

ホッキガイの初期資源動態に関する研究

北海道区水産研究所

資源増殖部 中村義治*

海洋環境部 田口 哲**

調査実施年度：平成5～7年度

緒言

ホッキガイの増殖場を造成する上で、対象海域におけるホッキガイの好適生育条件を設計指針に取り得ることが重要である。そのためには、天然漁場における稚貝の出現分布や成長・生残過程についての生物調査、海底面の流動と漂砂の現地観測、餌料環境に関係する水底質分析、稚貝の摂餌実験などについて順次実施する必要がある。得られた知見をもとに対象海域の水理学的特性を組み込んだ「ホッキガイの初期資源動態についての数値モデル」を作成する。

そして、事例解析から造成海域の好適生育条件（漁場形成条件）や人工種苗の適正放流条件について数値的に検討できるツールを提示する。なお、本研究では道東の浜中湾を調査海域に選び、殻長20mm以下の天然稚貝を研究材料とした。

調査方法

3年間で実施した調査項目を次に示す。

平成5年度：稚貝の出現傾向の解析，漁場水理環境調査，餌料環境調査

平成6年度：稚貝の出現傾向の解析，漁場水理環境調査，餌料環境調査

平成7年度：稚貝の代謝実験，初期資源動向の数値解析，好適生育条件の検討

浜中湾の調査海域と調査地点について図1に示す。

1) 稚貝の出現特性

ホッキガイ稚貝の採捕は道立釧路水産試験場が行い、図1に示した15地点でSM型採泥器（採泥面積：0.05m²）を用いて7月から12月までの期間中月1回の頻度で実施された。採集した底泥は1mm目合いの篩にかけた後稚貝を選別し、殻長の計測と個体数の計数を行った。これらの資料から稚貝殻長の成長曲線と平均個体数密度の減耗曲線を作成した。

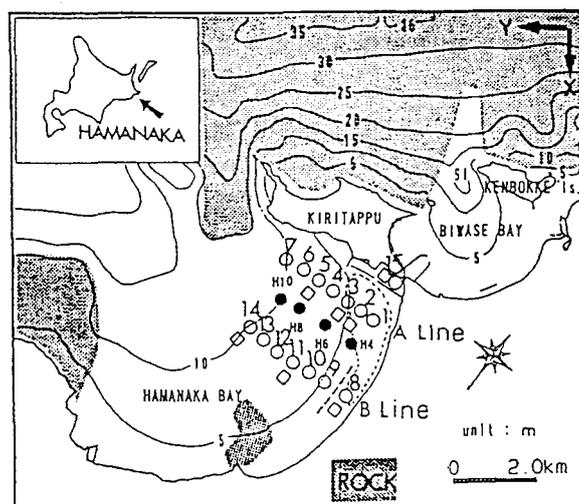


図1 浜中湾の調査位置図

○：調査地点 ●：計算結果の検証地点

□：流動観測地点 ■：オオアマモ場

* 魚介類増殖研究室

** 生物環境研究室（現 創価大学）

2) 漁場水理環境調査

底層の水理環境を観測するために、湾内の3地点 (St. 3、St. 9、St. 15) と港内1地点 (St. 15) でメモリー式の電磁流速計 (ACM16M-8) を海底上1.5mに設置して、波高、3次元方向の流速、濁度について1秒間隔で時系列的に観測した。観測は夏期(8月)に実施し期間は14日間である。また、長期的な沿岸流速および水温変動については、地元漁協が湾内の2地点 (St. 3、St. 8) に毎年6月から12月の間係留しているアンデラ流速計 (URCM-1型) で得られた観測データを使用した。

3) 餌料環境調査

湾内14地点、港内1地点で、7月以降12月までの期間は毎月潜水夫による直上水と底泥コアの採取を行った。ただし、平成6年10月は北海道東方沖地震のため中止した。採取した海水と砂泥は実験室にてChl. a, 全色素量 (Pigment), 炭素量, 窒素量, 粒径組成, SS量などの項目について分析した。これらの分析結果から直上水に含まれるChl. a, Chl. a/SSなどの岸沖方向の分布や月別変動を整理してホッキ稚貝の餌料環境からみた好適生育条件を検討した。また、底泥コアについてもChl. a, Chl. a/Pigment等の基質内構造を調べ水深別の特徴を検討した。なお、表泥のシルト含有率については鉋路水試よりデータの提供を受けた。

4) 稚貝の摂餌実験

振動流水槽により再現される動的な流動環境条件における稚貝の摂餌速度 (Ingestion Rate) および静水中での稚貝の消化速度 (Gut Evacuation Rate) と水温別の稚貝濾水率 (Filtration Rate) などの室内実験を実施した。実験は1995年9月に苫小牧沖で採取された殻長10~20mmのホッキガイを材料として振動流水槽の設置されている北大工学部の水理実験施設で10月中旬に実施した。実験の条件と方法について次に整理した。

4)-1 流動環境条件での稚貝摂餌速度実験

平均粒0.3mmの珪砂を深さ5cmに敷いた潜砂層と水槽底面上28cmに底と平行にアクリル板で作成した非潜砂層を振動流水槽内に作り (図2参照), 餌プランクトンの密度を調整した海水を入れた水槽内に9日間無給餌で飼育した飢餓状態の稚貝を収容し, 表1に示した流動条件で稚貝の摂餌速度を測定した。

表1 振動流水槽での稚貝摂餌速度実験条件

餌プランクトン (<i>Pavlova lutheri</i>) の密度	2・10 ⁴ Cells/ml					
水温設定 (水槽付属の恒温装置)	14℃~15℃					
使用海水 (水槽容量 350ℓ)	二次濾過海水					
振動流速 (U字管振動流装置, 周期 3.5sec)	20, 40, 60, 80cm/s					
稚貝採取の時間と個数	経過時間 (hour)	0	1	2	4	6
	非潜砂層個体	3	2	2	2	2
	潜砂層個体	-	2	2	2	2
摂餌速度 A の推定方法	G(t) = (A/k) (1-exp(-kt)) 消化管内全色素量の時間変化G(t)の回帰分析 μg/mg/hour					

なお、稚貝の摂餌量は消化管に含まれる全色素量 (Pigment = Chl. a + Pheo.) をアセトン抽出による蛍光光度法により分析した。

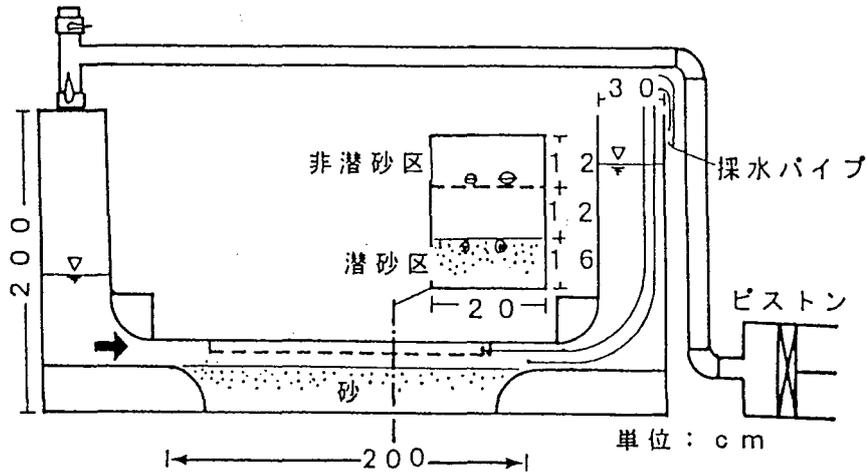


図 2 U字管型振動流水槽と稚貝設置層の概要

4)-2 静水中における水温別の稚貝濾水率と摂餌速度実験

振動流実験の対象区として水流のない実験区 (2ℓ ビーカ) を作り, 同様の飢餓個体を実験材料にして餌プランクトンの含まれるビーカ内に收容して, 時間ごとに採取した稚貝の消化管内全色素量およびビーカ内のプランクトン密度の時間変化から稚貝の摂餌速度と濾水率を推定した. 実験仕様を表 2 に示した.

