

開放性砂浜域における漁場造成のための環境評価

水産工学研究所水産土木工学部
日向野純也・木元克則・足立久美子
調査実施年度：平成2～4年度

緒言

外海に面した開放性砂浜域は、一般に生産力が低く水産生物生産のポテンシャルティーが小さいと考えられている。また、波浪・漂砂等の流動条件が厳しいため調査研究を充分に実施することも不可能であり、外海砂浜海岸における水産生物の増殖を目的とした開発に対し具体的な方法論が提示されるに至っていない。しかしながら、鹿島灘のような海底勾配の緩い海岸にはチョウセンハマグリやコタマガイ、ウバガイなどの二枚貝の漁場が形成され、沿岸漁業の主要な漁業資源となっている。このように開放性海岸に漁場が形成される機構を海域での一次生産や流動環境と関連付けて、餌料環境を中心に貝の移動やその他二枚貝の生息に影響を及ぼす環境要因について調べた。

調査方法

1) 開放性砂浜域の碎波帯周辺における植物プランクトン調査

1991年9月より図1に示す運輸省港湾技術研究所波崎海洋研究施設 (Hasaki Oceanographical Research Facility, 以後HORF) 及びその周辺海域において週3～4日の頻度で採水した。採水方法はHORFの棧橋上から表層水はバケツで、底層水は6lバンドーン採水器を用いて採水、水温および塩分を測定した。採水した試料は、Whatman GF/Cフィルターを用いて1～3lを濾過した後、90%アセトンで抽出し、吸光法で測定、Lorenzen¹⁾の方法にしたがってクロロフィルaを定量した。また同期間中、適宜試水をホルマリン固定し沈澱濃縮した後、植物プランクトンの種組成を調べた。また、波浪については港湾技術研究所が観測している波高データの提供を受け、解析に供した。

2) 二枚貝の生理状態の把握

1991年3月に茨城県波崎沖および東海沖で採集されたウバガイ (殻長85～133mm) 腹部の筋肉を破碎し、生化学的成分を分析した。波崎沖の試料はチョウセンハマグリ漁場で貝桁網 (現地ではマンガと呼ばれる) に混獲され、一般に同海域に生息する水深 (7～10m) より浅く (4m)、海底の侵食堆積の激しい場所に生息していた。東海沖の試料は水深約7mの良好な (高密度に分布する) ウバガイ漁場で通常の貝桁網と噴流式貝桁網を用いて採集されている。また1991年3月～1992年1月にかけて福島県沿岸で採集されたウバガイ (殻長80～99mm, 平均92.4mm) の筋肉及び中腸腺の組織を切り出し、生化学的成分の分析を行った。

分析に際し、ウバガイ筋肉の試料は中腸腺や生殖腺を覆う腹部の筋肉を方形に切り出し試料とした。斧足の筋肉を用いなかったのは、漁獲の際に生ずるいわゆる舌食い (斧足先端を挟んだまま漁獲されるため、先端部がちぎれて欠けている) の貝の場合、同じ部位を試料とする事ができないためである。また、中腸腺は生殖期 (3～5月) には、生殖腺を混在しないように切り出した。これらの試料を中央水産研究所で作成されたてびき²⁾にしたがって分析し、グリコーゲン、トリグリセリド (中性脂質)、リン脂質、核酸 (DNA, RNA) 等を定量した。

3) 波浪場におけるウバガイ稚貝の移動実験

水産工学研究所生物環境実験棟の波浪環境水路 (水槽長さ18.5m×幅0.6m×深さ1m) を用いてウバガイ稚貝の波浪中における移動実験を行った (図2)。実験水槽は水平床とし、造波機の前面5m～7mにかけて厚さ5cmに細砂を敷き、その前後各1mに高さ5cmの固定床を設置した。水槽内には海水を入れ、砂面上の水深

は45cmまたは55cmとした。5分間程度造波して砂連を発生させた後、造波を停止させて砂床中央部に稚貝を放流し潜砂させた。約30分間経過の後、潜砂していなかった個体を取り除き、20分または30分間造波した。実験に用いた稚貝は、茨城県栽培漁業センターで生産されたウバガイ人工種苗(殻長2.5~15mm)である。造波中に稚貝の移動状況を観察すると共に波高および流速を測定した。造波停止後、放流点を中心として20cm幅でサイフォンを用いて稚貝を回収し、各区分での稚貝を計数した。

4) 底層流の測定手法の開発および波崎海洋研究施設における夏期の流況観測

流速計の設置を伴わずに、簡便で安価な底層流の測定が可能になれば着底期幼生や初期稚貝の移動を調べる上で非常に有用となる。ここでは比重1.04に浮力調整した浮子(直径20cm)に目印のブイを取り付けた底層フロートを試作し、底層流速の測定を試みた。図3に示すようにHORF 棧橋先端付近から底層フロートを放流し、運動性状を水中テレビカメラにて観察した。また、底層フロートに取り付けたロープを50m張り出すのに要した時間と流去角度を測定し、底層の流向流速を測定した。

5) 泥の出現について

1990年5月中旬にHORF 周辺に大量の泥の出現が認められたので、泥の分布について潜水調査を実施し泥の堆積層厚、堆積範囲を調べると共に、海底に堆積した泥を採取し組成等を調べた。また泥の出現範囲の沿岸方向への広がりを把握するため、地元漁協に聞き取り調査を行った。

