を除きダム砂区で密度が高かった。全期間で平均 (±SE) すると、ダム砂区 642 ± 268 個体/m²、海砂区 143 ± 36 個体/m²で、統計的に有意ではないものの ($P > 0.05$) ダム砂区で着底稚貝の密度が高い傾向にあった。

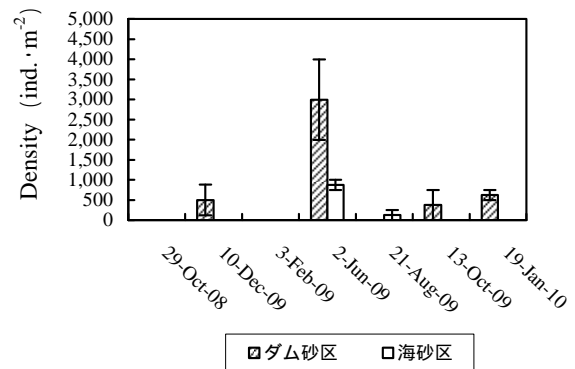


図 8 アサリ着底稚貝の季節変動

考 察

図3, 4に示したM-1におけるアサリ浮遊幼生の着底実験でダム砂区と天然砂区を比較すると、一部の例外(図4(c))を除いて統計的に有意な差はなく、アサリ浮遊幼生の着底・生存に関してダム堆積砂と天然砂は類似していると評価された。

M-1における底生生物の加入(図3, 4)をみると、マクロベントス現存量は2008年春期実験終了時(9月25日)を除いていずれの調査時でも類似していた。

表2, 3に示したM-1のマクロベントス種組成は春期実験終了時及び秋期実験終了時においても、いずれの実験区でもミズヒキゴカイ、ホソイカリナマコの優占率が高い傾向にあったが、例外的に2008年2月7日(表3)にはダム砂区でのみハヤテシロガネゴカイが出現しており、その原因については不明である。メイオベントスをみると、いずれの調査時、実験区も線虫綱が卓越しており、それぞれの組成比に顕著な違いはみられなかった。これらのことから、M-1の小規模区画実験ではマクロベントスの出現傾向がやや異なるものの、底生生物の生息機能、群集構造に関してダム堆積砂と天然砂で顕著な差はないと考えられた。

図5に示したM-2の天然砂とダム砂でのアサリ浮遊幼生の着底・生存をみると、春期実験(e)ではダム砂区と天然砂区との間に有意な差はなかったが、秋期実験(f)では11月、12月の調査時にダム砂区が天然砂区に比べ生息密度が有意に高かった。一方、M-1では春期実験(図4(c))では7月の調査時にダム砂区が天然砂区に比べ有意に低く、秋期実験(図3(b)、図4(d))では有意な差がなかった。このようにM-1とM-2では異なる傾向がみられた。これらのことは、実験規模によってアサリ浮遊幼生の着底・生存に差が現れる可能性を示唆している。

M-2のマクロベントス現存量(図5)については、いずれの調査時も統計的に有意な差はないもののダム砂区が天然砂区に比べ多い傾向にあり、M-1(図3, 4)とは傾向が異なった。M-2ではM-1と比べて現存量が少ないため明確な比較はできないが、ダム堆積砂と天然砂ではマクロベントスの生息機能が異なることが示唆された。この傾向はメイオベントス現存量についても同様であった。

表4に示したM-2のマクロベントス種組成をみると、M-1で優占していたミズヒキゴカイがM-2の天然砂区ではいずれの調査時も出現せず、ダム砂区と天然砂区では優占種が異なった。その原因については、実験規模の拡大によって種組成がやや変化する可能性が示唆された。