表 2 対象区における稚貝摂餌速度と濾水率の実験条件

餌プランクトン (<i>Pavlova lutheri</i>) の設定密度	4℃区	5・10 ⁴ Cells/ml				
	その他	3・10 ⁴ Cells/ml				
水温区 (クールニクスとサーモヒータ使用)	4, 8, 14, 20℃					
基質	砂を厚さ5cmに敷設					
曝気	エアーストーンによる緩やかな通気					
稚貝採取の時間と個数	経過時間 (hour)	0	1	2	4	6
	採取個体	2	2	2	2	2
	残留個体	10	8	6	4	2
摂餌速度の推定方法	振動流水槽実験と同様					
濾水率 <i>f</i> の推定方法*	$f = (V/Nt) \ln(C(0)/C(t))$ ℓ/hour					

*ここで, *V* はビーカ内の水容量 (ℓ) で, *N*, *t* は残留稚貝個体数と経過時間, *C*(0), *C*(*t*) は初期および時間 *t* でのプランクトン密度 (Cells/ml) である. ビーカ内のプランクトン密度は稚貝採取時に計測後初期密度に再調整した

4)-3 稚貝の消化速度実験

十分飽食させた稚貝を無給餌状態で飼育して消化管内の全色素量の減少傾向から消化速度を推定した. まず, 給餌槽から潜砂している個体を25個選別した. 選別された稚貝は付着している可能性のある餌プランクトンや有機物を濾過海水で数度洗浄後に水温を14~15℃の範囲に設定した無給餌水槽に移し実験を開始した. その他の消化速度実験の条件および消化速度の推定方法を表 3 に示す.

表 3 稚貝の消化速度実験条件

餌プランクトン (<i>Pavlova lutheri</i>) の設定密度	零 (濾過海水)								
水温区 (サーモスタット使用)	14~15℃								
基質	砂を厚さ5cmに敷設								
曝気	エアーストーンによる緩やかな通気								
光条件	暗条件								
稚貝採取の時間と個数	経過時間 (hour)	0	1	2	4	8	10	24	32
	採取個体	3	2	2	2	2	2	2	2
	残留個体	22	20	18	16	14	12	10	8
消化速度 k の推定方法*	$k = (t^{-1}) \ln(G(0)/G(t))$							hour ⁻¹	

* $G(0)$, $G(t)$ は実験開始時および経過時間 t での稚貝の消化管内全色素量

5) 初期資源動向の数値解析

5)-1 波浪場の計算

波浪場の計算方法は砕波を考慮したエネルギー平衡方程式の改良型 (高山ら)¹⁾ を採用し、沖境界線において釧路地方気象台で観測された有義波高と周期を1日1回更新して与え湾内波高と波向を逐次計算した。なお、沖波波向についてはSEに固定した。

5)-2 資源動態方程式

成長率と死亡率および波による移動を考量した二枚貝個体数の時空間変動については中村ら²⁾ のモデルを二次元化した (1) 式で与える。

$$\frac{\partial N(t, x, y, \ell)}{\partial t} + \frac{\partial q_{wx}(t, x, y, \ell)}{\partial x} + \frac{\partial q_{wy}(t, x, y, \ell)}{\partial y} = -M(t, x, y, \ell) N(t, x, y, \ell) \dots (1)$$

ここで、 $N(t, x, y, \ell)$ は貝の殻長 ℓ (mm) , 岸沖方向の距離 x , 沿岸方向の距離 y , 時間 t に依存した単位面積当りの稚貝個体数である。 q_{wx} , q_{wy} は波による岸沖方向および沿岸方向の稚貝移動量である。また、成長による稚貝殻長の時間変化は餌料環境指標に依存する成長速度から (2) 式で与えた。

$$\ell(t, x, y) = \ell(t-1, x, y) + GROWTH(t, x, y) \Delta t \dots (2)$$

ここで Δt は計算の時間間隔 (1日) で $GROWTH$ は日間成長率 (mm/day) である。なお、波による移動によって異なる殻長貝の移流を考慮して、各格子点では流入量 (q_{wx} , q_{wy}) および個体数 N から殻長の荷重平均化を行う。そして、日間成長率は餌環境指標 (Chl. a/SS) と図16に示した指数回帰式で結ばれる。稚貝の日間死亡率 M (ind./day) は底質のシルト含有率 $Silt$ (%) に由来する経験式 (図11) および成長に伴う生残率の回復効果を加味して式 (3) で与えた。

$$M(t, x, y, \ell) = 50.58 \{0.0136 \ln(Silt) - 0.0074\} \times \{-0.0139 \ln(\ell) + 0.0257\} \dots (3)$$

5)-3 波による稚貝の移動モデル

① 稚貝の移動条件

波によって砂に潜っている稚貝が移動するまでには2つの条件が必要である。まず砂に潜っている稚貝が波によって海底面上に掘り出される条件を満たし、次に海底面上の稚貝が波による移動限界以上の流体力を受けることが必要である。この内、稚貝が海底面上に掘り出される露出条件としては、生きたウバガイ稚貝を使って振動流水槽で行なった山下ら³⁾ の実験により、稚貝の潜砂速度 V_s (mm/s) と波による砂の侵食速度 V_e (mm/s) の比が $V_e/V_s \geq 1.3$ の状態で成立することが示された。そして、 V_s が貝の殻長 ℓ (mm) と水温 T_w (°C) に比例し、 V_e が振動流速の振幅 u_b (cm/s) に比例する山下の実験式を採用し貝の露出判別を行なった。

一方、海底面上での稚貝の移動条件は死んだウバガイ稚貝を使い移動床下の二次元水槽で行なった渡辺⁴⁾の実験結果をアーセル数 ur とハーレマイヤーの ϕ を用いて再整理したダイヤグラムで決定することができる。これにより移動限界 ($\phi_c=10$) と岸沖移動方向 F_D などが判別できる。

② 稚貝の移動量算定式

砂漣が形成している沖浜帯における稚貝の移動量については中村ら²⁾が提案した波の主方向に対する移動量 q_{wn} の算定式を採用し二次元化した。

$$q_{wn} = F_D E_w [0.5 f_w u_b^2 - \psi_c (\rho_s - 1) g \ell] u_b \dots \dots \dots (4)$$

$$q_{wx} = q_{wn} \cos \theta, \quad q_{wy} = q_{wn} \sin \theta$$

q_{wn} の [] 内は移動状態に入る稚貝に働く余剰剪断力を示す。つまり移動量は余剰剪断力と波の底面軌道流速の振幅 u_b に比例しそれに方向関数 F_D と E_w をかけ定式化される。ここで、 q_{wx} 、 q_{wy} 、 θ は x 方向、 Y 方向の稚貝移動量および x 軸の正方向から時計回りに測った波向角である。また f_w は Jonsson の底面摩擦係数であり ψ_c 、 ρ_s 、 g は稚貝の移動限界シールズ数 (0.069) と稚貝の比重 ($1.73 \ell^{-0.108}$)、重力加速度である。なお、 E_w は稚貝の殻長、比重、沈降速度などを用いた試算に基づき次式で与えた。

$$E_w = 4.28 \times 10^{-6} (N/VR)$$

ここで、 V は稚貝の体積 (cm^3) で $V = 6.58 \times 10^{-4} \ell^{2.4}$ また R は殻長 ℓ の貝が単位面積あたりに重複しないで分布できる最大個体数 (ind/cm^2) で $R = 200 \ell^{-2}$ である。