調査結果

1) 開放性砂浜域の砕波帯周辺における植物プランクトン調査

1992年に測定したHORFの汀線部および先端部(380m点)底層水の水温・塩分・クロロフィルaおよび先端部(378m点)で測定された波高の経時変化を図4にまとめて示す。水温は、10~25°Cの範囲にあり、1月が最低8月が最高であった。8月まではゆっくりと上昇し、汀線の方が380m点底層より高い傾向でまた両者とも変動が大きかったが、8月以降は急激に水温が下降し、汀線と380m点底層の差及び変動は小さかった。塩分は3月、6~7月、9~10月に低い傾向にあり、汀線では30以下となる場合もしばしば見られた。波浪は、7~8月に波高が非常に低かったのを除いて、定期的に高波浪が発生する傾向にあった。

クロロフィルaは、年間を通じてほぼ2~20 $\mu\text{g}/\text{l}$ の範囲にあり、かなり高いレベルを維持していた。また、汀線の方が380m点底層よりやや多い傾向にあった。変動の傾向としては数日単位での短期的変動と、2月や5月、9月のブルーム様及び11~12月に観測された珪藻赤潮等の長期的な変動がみられた。特に11月の赤潮は*Asterionella gracialis*が優占し、クロロフィルaも245.6 $\mu\text{g}/\text{l}$ に達していた。次に1991年10月から1992年8月にかけてのHORF先端部底層での植物プランクトンの優占種組成を図5に示す。水温が最も低い1~2月は*Eucampia zodiacus*、5~7月には*Leptocylindrus danicus*、また8月には*Nitzschia pungens*が優占していた他、*Chaetoceros*属等が卓越していた。このようにHORF周辺で見られる植物プランクトンは沿岸性の浮遊珪藻が主体であった。

2) 二枚貝の生理状態の把握

茨城県沿岸で採集されたウバガイの核酸比(RNA/DNA)、グリコーゲン、トリグリセリド、リン脂質を図6に示す。核酸比は、漁法に関係なく波崎沖では東海沖に比べ有意に低い値となっている。グリコーゲンおよびトリグリセリドは噴流式が通常の貝桁網に比べ有意に高かった。リン脂質については3者ともほとんど差はみられない。核酸比はタンパク質合成の指標となるため、波崎沖漁場では東海沖に比べ成長が悪い状態にあったと考えられる。また、グリコーゲン、トリグリセリドは通常の貝桁網では噴流式貝桁網よりも低い値を示していた。東海沖では同じ場所で採集を行ったにも関わらず貝桁網と噴流式の間で差がみられた。これは漁獲による貝への負担がグリコーゲンやトリグリセリドの含有量に変化をもたらした結果と思われる。

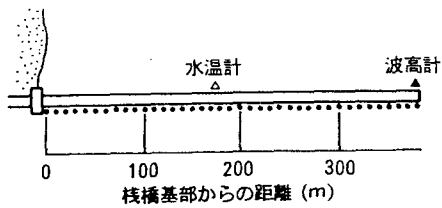
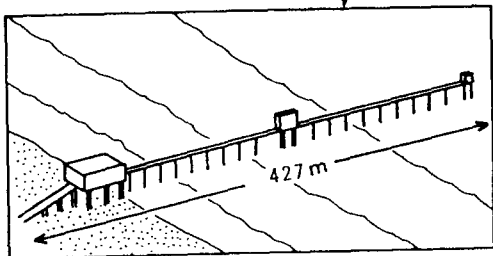
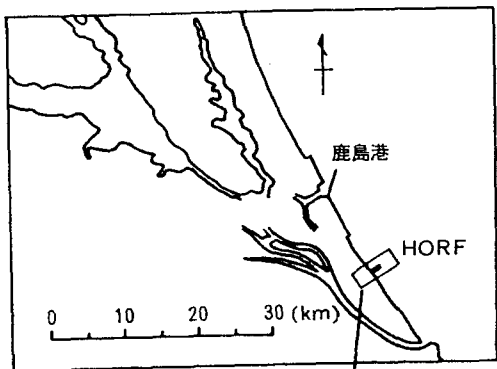