人工干潟が漁場や水質浄化の場として機能するためには、天然干潟と同様な底生生態系が構築され、特にアサ

リ等有用二枚貝類の浮遊幼生が加入・着底し成長する好適な基盤材料の存在が不可欠である。今回のメソコスム実験の結果、小規模区画実験(M-1)では、全体的にみると天然砂区とダム砂区との間にアサリ浮遊幼生の着底・生存、底生生物の加入について顕著な相違はなかったものの、2008年春期実験(図4(c))では7月にダム砂区が天然砂区に比べアサリ生息密度が有意に低い結果も得られた。しかし、造成規模を拡大した大規模区画実験(M-2)ではアサリの着底・生存やマクロベントスの加入に関してダム堆積砂が天然砂と同等もしくはそれ以上の結果が得られた。このように、実験規模を拡大するとアサリの着底・生存、底生生物の加入が異なり、空間的スケールの違いによっては必ずしも同じ結果が得られるとは限らないことが今回の実験で分かった。その原因として、アサリ浮遊幼生についてはM-2の着底可能面積がM-1の約20倍であること、マクロベントスの種組成についてはM-2の造成砂の層厚がM-1の約4倍であることが関与していると考えられる。

アサリ浮遊幼生の着底・生存を季節別にみると、小規模区画実験(M-1)では春期実験(図3(c))と秋期実験(図3(d))で異なる傾向にあり、大規模区画実験(M-2)についても春期実験(図5(e))ではダム砂と天然砂との間に有意な差がなかったが、秋期実験(図5(f))では有意な差がみられた。また、マクロベントスでは小規模区画実験(M-1)、大規模区画実験(M-2)とも全体的に顕著な違いはないものの、春期実験終了時と秋期実験終了時ではやや出現傾向が異なった。このように、アサリ浮遊幼生の着底・生存及び底生生物の群集構造が時期により異なる傾向にあることから、1季節のみの短期的な結果では評価できないと考えられる。従来二枚貝類幼生の基質選択に関する実験の多くも小規模な空間で行われたものであって(Butman⁶⁾, Jonsson *et al.*⁷⁾), 自然条件下でも室内での着底機構が作用しているか否かは明確でなかった。そのため現実的な流動条件下での実験の必要性が指摘されている(Snelgrove & Butman⁸⁾)。従って、今後、干潟・浅場基盤材料の適性を評価する際、従来のフラスコレベルの室内実験では十分に評価できず、頻度が高く空間的スケールを拡大した実験方法を導入する必要があると思われる。本研究のようにダム堆積砂や本田ら¹⁾が示した高炉水砕スラグ等、本来海域に存在しない物質を干潟・浅場基盤材料として適性を有するか否かを評価する際にも、環境への安全性や空間的スケールの確保が可能な干潟メソコスムの利用は有効と考えられる。

メソコスム実験によりダム堆積砂が次世代の干潟・浅場基盤材料の候補として有力と考えられたため、海域で

の実証試験を実施した。その結果 図 8 に示したように、アサリ個体群の加入に関してはダム砂区が比較した海砂区より多く、実施規模を拡大することにより明瞭な差が現れた。ただし、今回比較した海砂区は同時期に造成した厳密な意味での対照ではない。表 5 に示したように海砂区ではホトトギスガイが卓越しており、これら動物群落による生息阻害（浜口ら⁹⁾、内田¹⁰⁾）が関与していること、硫化物濃度や強熱減量の増加（図 7）にみられる底泥の化学的環境の悪化がアサリの生存に大きな影響を及ぼす（伊藤・梶原¹¹⁾、黒倉ら¹²⁾）ことが示唆された。従って、対照としての比較は検討が必要である。