調査結果と考察

1) ホッキ稚貝の初期資源変動の特徴

北海道東海域の浜中湾は南側が霧多布半島に遮られ、湾口部に浅瀬のある半開放性で緩勾配傾斜 (1/280) を有する砂浜海岸である。浜中湾のホッキガイの生息水深は10m 以浅の水域であるが、主漁場水深帯は3m~7mに限定されている。また、浜中湾では水深6.0m以浅にオオアマモの群落がありホッキガイ稚貝の分布域と重複している。このような傾向は本州のホッキガイ漁場ではあまりみられず北海道特有の現象であると思われる。

1992年級、1993年級、1994年級の全調査地点における平均出現密度は着底直後は600個/ m^2 、300個/ m^2 、600個/ m^2 程あったと推定される(図3)。そして、その後の出現密度の減耗係数 M (図中の点線) は単位 m^2 あたりの出現密度の変化を $N_t = N_0 \exp(-Mt)$ で表し最小自乗法により推定した。ここで、 t は着底日を毎年8月1日と仮定して、その日から各調査日までの日数で、 N_0 、 N_t は最初および各調査日における稚貝の出現密度である。減耗係数 M は1992年級が0.008/day で1993年級は0.019/day、1994年級は0.014/day となった。

0才貝から1才貝にかけての殻長の推移は明確なステップ状の成長様式を示し、水温が10℃を越える時期(8月~10月)に急激な成長が認められる。

季節別の減耗傾向をみると、1992年級の場合、減耗が激しいのは成長の停滞する冬期から春期ではなく、7月~10月の成長期に対応している。

調査line (A, B) 上の海底形状、オオアマモの分布ならびに1992年級の稚貝密度分布の時間的変化などについて図4に示した。A line上での稚貝分布の特徴はSt. 3での稚貝の初期集積とその後の急激な減耗である。また、主分布域の移動が殆どないことと、St. 3が藻場分布の沖側縁辺部に位置していることも特徴といえる。つまり、藻場全体が稚貝の高密度域という訳ではない。次に、B line上の出現密度の大きさはA line上の1/20程度と小さく、また分布の時間的変化からline上で岸から沖(9.0m)へ稚貝の移動が推定されA lineとは異なった密度分布の変動形態が認められた。A line上にみられる稚貝の高密度集積とその語の急激な初期減耗に焦点をあて検討する必要がある。

2) 稚貝の高密度集積と沿岸流の関係

浜中湾における沿岸流速変動の観測結果では観測期間中の沿岸流の流速振幅は5cm/s 以下の場合は殆どであることが報告されており(道立釧路水産試験場⁵⁾、非常に緩やかな流れである。また、1993年の観測データをもとにホッキガイの浮遊幼生期にあたる7月と8月の流跡図(図5)を作成した。月間の流程から計算した平均流の大きさは1.0cm/s 以下である。

また、平均流の流路はオオアマモ場に沿って反時計周りに緩やかに流下していることが推定され、稚貝の高密度集積地点であるSt. 3は流路の変曲点に位置している。このような沿岸流特性からSt. 3付近には浮遊生物などの顕著な滞留作用が発生したと考えられる。

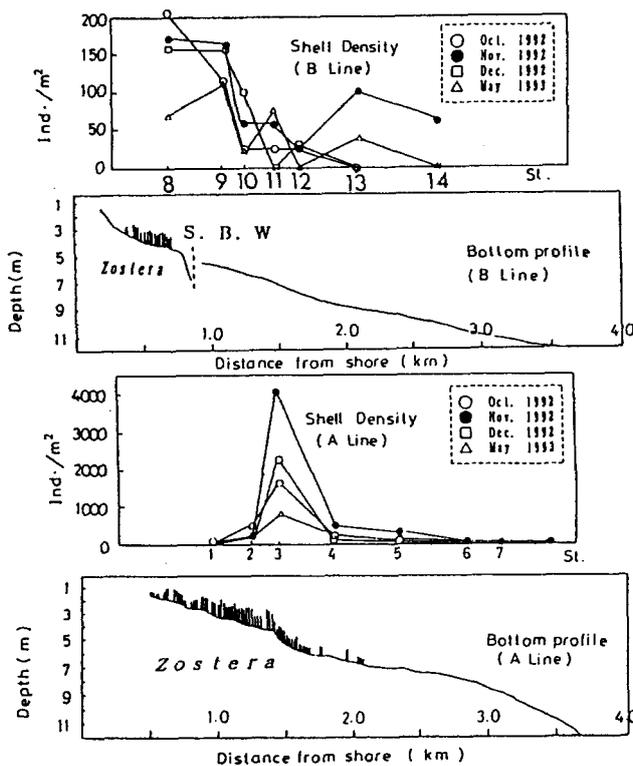


図4 海底形状および藻場と稚貝密度の岸沖分布

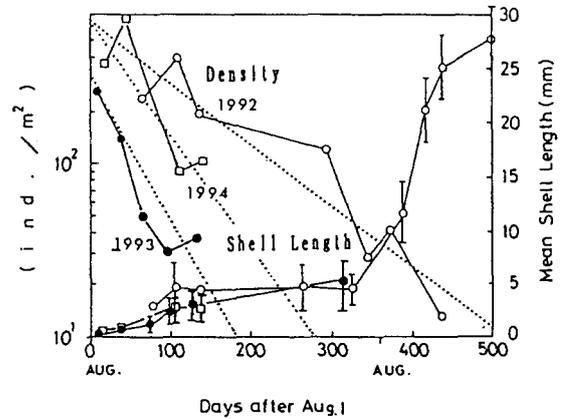


図3 稚貝密度の減耗曲線と殻長の成長曲線
(釧路水試調査資料より作成)

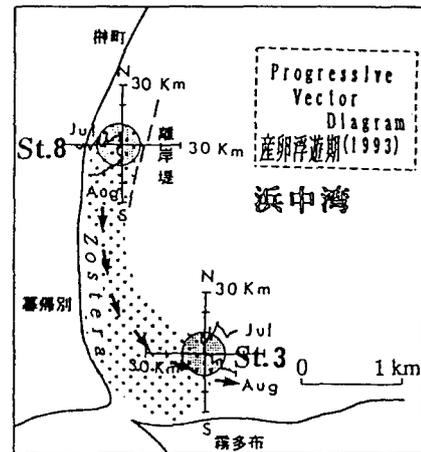


図5 産卵浮遊期の流跡図

3) 漁場の水理環境特性(流速変動、波高変動、濁度、底面剪断応力、砂面変動)

1994年8月から9月にかけて実施した電磁流速計によって観測した波浪流を時間的に平均処理した流速変動の一例(St. 3)を風速変動ベクトルと併せて図6に示した。

流速変動幅の規模は小さく、藻場内に位置するSt. 2ではさらに微弱であった。そして、検出された沿岸流の変動と風速変動とは相関関係がみられない。

また、藻場内(St. 2)および藻場縁辺(St. 3)における有義波高、シールズ数で評価した底面剪断応力と砂面変動について図7に示した。観測期間中の有義波高は50cm以下と微弱であり、従ってシールズ数も0.1以下となっている。砂面計による海底面変動はSt. 2, St. 3ともに波に連動

した明確な変動は現われていない。一方、濁度とシールズ数との対応数関係は両St.とも認められる。1993年度および1994年度の観測期間中の湾外波高と湾内の7調査地点の波高比を整理して表4に示した。藻場内(St. 2)および藻場縁辺部(St. 3)の波高比は0.36で静穏度の高いことが認められる。また、波高比は同一測線上では沖合にいく程、沿岸方向では湾中央部(北側)にいく程高くなる傾向がみられる。離岸潜堤の内側は外側に比べ約73%の波高減衰がある。