図1 調査水域（波崎海洋研究施設；HORF）

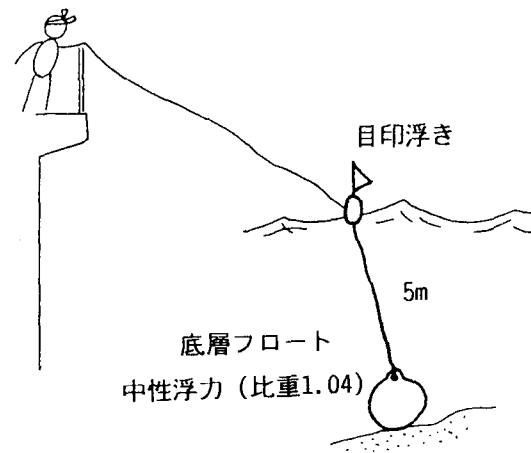


図3 底層フロートによる流速測定方法の模式図

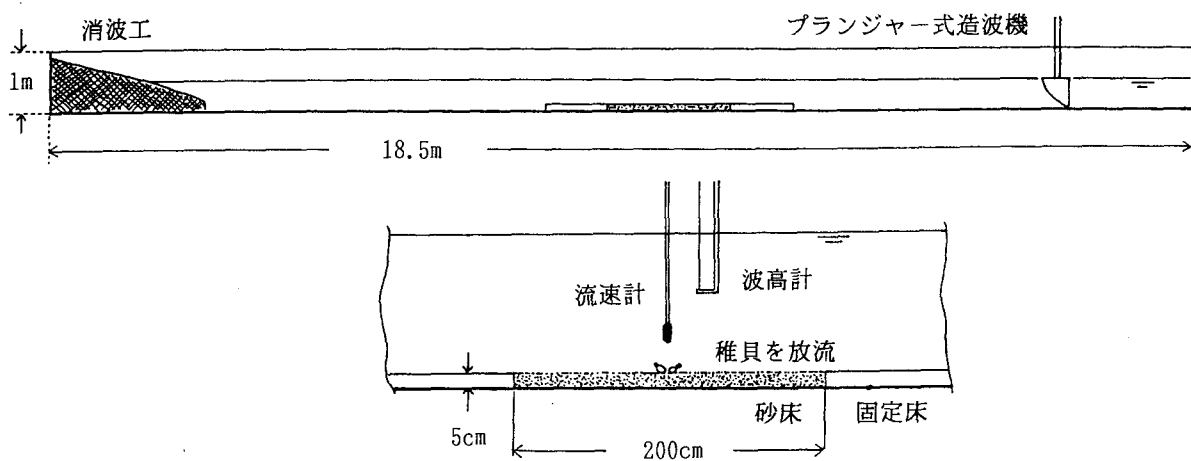


図2 ウバガイ稚貝移動実験水槽（波浪環境水路）概要

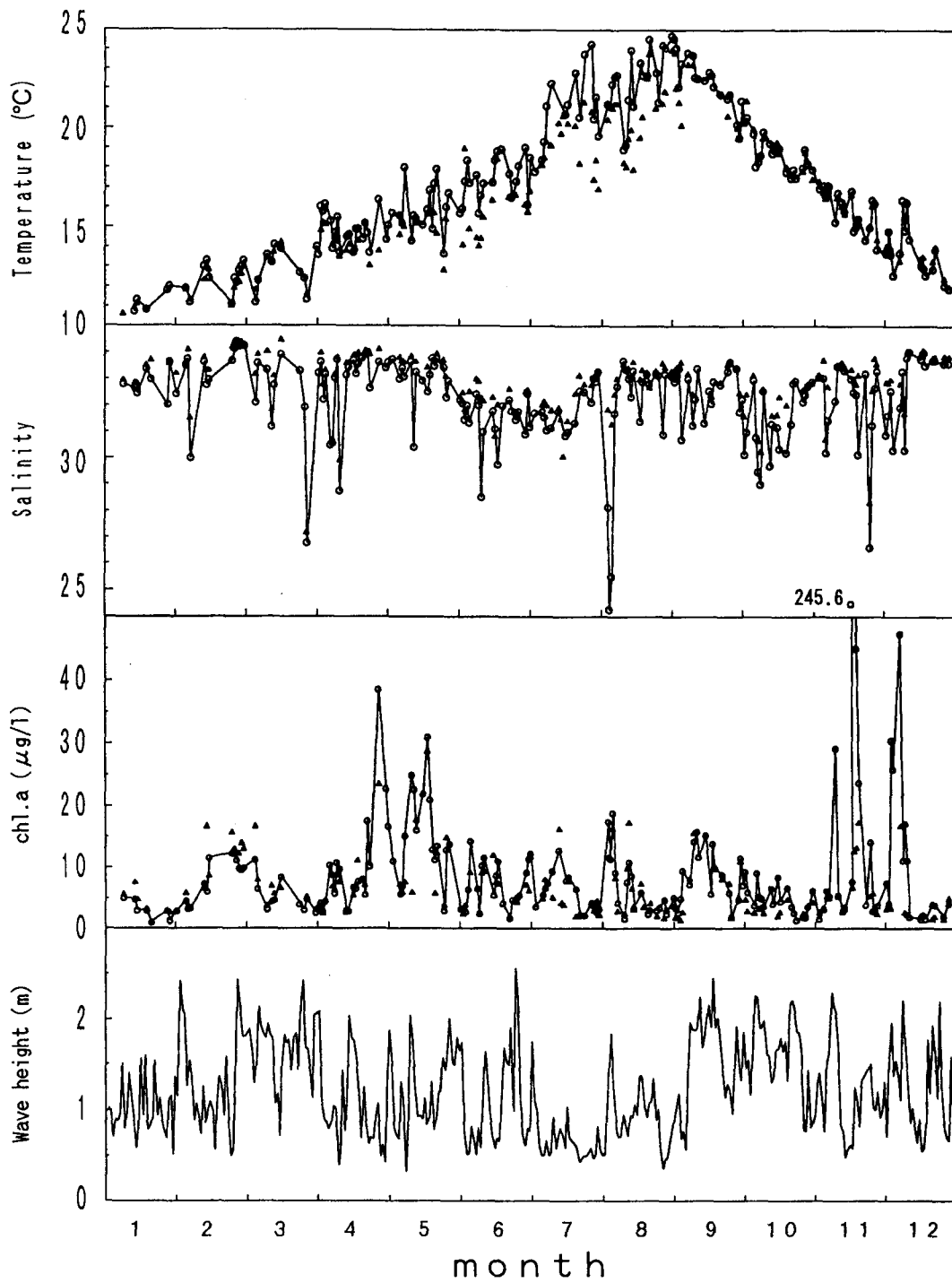