今回、比較した海砂区は厳密な意味での対照でないため、造成後の経過年数に伴う底泥の物理化学的变化や底生生物群集の相違も考慮すべきであり、今後の課題として残された。

要 約

- (1) 小規模(1 m×1 m)に区画した干潟メソコスム(小規模区画実験)でアサリ浮遊幼生の着底実験を春期と秋期に2年に渡り4回行った。その結果、アサリの着底・生存は天然砂(海砂)とダム砂(矢作ダム堆積砂)との間に顕著な差はなく、着底実験終了時のマクロベントス、メイオベントス現存量及び群集構造はいずれも類似していた。
- (2) 大規模(2.5 m×8 m)に区画した干潟メソコスム(大規模区画実験)では春期と秋期の2回、天然砂とダム砂で比較した。その結果、アサリ浮遊幼生の着底・生存は春期実験では差がなかったが秋期実験ではダム砂が天然砂に比べ高く、小規模区画実験とは異なる傾向がみられた。また、マクロベントス現存量はダム砂が天然砂に比べ多い傾向にあり、群集構造においても天然砂とダム砂では優占種が異なった。
- (3) メソコスム実験では時間的・空間的スケールに応じてアサリ浮遊幼生の着底・生存や底生生物に対する応答が異なり、その要因として空間的なスケールが重要であり、また、季節的にも傾向が異なることが分かった。従って、今後、基盤材料の適性を評価するにあたっては、スケールは大規模にかつ実験は複数に渡り実施する必要がある。
- (4) 海域試験では、比較した海砂区に比べダム砂区で着底稚貝(殻長1 mm未満)の加入が多かった。このように、ダム堆積砂では実験規模の拡大に伴いアサリの着底密度が高くなる傾向がみられ、次世代の干潟・浅場基盤材料の候補として有力と考えられた。

謝 辞

海域試験の調査を遂行するにあたっては、西三河漁業協同組合西尾支所の関係諸氏にご協力いただいた。また、本稿の取りまとめに際しては名城大学鈴木輝明特任教授にご校閲を賜った。ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) 本田是人・石田基雄・家田喜一・武田和也・山口安幸・鈴木輝明(2004)底生生物群集の構造およびアサリ(*Ruditapes philippinarum*)浮遊幼生の着底状況を指標とした高炉水砕スラグの機能評価。海洋理工学会誌, 10(2), 19-33.
- 2) 本田是人・石田基雄・家田喜一・武田和也・山口安幸・鈴木輝明(2005)アサリ(*Ruditapes philippinarum*)浮遊幼生の着底状況を指標とした高炉水砕スラグの機能評価。愛知水試研報, 11, 51-58.
- 3) 本田是人・石田基雄・家田喜一・武田和也・山口安幸・鈴木輝明(2007)干潟メソコスムを利用した内湾環境修復における干潟・浅場造成材確保に関する研究。海洋理工学会平成19年度秋季大会講演論文集, 13-20.
- 4) 鳥羽光晴・深山義文(1992)アサリ産卵誘発方法の比較。水産増殖, 40, 303-311.
- 5) 日本工業標準調査会(2000)土の粒度試験方法(日本工業規格 JIS-A1204)。財団法人日本規格協会, 東京, 12pp.
- 6) Butman, C. A. (1987) Larval settlement of soft-sediment invertebrates: the spatial scales of pattern explained by active habitat selection and the emerging role of hydrodynamical processes. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 25, 113-165.
- 7) Jonsson, P. R., C. André and M. Lindgarth (1991) Swimming behavior of marine bivalve larvae in a flume boundary-layer flow: evidence for near-bottom confinement. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 79, 67-76.
- 8) Snelgrove, P. V. R. and C. A. Butman (1994) Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 32, 111-177.
- 9) 浜口昌巳・薄 浩則・石岡宏子(1997)アサリ漁場内の各種生物の相互作用。水産工学, 33(3), 201-211.
- 10) 内田 晃(1965)ホトトギスの成長とアサリに及ぼす影響について。千葉県内湾水産試験場調査報告書, 7, 69-78.
- 11) 伊藤信夫・梶原 武(1981)横須賀港におけるホトトギスガイの生態 - 分布, 個体数変動および生

息域底質の全硫化物 . 付着生物研究 , 3, 37-42.

12) 黒倉 寿・黒田信行・笠原正五郎 (1988) 芦田川河

口域におけるアサリ生き残り条件に関する研究 . 水産増殖 , 38(4), 223-228.