表4 流速観測地点での湾外波高比一覧

St. No.	DEPTH (m)	H' (m)	H'/DEPTH (%)	St.1	Remark
2	3.4	0.30	0.115	7.8	藻場内
3	5.7	0.36	0.063	7.9	藻場縁辺部
6	8.5	0.34	0.061	8.6	藻場縁辺部
8	4.8	0.45	0.093	9.1	藻場縁辺部
11	6.3	0.31	0.063	7.2	藻場縁辺部
14	11.1	0.34	0.057	9.1	沖合
15	8.6	0.07	0.011	9.6	沖合

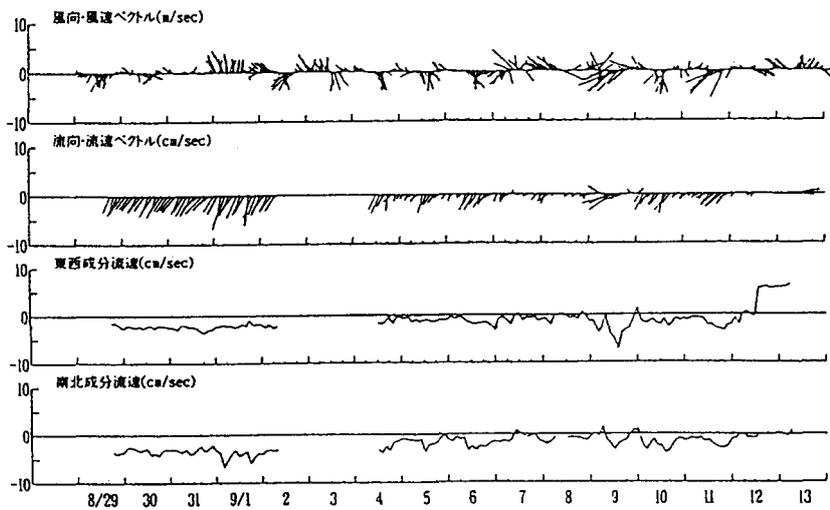


図6 藻場縁辺部(St. 3)での沿岸流速変動と風速ベクトル

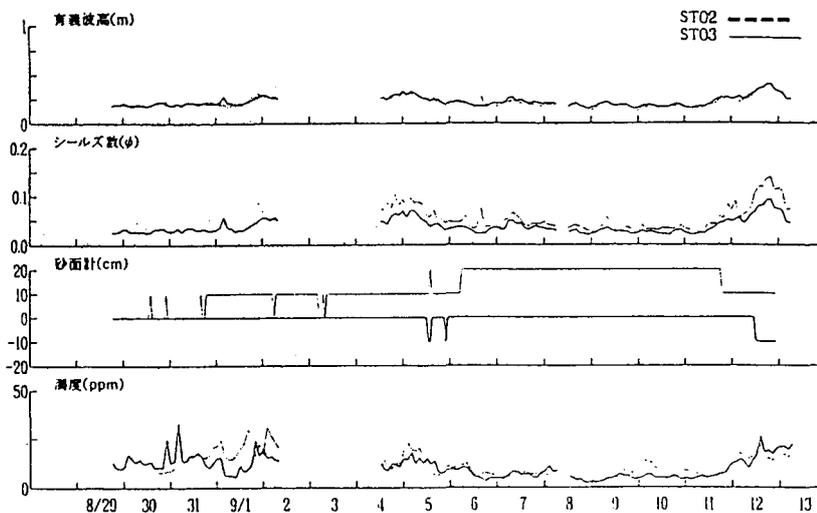


図7 藻場周辺(St. 2, St. 3)での有義波高、シールズ数、海底面、濁度等の時系列変動

4) 水底質環境と稚貝の初期生態

4)-1 稚貝の自然死亡率に関連する環境因子

底質の一般的な特性である粒度組成について検討した。静穏度が高いことを反映して、浜中湾の海底面の平均中央粒径は微細砂（約100 μm ）に相当し沖に向って細くなる傾向がみられ、これは63 μm 以下のシルト含有率の増加に由来している（図8）。ホッキガイ稚貝の生息地として不適な港内や水深10m以上の地点のシルト含有率は15%以上にあたり（図9）、稚貝の集積が確認されたオオアマモ場のシルト含有率は5~8%の範囲で特に高い含有率とはいえない。

浜中湾の表泥中のシルト含有率は湾外波高比 H' と水深の比をパラメータとした二次式（図10）でよく表される。これをもとにシルト含有率が15%になる水深を計算すると約15m（湾口部）になり、これがシルト含有率から検討した浜中湾でのホッキ稚貝の生息限界水深になる。

1994年発生稚貝の9月~12月間の日間死亡係数はシルト含有率との間に一部の地点を除き正の相関関係が認められる（図11）。St. 8（離岸潜堤内側）では底質以外の死亡原因例えば、食害生物による捕食や波による移動などを検討する必要がある。

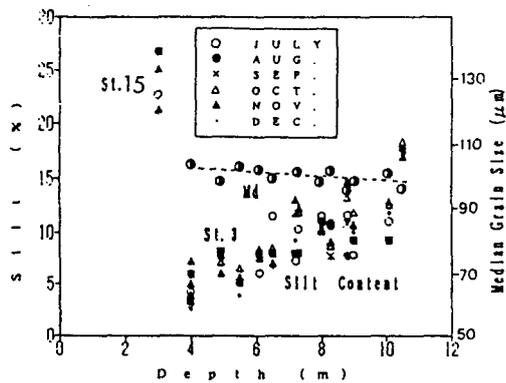


図8 底泥のシルト含有率と中央粒径の分布

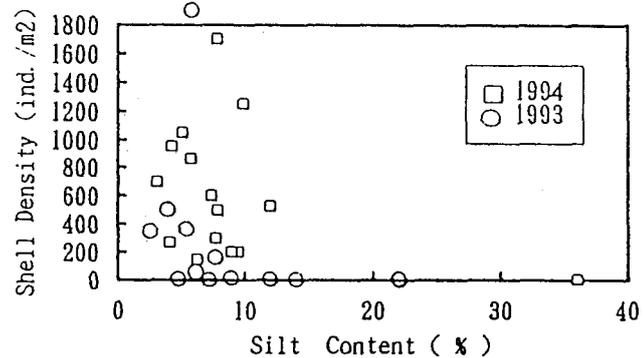


図9 稚貝の出現密度とシルト含有率の関係（鋼路水試資料より作成）

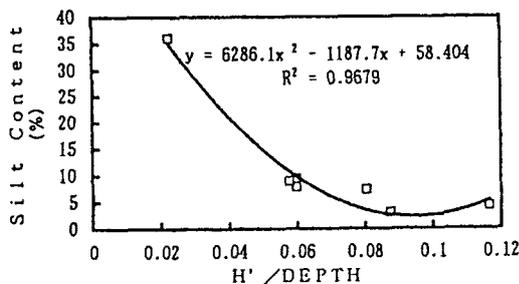


図10 湾外波高比とシルト含有率の関係

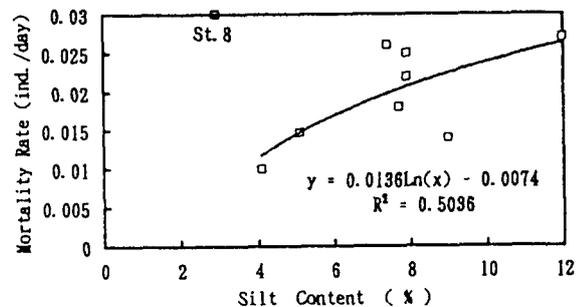


図11 日間死亡率とシルト含有率の関係

4)-2 稚貝の成長率に関連する環境因子

波による底泥の巻き上げ量はシールズ数と濁度との関係（図12）から、波高の大きさに対

して線形的に増加せず、しかも地点により増加曲線が異なるなど複雑な変動をすることが予想される。直上水に含まれるSS量と粒状有機窒素量 PONの関係（図13）をみると、両者間にはっきりとした正の相関性が認められない。つまり、直上水のPONが底質に依存している時と、SSとは独立の水質起源であると考えられる場合があり複雑な分布をしている。