図4 HORF 汀線部および先端部 (380m点) 底層における水温, 塩分, クロロフィルa および 378m点での1/3有義波高の変化

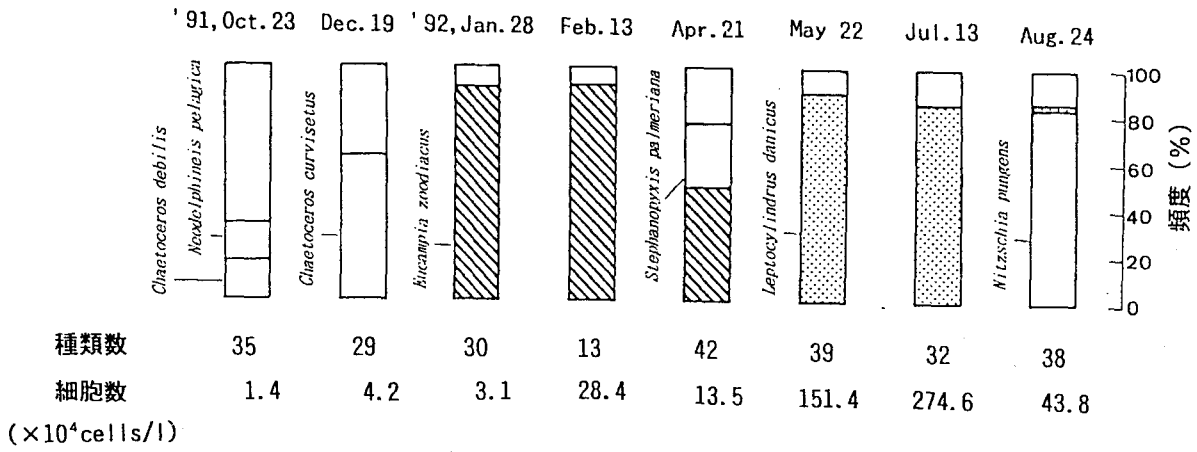


図5 HORFにおける植物プランクトン出現種組成の季節変化(先端部380m点, 底から0.5~1mの水柱)