ホッキガイの餌の指標となるPONを構成する主要物質は図14から、植物プランクトン由来の全色素量 Pigment (Chl. a + Pheo) に関係していることが推定される。Pigmentの内生きている植物プランクトンに含まれるChl. aとPONとの関係は一部の地点を除き大局的には正の相関性があり、植物プランクトン現存量の大きい8月、9月では特に明確である（図15）。

そして、図15でPONに対してChl. aが寄与しない特異点はA line上で稚貝密度が高い地点（St. 2~St. 6）に相当していることが判明し、これらの地点の直上水にはChl. aの分解産物であるPheo.色素量の比率が他の地点に比べて高いことが示唆される。つまり、ホッキガイ稚貝などの高密度地点では懸濁物食性（SF）ベントス類の摂餌行動によって大量のChl. aが取り込まれ、糞や擬糞として排泄され堆積し、その一部が再懸濁した結果、高いPheo.色素量が検出されたと考えられる。

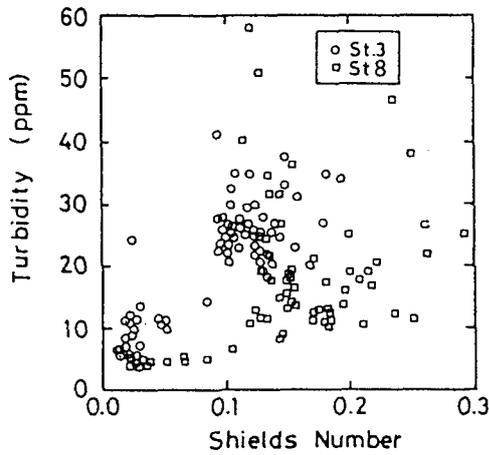


図12 シールド数と濁度の関係

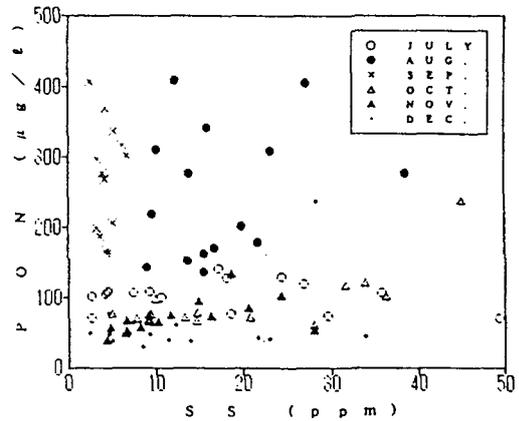


図13 直上水に含まれるSS量とPONの関係

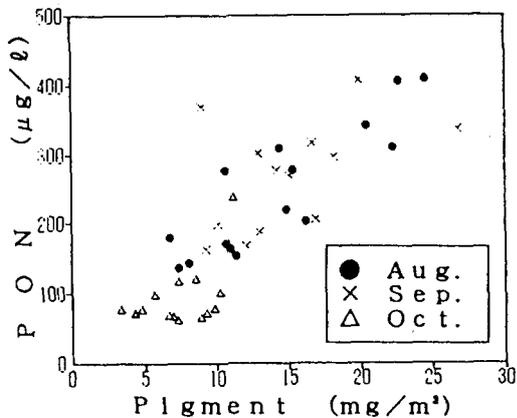


図14 全色素量PigmentとPONの関係

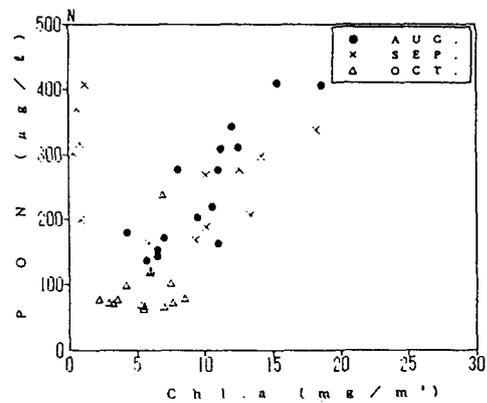


図15 PONに対するChl. aの寄与

稚貝の餌料環境指標を直上水に含まれるクロフィル量Chl. aと懸濁物濃度SSの比と定義して、この指標についての諸特性を検討した。餌料環境指標の分子は稚貝の成長を維持する餌の

量を示し、分母は高懸濁状態では摂餌効率の低下が予想される成長阻害要因を示している。

つまり、同指標は二枚貝など懸濁物食性生物における餌の量と質を表している。1994年発生稚貝の9月から12月間における地点別の日間成長率(殻長の伸び率)と平均Chl. a/SSの関係は図16に示す指数回帰式で表すことができる。直上水に含まれるSSの変動は有義波高の大きさ、水深それに底泥のシルト含有率などから表現できると仮定して流速計の設置した地点での2ヶ年間の全調査日におけるSSと $H_0 \cdot H' / \text{DEPTH} \cdot \sqrt{\text{Silt}}$ との回帰分析を行なった。ここで H_0 は湾外の有義波高である。その結果、図17に示す対数回帰式が得られた。次に、直上水に含まれるChl. aの時空間変動を解析した。月別のChl. aの空間分布(図18)は水温が10℃より低い11月以降では低いレベルで一様な分布であるのに対し、高水温期の8月、9月では直上水温の低下する方向つまり、水深が大きくなるに従いChl. aの増加傾向がみられる。

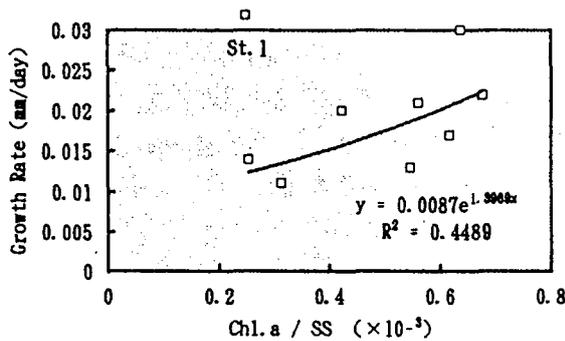


図16 日間成長率と餌料環境指標の関係

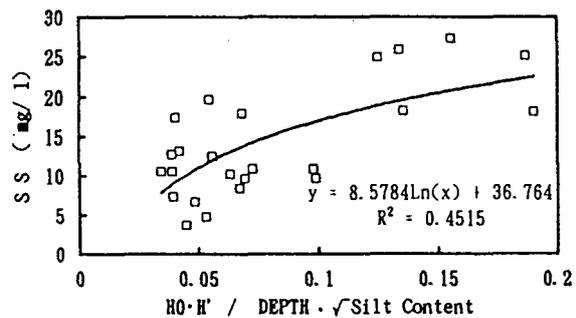


図17 直上懸濁物濃度SSの回帰分析

5) 稚貝の摂餌特性

5)-1 流動環境下での摂餌速度

実験に使用した稚貝の殻長は15mm ± 2.5mmの範囲である。振動流により砂面には明確な砂漣が形成されている。砂漣の波長と比高は流速が20 cm/secでは15.3cm, 2.2cmで40cm/secでは24cm, 4.5cm, 60cm/secでは29cm, 4.5cmであった。なお、流速が80cm/secの時には漂砂の形態がシートフローになり砂漣は形成されなかった。潜砂層の稚貝は収容後すぐに潜砂し、途中砂表面に出た稚貝は採取時に取り除いた。潜砂層の稚貝に

取り込まれた全色素量Pigmentを個体の乾肉重量で割った消化管内容物の時間的変化の特徴を整理すると、①内容物の増加傾向は単純な飽和型とは限らず摂餌速度の算出が難しいが、回帰分析により推定した流速別の摂餌速度は次のとおりである。

20cm/s	: 0.036 μgPig./mg/hour	40cm/s	: 0.076 μgPig./mg/hour
60cm/s	: 0.087 μgPig./mg/hour	80cm/s	: 0.018 μgPig./mg/hour

流速が80cm/sの時は摂餌による内容物の増加傾向は現われず、シートフロー状態では摂餌障害が認められる(図19)。②非潜砂層に置かれた稚貝は流体運動と一体とした移動状態に置かれ

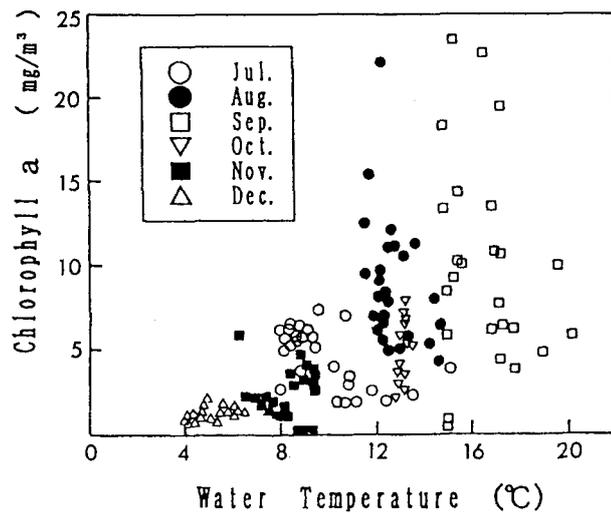


図18 水温に対するクロロフィルaの分布構造

ているにもかかわらず，潜砂個体より低い摂餌速度ながら消化管内容物の増加傾向が認められる（図20）。

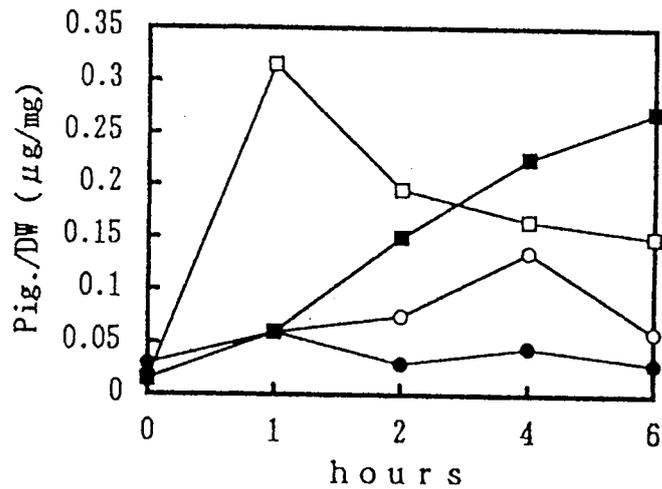


図19 稚貝消化管内容物の時間変化 (潜砂層)
○ 20cm/s; □ 40cm/s; ■ 60cm/s; ● 80cm/s

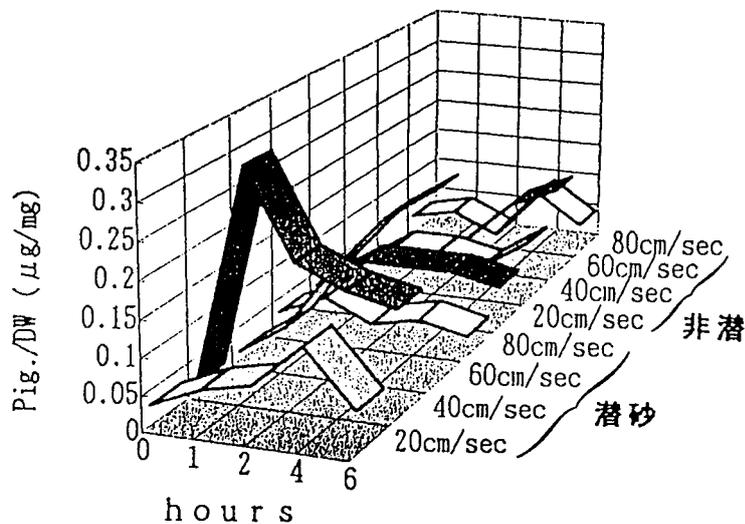


図20 潜砂層および非潜砂層における稚貝消化管内容物の時間変化

5)-2 静水中における水温別の稚貝濾水率と摂餌速度

対象区の実験に使用した稚貝の平均殻長は振動流実験と同じ15mmであった。対象区における摂餌速度（図21）は水温の上昇に伴い増加傾向を示すが，8℃と14℃以上の間で急激に変化している。但し，各水温区における摂餌速度の時間的変化は振動流区と同様に単純な飽和型の増加曲線とはならず，単調増加型（4℃）とオーバシュート型（8，14，20℃）に別れる。給餌開始後の摂餌によって空胃個体の消化管内容物の増加曲線がオーバシュート型になる原因としては排泄効果が考えられる。振動流区と同じ方法に従い摂餌速度を見積もった。

4℃ : 0.026 μg Pig./mg/hour 8℃ : 0.042 μg Pig./mg/hour
14℃ : 0.095 μg Pig./mg/hour 20℃ : 0.052 μg Pig./mg/hour

対象区のプランクトン密度の時間的変化(図22)から推定される濾水率は摂餌速度と対応した変動傾向を示し、4℃から14℃までは線形的に上昇し14℃から20℃にかけて平衡状態になる(図23)。

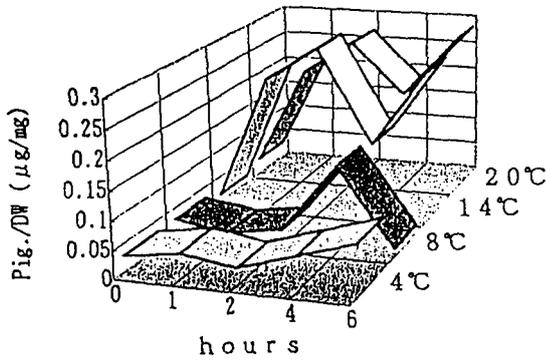


図21 水温別の摂餌速度(対象区)

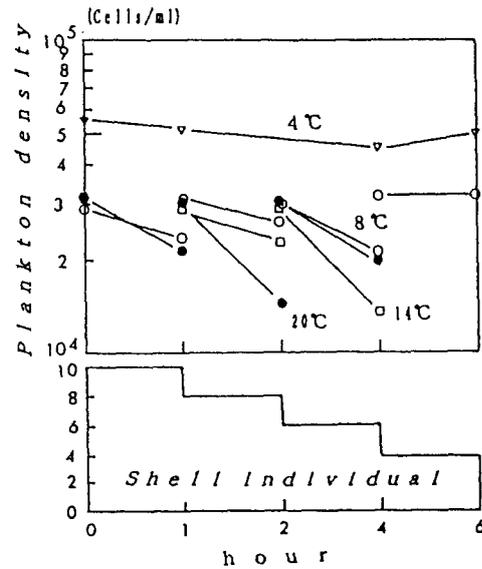


図22 稚貝個体数と餌プランクトン密度の時間的変化

5) -3 稚貝の消化速度

無給餌状態における飽食個体の消化管内容物の減少傾向から推定した消化速度 k を図24に示した。

消化管内容物の時間的変化は滑らかな指数曲線とはならず、実験開始後数時間までは急激に減少しその後は不規則な低下傾向が続いている。全測定時間中での消化速度は 0.059 hour^{-1} であるが、実験開始後6時間までのデータから推定した消化速度は 0.257 hour^{-1} となる。なお、消化速度実験に使用した稚貝の平均殻長は13mmで他の実験で使用した稚貝より若干小さめであった。