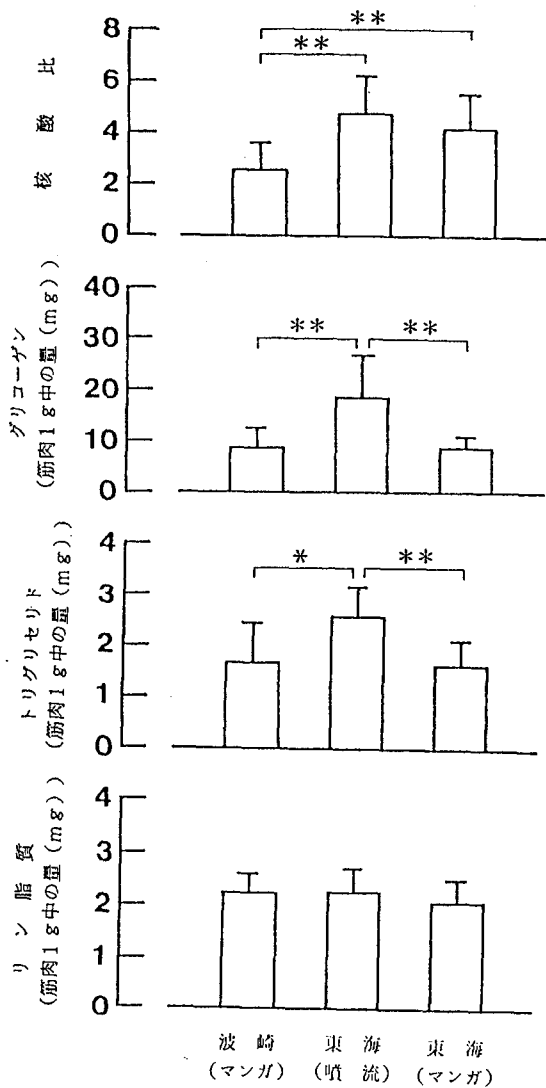


図6 波崎沖, 東海村沖で採集されたウバガイの生化学的成分の平均値と標準偏差
* : F検定による危険率5%有意水準
** : 同1%有意水準

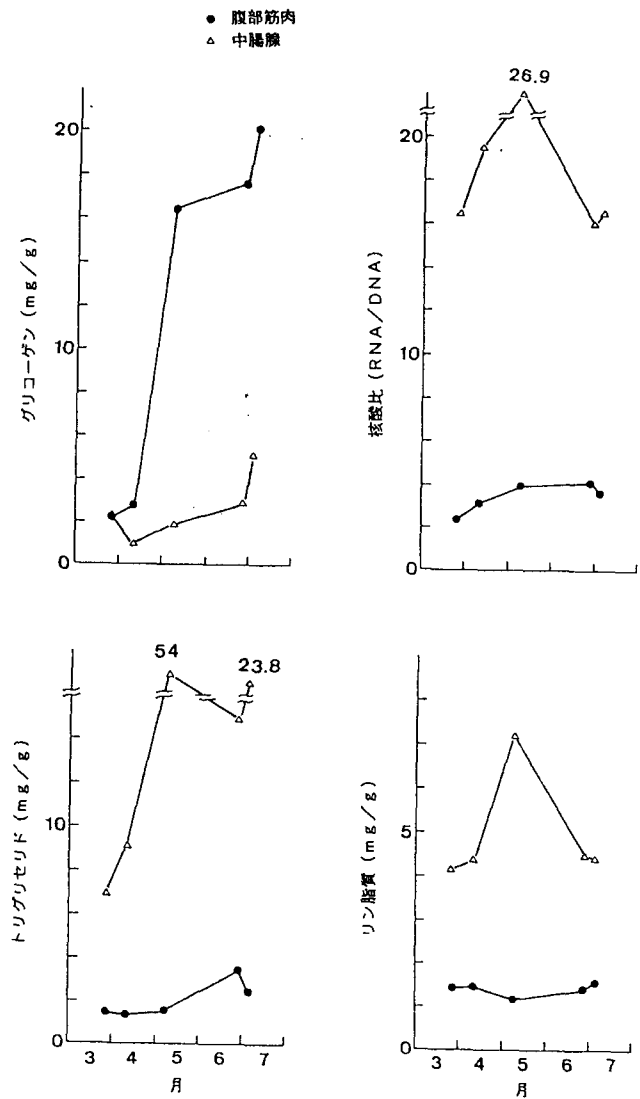


図7 福島県沿岸で採集されたウバガイの筋肉および中腸腺における生化学的成分の季節変化

表1 ウバガイ稚貝の移動実験条件

実験番号	水位 (cm)	波高 (cm)	周期 (sec)	流速振幅 (cm/s)	流速計位置 底面より(cm)	実験時間 (分)
1	60	23.7	3.6	30.9	2	30
2	60	27.2	2.4	42.0	2	20
3	60	27.2	2.5	82.5	12	20
4	60	28.2	2.4	77.5	12	20
5	50	36.6	2.0	89.7	12	20
6	50	39.3	2.0	93.3	12	20

表2 波浪条件下におけるウバガイ稚貝の移動状況

実験番号	供試種苗			移動距離(cm)										
	平均殻長(mm)	範囲	個数	(-)					放流区	(+)				
				90<	90-60	60-40	40-20	20-0		0-20	20-40	40-60	60-90	90<
1	2.5±0.2	2.0-2.8	855	0	0	0	0	1	91	5	2	0	0	0
	3.7±0.5	3.0-4.9	730	回収率(%)	0	0	0	0	2	91	5	2	0	0
	5.9±0.6	5.1-7.3	549	0	0	0	0	2	92	2	3	0	0	
	3.7±0.5	3.0-4.9	非潜砂率(%)							6	2	9	33	
5.9±0.6	5.1-7.3								54	1	25	27		
2	2.5±0.2	2.0-2.8	838	0	1	0	1	1	31	1	1	1	5	56
	3.7±0.5	3.0-4.9	516	回収率(%)	0	0	0	0	45	1	0	1	1	50
	5.9±0.6	5.1-7.3	390	0	0	0	0	1	87	0	0	0	1	12
3	10		98	回収率(%)	17	4	8	4	2	58	2	0	0	4
				非潜砂率(%)	100	100	100	100	7	100				
4	15.1±1.2	13-17	118	回収率(%)	5	0	0	1	1	93	0	0	0	0
				非潜砂率(%)					100	100	2			
5	10		110	回収率(%)	0	0	0	0	0	55	0	0	0	44
				非潜砂率(%)					0					100
6	15.1±1.2	13-17	125	回収率(%)	0	0	0	0	1	91	0	0	0	8
				非潜砂率(%)					0	0				

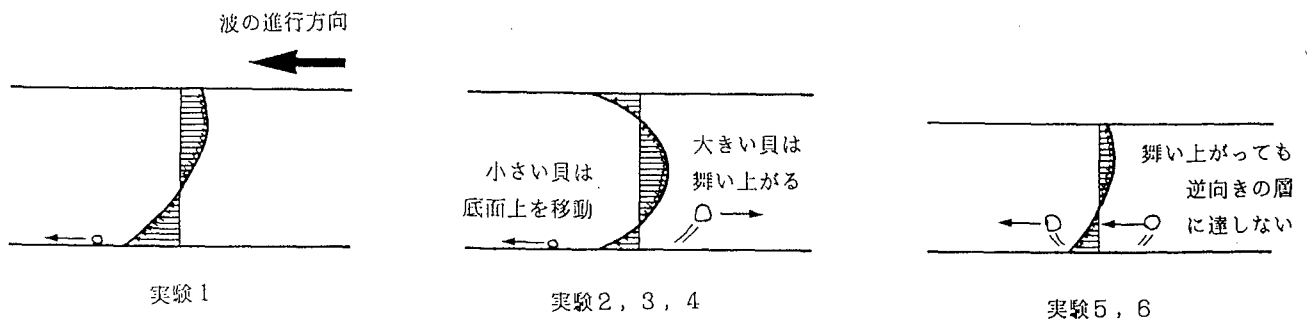


図8 各実験条件での波による質量輸送速度の鉛直分布とウバガイ稚貝の移動に関する模式図

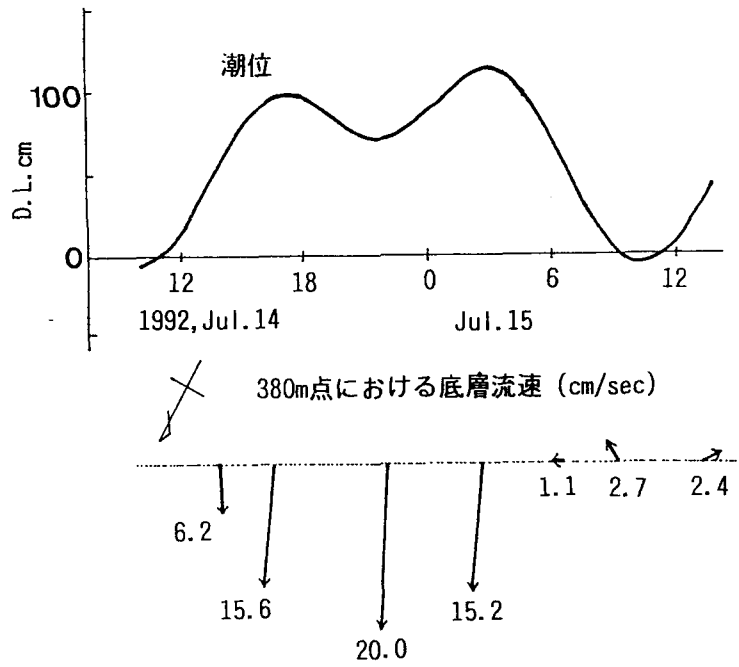


図9 底層フロートを用いた砂浜海岸における底層流の測定例

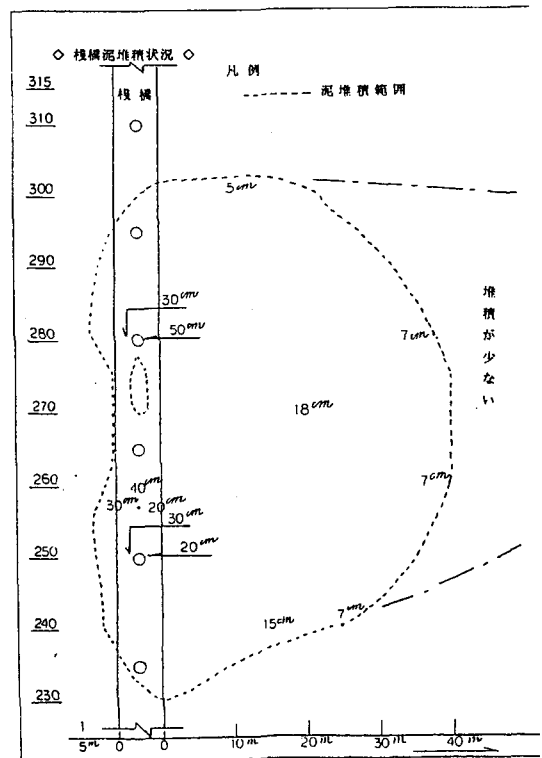
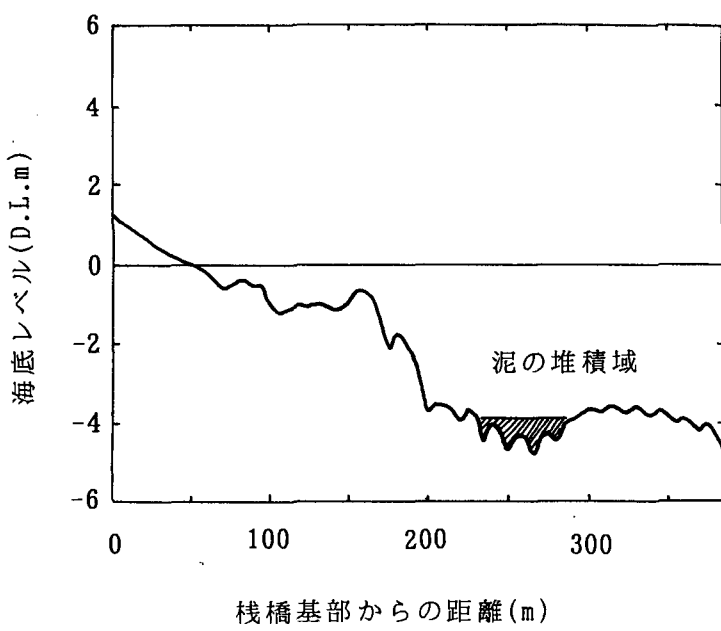


図10 1990年5月22日における波崎海洋研究施設周辺での泥の分布状況

次に福島県沿岸で1991年3月～7月に採集されたウバガイの生化学成分の経月変化を図7に示す。筋肉のグリコーゲン³⁾は4月まで低いレベルにあったが、5月以降急激に増大しているのに対し、中腸腺では低いレベルにあって大きな変化はみられない。これに対し、中腸腺のトリグリセリドは3、4月に低レベルであったのが5月以降急激に増加し、筋肉では低い値のままほとんど変化はみられない。ウバガイの産卵期は福島県では3～4月であるので、筋肉中のグリコーゲンや中腸腺中のトリグリセリドは産卵期前後で大きな変化をしていたことがわかる。また中腸腺での核酸比やリン脂質は5月にのみ著しく上昇している。一方、筋肉では両者ともあまり変化はみられず、中腸腺よりはるかに小さい値を示していた。