6) 初期資源動態の数値解析

6) -1 計算の対象と条件

解析対象の浜中湾は南側が霧多布島(陸繋島)に遮られ、湾口部に浅瀬のある半開放的な海岸であ

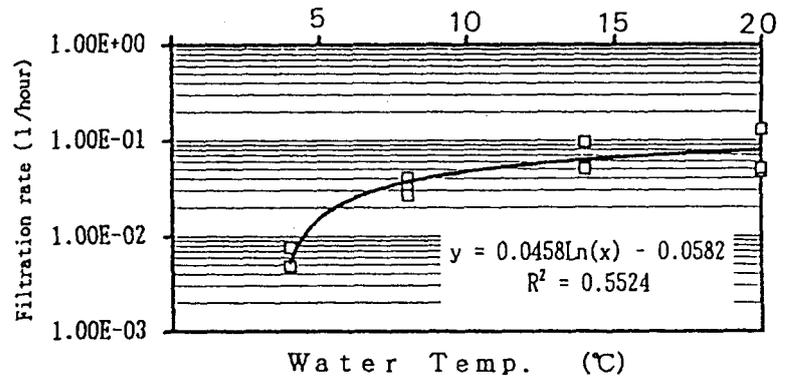


図23 水温別の濾水率(対象区)

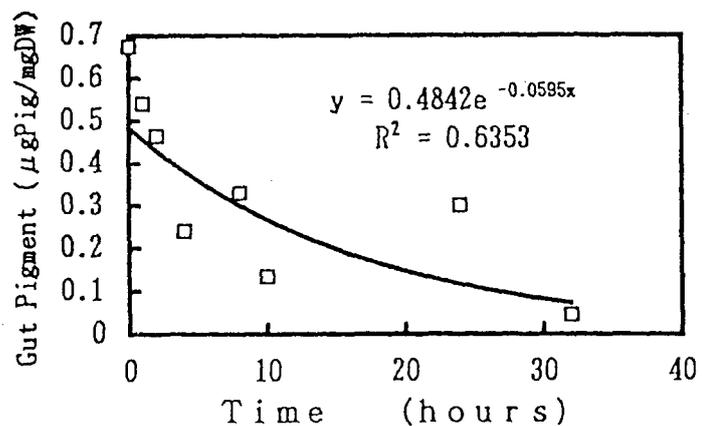


図24 稚貝の消化速度

る。また、霧多布島の南側にあたる琵琶瀬湾は直径3kmのほぼ円形をした湾で、沖側には嶮暮島、小島があり閉鎖的の海岸を形成している。計算領域は浜中湾と琵琶瀬湾を含む沿岸方向12Km、岸沖方法10Kmの範囲で一辺が200mの正方形格子を用いている。計算期間は1994年8月1日から12月31日までの153日間で計算間隔は1日とした。①初期条件として初期個体数密度（水深13m以浅海域は一様に650個/m²、13m以深海域は0個/m²）および初期殻長（0.4mm）を与えた。②境界条件としては岩礁および陸地境界において、稚貝の移動流速 q_{wx} 、 q_{wy} を零とした。③資源動態方程式の数値計算は時間に対しては前進差分を空間に対しては中央差分を採用した。

6)-2 湾内の波高とシルト含有率の分布

図25に計算により求めた波高分布を示した。この時の沖波波高は1.0mで周期は7.2秒であった。浜中湾内の調査点における湾外波高比 H' は0.2~0.6の範囲にあり比較的静穏度の高い海域であることが確認された。次に、図10に示した経験式をもとにシルト含有率の分布を計算し、その結果を図26に示した。水深の増加に伴いシルト含有率が大きくなる傾向がみられ、波高比が特に低く水深が比較的大きい霧多布島北側では15%を超えている。このシルト含有率の分布は稚貝の死亡率を決定する重要な指標となる。

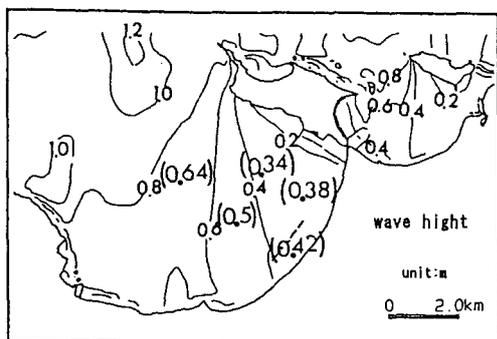


図25 湾内の波高分布 (沖波諸元 $H_0:1.0m$)
(数字)は実測した湾外波高比を示す

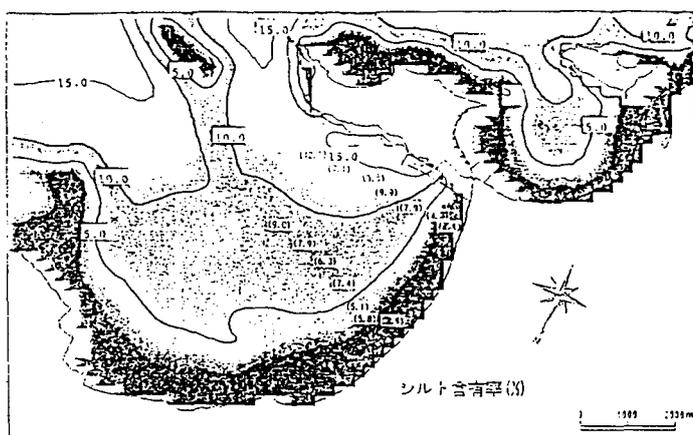


図26 湾内のシルト含有率分布
(数字)は実測したシルト含有率を示す

6)-3 稚貝資源量の分布様式と時間的変動

計算開始から150日後の稚貝個体数分布を図27に示した。浜中湾、琵琶瀬湾ともに水深の増加に伴って個体数の減少が示され、特に水深5m付近を境として急激に変化している。この原因はシルト含有率(図26)に起因する死亡率の経験式(図11)を反映した結果といえる。

一方、150日目の殻長は個体数分布とは対照的に水深の増加に従い大きくなる傾向がある(図28)。水深別に計算した餌料環境指標($Chl. a/SS$)の時間変動(図29)をみると、稚貝の成長期(9月-10月)では水深7m付近を境にして沖側と岸側で明確な違いが現れており、このことが水深帯による成長の差を決定しているといえる。個体数に湿重量を掛けたバイオマス量の時間的変化をみると水深が5m以上の地点では計算開始後60日目までは成長に伴うバイオマス量の暫増がみられ、その後はまた減少傾向にあることが判る(図29)。計算開始時に比した終了時におけるバイオマス量の増加率分布(図30)は個体数分布にほぼ依存している。

この増加率の分布傾向と12月調査時におけるバイオマス量の実測値(図31)とは相関性が認められる。なお、資源変動に及ぼす波による稚貝移動の効果を検証するため、移動量 q_{wn} を無視した計算を実行し150日目の個体数分布を図27と比較したが分布形態の差異は認められなかった。つまり、浜中湾は静穏度の高い海域であり稚貝の資源変動要因の中で、波による移動過程