3) 波浪場におけるウバガイ稚貝の移動実験

ウバガイ稚貝の放流実験は計6回行われた。実験2, 3, 4および実験5, 6は同様の実験条件である。これらの実験条件を表1に、それぞれの実験条件でのウバガイ稚貝の移動状況を表2に示す。表1では実験5, 6における底面での流速振幅が計測されていないが、微小振幅波理論を用いた計算から74cm/sと推定される。実験1では平均殻長が2.5mm, 3.7mm, 5.9mmの稚貝はいずれも90%以上の個体が放流区に留まっていたが、実験2では放流区での回収率がそれぞれ31, 45, 87%であり、それ以外はほとんど波の進行方向に移動した。実験3, 4では平均殻長10mm, 15.1mmの稚貝はそれぞれ放流点に58%, 93%留まっていたが、それ以外は大半が波の進行方向と逆方向に移動した。実験5, 6では同様に55, 91%であったが、移動方向は波の進行方向と等しかった。このように波浪条件と貝のサイズにより、ウバガイ稚貝の移動率や移動方向は異なっていた。これらの移動方向の違いを解釈するため、水槽内の質量輸送速度の鉛直分布を考慮して図8に示す。稚貝は、サイズが小さいほど底面上を走流状に移動し舞い上がりは少なかった。殻長が大きくなるにつれ、底面上1～数cm舞い上がることが多くなった。このため実験2, 3, 4では殻長10mm以上の稚貝は波の進行方向と逆方向に移動し、実験5, 6では波の進行方向に移動したと考えられる。このように貝の移動様式と水槽内の水粒子の運動によって移動方向が決定されたことがわかる。

4) 底層流の測定手法の開発および波崎海洋研究施設における夏期の流況観測

水中カメラによる観察から、底層フロートの動きは海底に着地するとその反作用で10～50cm程度跳ね上がりながら流れに乗って移動する様子が観察された。

底層フロートによって底層流速を測定した結果を図9に示す。満潮時には流速が15～20cm/sとかなり速くなり、干潮時には1～2cm/sと底層流速は非常に小さくなることが確認された。また、流向は満潮時に岸とほぼ平行の北東向きであったのが、干潮時に方向が変化しやや沖向きになることが観測された。

5) 泥の出現について

1991年5月21日に棧橋上240～280m点において大量の泥が採集された。引続き翌5月22日に棧橋周辺における泥の分布状況について潜水調査を行った。図10に1990年5月22日の海底断面と泥の堆積状況の概要を示す。泥は底面上を5～50cm被覆し、岸沖方向には約60m、沿岸方向には50m以上にわたっていた。また、漁業者への聞き取りでは、泥の出現は沿岸方向5～10kmにわたっていると推定された。尚、泥には木の葉が混在していることから陸上起源と考えられ、また還元化した黒色層は観察されなかった。堆積した泥は、その後の高波浪によって攪拌され、1週間程度で消失した。

考察

開放性砂浜域の碎波帯における二枚貝の分布や生息条件に関する研究は大規模砂泥域開発事業調査で実施されたが³⁾、現地における餌料条件等の把握は現在までなされていなかった。本調査の結果、鹿島灘におけるクロロフィルaは非常に大きな値を示した。1992年における1年間の平均では汀線で9.53 μ g/l, 3

80m点底層で $6.45\mu\text{g/l}$ であった。これは日本近海の黒潮水域の $0.3\sim 0.5\mu\text{g/l}$ や親潮水域の $0.8\sim 1.2\mu\text{g/l}$ ⁴⁾よりはるかに多く、生産性の高い内湾に匹敵する値といえよう。岸沖分布はH O R Fの延長距離(380m)内では大きな差はみられなかった。また、秋季から冬季にかけては*Asterionella gracialis*が汀線付近に集積されるなど岸側の方がクロロフィルa量が多い傾向にあった。チョウセンハマグリやコタマガイなどの砂浜性二枚貝の分布は海底地形に応じてバーの沖側やトラフなどにみられるが⁵⁾、これらの二枚貝の分布と餌料の供給を考えるとトラフのような窪んだ地形に懸濁有機物が堆積して餌料となる可能性が想定されたが、本調査結果から植物プランクトンの分布状況から碎波帯全体で餌料条件は良好と考えられ、むしろ岸に近い方が餌料条件としては有利であると考えられる。

また、5~6月の静穏時には顕著な泥の堆積が認められた。いずれも1週間程度の短期間で流去したため泥層が還元状態になったり二枚貝等の斃死を生じたことはなかったが、静穏域が形成された場合は波浪による底質の攪拌が促進されず、二枚貝等の斃死を生じたりさらには生物相の遷移を起こすことが予想される。実際、このように泥の堆積した時期には、チヨノハナガイ*Raetellops pulchella*やスピオ科の多毛類など内湾性の底生動物が採集されていた。このように開放性砂浜域で泥が堆積した現象は山形県⁶⁾でも同様に報告されている。砂浜は河川等からの堆積物で構成されているので砂浜の存在する場所では一時的にせよ、泥の堆積は起こり得ると認識しなければならない。

波崎漁港から鹿島港にかけての鹿島灘南部の海岸では、1985年~1989年頃までウバガイの漁場が形成され多くの漁獲をあげていたが、1990年代に入り大量斃死を生じて主な漁場が消失した。この原因は究明されていないが、1980年頃に発生した卓越年級群が寿命を迎えたことに加え、局所的には漁場環境が変化したことが挙げられる。開放的な海岸においてはウバガイは水深7~10mの比較的地形変化(漂砂移動)の少ない場所に生息するが、海岸工事の影響で水深が浅くなり、海底の侵食堆積が激しくなると潜砂行動を頻繁に繰り返すために大きな生理的負担を受けると推測される。波崎沖のウバガイは水深4m前後の浅い場所で採集されたものであるが、東海沖に比べ核酸比が有意に低かったのは以上に述べた状況により成長が停滞していたことを表していたと考えられる。また、筋肉ではグリコーゲン、中腸腺ではトリグリセリドがエネルギーとして蓄積されているが、産卵期にはこれらのエネルギーの大半が生殖巣の形成(成熟)にあてられていることがわかる。このようなバックグラウンドとなる生化学成分の季節変化を把握しておけば、核酸比、グリコーゲン、中性脂質が貝の活力や漁場等の評価の指標として有効であろう。

次にウバガイ移動実験の結果から殻長2.5mm, 6mm, 15mmの稚貝がほとんど移動しない(90%は放流区に分布)海底面の振動流速の最大値はそれぞれ30cm/s, 42cm/s, 74cm/sと推定された。実際の海底での振動流は周期が長く振幅が大きいので単純に現地と比較することはできないが、これらの数値がウバガイの移動限界の目安となるであろう。

また底層フロート本体の比重は1.04としたが、海底面との摩擦や海底の凹凸に引っかかることはなく、砂底の海岸では底層の流れを把握するのに十分に有効といえよう。このような底層フロートを現地に継続的に放流することにより、二枚貝の浮遊幼生や沈着初期稚貝の移動や拡散を推定することが可能になると考えられる。

結言

本課題を設定した時点では、開放的な砂浜海岸は一次生産が少なく、二枚貝には十分な餌料が供給されないであろう。その代わりデトライタス等の堆積物がトラフを中心とした静穏な場所に集積し二枚貝にとって良好な餌量条件が形成されるであろうから、その実態を把握してやや沖側に増殖場の配置を考えて行く構想であった。しかしながら、本調査から①水中のクロロフィルa量は非常に高く、特に静穏な時を除いては表底層、岸沖方向ともほとんど差がない。沿岸水に一般的な浮遊珪藻が優先していた。②外海砂浜域でも夏期の静穏な時期には水深4~5m以上の沖側には泥が堆積する事が毎年観測された、ということがわ

かった。これらの結果を踏まえると、餌量供給量の増大を目的として増殖場を沖側に設置する必要はないといえよう。また、あまり静穏度を高めると泥が堆積し環境が急激に変化してしまう危険性が懸念される。

今後の問題点として、①砂浜海岸で豊富にみられる珪藻を利用した増殖手法を考える事。②本調査では十分に組み合わなかった二枚貝の着底期の分布や生残、行動について調べる。③稚貝～幼貝期（チョウセンハマグリでは殻長30mm以下）の波浪の作用を受けた際の移動メカニズムを明らかにする。ことが挙げられる。以上のような調査を実施することにより、砂浜海岸の環境に適合した二枚貝類増殖場の造成、配置計画の立案に貢献できるものとする。

なお、本調査の遂行にあたり、運輸省港湾技術研究所、茨城県水産試験場、福島県水産試験場、中央水産研究所、波崎共栄漁業協同組合の方々に、御協力と御指導をいただいた。ここに記して謝意を表す。

摘要

- ①鹿島灘におけるクロロフィルaのレベルは2~20 $\mu\text{g/l}$ とかなり高い値を示し、開放性砂浜域でも内湾に匹敵するほど生産力の高いことが示唆された。
- ②開放性砂浜域でも静穏時には泥の堆積を生じることがある。
- ③グリコーゲン、トリグリセリド、核酸比等の生化学成分を分析することにより、二枚貝の活力や漁場環境を評価するのに有効である。
- ④比重を1.04に調整した底層フロートにより、砂浜海岸での底層流の観測が可能である。
- ⑤水槽実験により波浪による二枚貝の移動に関する基礎的な現象が把握できる事例が得られた。

引用文献

- 1) Lorenzen, C.J., 1967: Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equation. *Limnol. Oceanogr.*, 12, 343-346.
- 2) 水産庁中央水産研究所生物機能部細胞生物研究室：仔稚魚の生化学的研究のためのてびき。
- 3) 水産工学研究所，1990：砕波帯における魚貝類浮遊幼生の定着機構の解明，大規模砂泥域開発調査事業（日本海海域）昭和61年度～平成元年度調査総合報告書，107-118
- 4) 有賀裕勝，1973：水界植物群落の物質生産II．共立出版，東京，97pp.
- 5) 日向野純也・木元克則・安永義暢，1993：鹿島灘で観測された海底断面変化と砂浜性二枚貝の分布 I．1987年調査結果．水産工学研究所技報（水産土木），15，1-16.
- 6) 山形県水産試験場，1977：浅海漁場重要資源生態調査-3，山形水試資料，112，1-65.