は成長や死亡過程に比べて重要でないが示唆された。

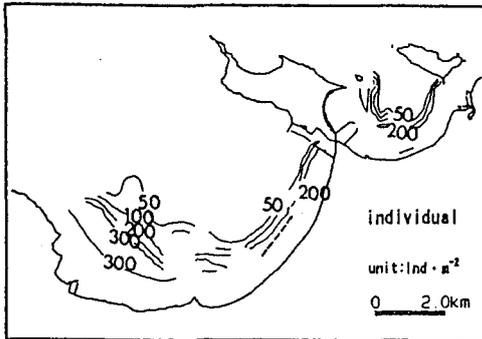


図27 150日目の稚貝個体数分布

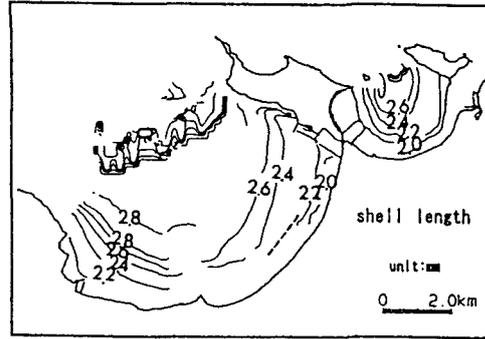


図28 150日目の稚貝殻長分布

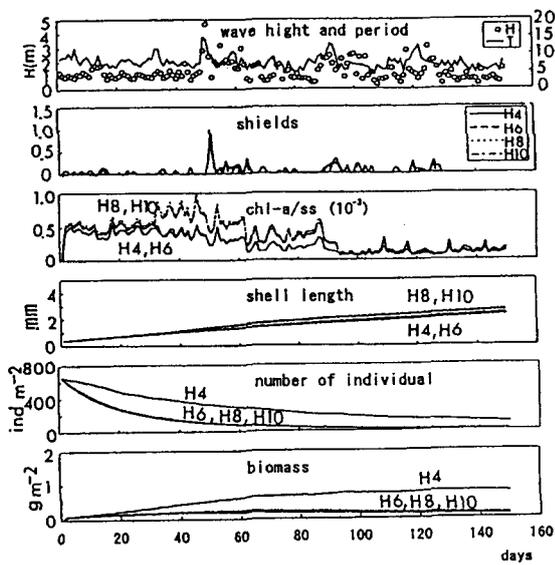


図29 沖波波高，シールス数，餌料環境指標，殻長，個体数，バイオマス量の時間的変化
(図中の番号は検証地点で図1参照，日数は8月1日からの経過日数を示している)

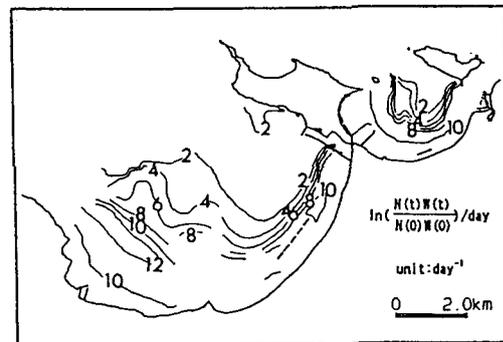


図30 稚貝のバイオマス量の増加率分布

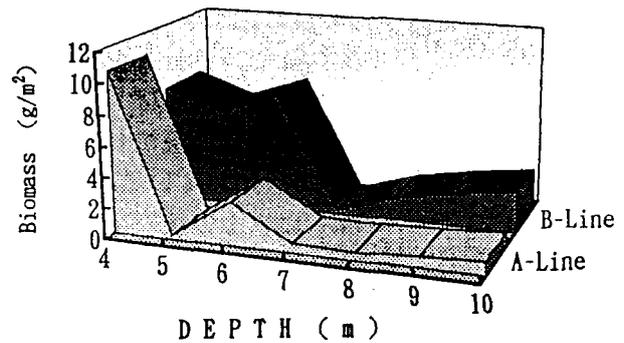


図31 12月調査時のバイオマス量の岸沖分布

摘 要

ホッキガイを対象とした漁場造成手法を開発するために必要な現地調査・室内実験・既往知見の収集・数値モデル作成など多面的な調査研究を実施してきた。得られたデータ類、関係式を数値モデルに取込み、その数値解析より半閉鎖海域におけるホッキガイの漁場形成機構について以下に示す幾つかの結果が得られた。

1. 沈着初期の稚貝分布には浮遊期における沿岸流の恒流成分の流路が重要な働きをし、それに藻場群落のトラップ効果が稚貝の高密度集積を発生させたと示唆される。
2. 水理学的環境と水底質特性を解析して稚貝の初期生態（成長・減耗）へ与える影響を総合的に考察し稚貝の死亡率に関する経験式（シルト含有率との関係）および稚貝の成長率に関する経験式（餌料環境指標との関係）を得た。
3. 摂餌の予備実験から摂餌速度に対する水温効果（10℃を境にして摂餌速度が急激に変化する）および流速効果（振動流速が80cm/s以上でシートフローの状態では摂餌行動が抑制される）が示唆され、水温効果は稚貝成長の季節変動の特徴を証明する材料となる。
4. 稚貝の成長率については水域の水温構造と植物プランクトン量が関与するため人為的制御は難しいと云える。ただし、稚貝の死亡率に影響する底泥のシルト含有率については造成漁場のシルト含有率を限界値（15%）以下におさえる工法（例えば、造成地盤高の適正化設計など）は可能である。
5. 本研究で示した資源変動モデルは浜中用のものであるが、開放性漁場を含む他の海域でも同様な調査仕様のもとに、造成地における放流稚貝の資源動態の数値評価ができる見とおしがついた。

今後に残された問題点として

1. 稚貝の移動量算定式のなかで未知のパラメータが存在しているが、大型振動流水槽による室内実験で求める必要がある。
2. 動的環境下における稚貝の摂餌特性はまだ予備実験の段階であるが、追試実験から稚貝の摂餌速度、呼吸速度などのデータを蓄積することによりエネルギー代謝モデルとして内在的機能から稚貝の成長と減耗を推定することも必要である。

最後に、現地調査を実施するにあたり多大の協力を頂いた道立釧路水産試験場の城野草平研究員（現道立栽培漁業総合センター）ならびに吉田秀嗣研究員、釧路東部水産技術指導所の方々、浜中漁協資源対策部の皆様に対して感謝申し上げます。また、振動流水槽による摂餌実験では共同研究者として参加いただいた北大工学部の山下俊彦助教授、道立中央水産試験場の櫻井 泉研究員、北海道開発局開発土木研究所の谷野賢二室長、明田定満副室長に対しても厚く御礼申し上げます。なお、成果の一部は関係学会に発表した^{6, 7)}

参考文献

- 1) 高山知司・池田直田・平石哲也, 1991 : 砕波および反射を考慮した波浪変形計算, 港研報告, 30 (1), 21-67.
- 2) 中村義治・三村信男・秋元義正, 1990 : 波による二枚貝の輸送モデルと漁場形成機構, 第37回海岸工学論文集, 土木学会, 818-822.
- 3) 山下俊彦・松岡 学・和田 彰・谷野賢二・明田定満, 1994 : 波浪による二枚貝の減耗に

- 関する研究，第10回寒地技術シンポジウム講演要旨，297-302.
- 4) 渡辺栄一，1982：波浪によるホッキガイの減耗に関する実験的研究，土木試験所月報，351，3-15.
 - 5) 北海道立釧路水産試験場，1994：平成5年度ホッキガイ稚貝補充調査報告書，p. 14.
 - 6) 中村義治・田口 哲・三村信男・城野草平，1994：ホッキガイの初期生態に与える海岸環境に関する研究，第41回海岸工学論文集，土木学会，1121-1125.
 - 7) 中村義治・田口 哲・飯泉 仁・三村信男・村井克詞，1995：二枚貝の餌料環境と資源変動モデルに関する一考察，第42回海岸工学論文集，土木学会，1121-1125.