

北海道余市町沿岸におけるホッキガイ漁場の環境特性

櫻井 泉^{*1}, 金田友紀^{*1}, 畑 豊^{*2}

Environmental characteristics in Japanese surf clam *Pseudocardium sachalinense* bed off Yoichi coast, west Hokkaido, Japan

Izumi SAKURAI^{*1}, Tomonori KANETA^{*1} and Yutaka HATA^{*2}

Sedimentary condition, bottom disturbance and macrobenthic structure of the shallow sandy bottom off Yoichi west Hokkaido, Japan, were studied in relation to a surf clam *Pseudocardium sachalinense* bed. Surveys were conducted in April, July and November 2001, and February 2002. Median diameter of the sediment tended to be low with water depth ranged from 0.09 to 0.46mm without seasonal change. Total organic carbon (TC) and total nitrogen of the sediment tended to increase with water depth in addition to be high from April to July (0.42–5.04 and 0.04–0.43mg/g, respectively) and low from November to February (0.29–1.35 and 0.04–0.15mg/g DW, respectively). Bottom disturbance of calculating Shields number (ψ) as an index tended to be low with water depth and fluctuated markedly with seasonal change of wave action and effect of topographical features. According to principal component analysis using sedimentary condition and bottom disturbance, five sedimentary types (I, II, III, IV and V) were divided. Type I, very high TC and low ψ , and type II, low TC and high ψ occurred in 6–12m depth in parts from April to July and from November to February, respectively, although type III, high TC and low ψ distributed in 6–15m depth through the year. Type IV, low TC and very high ψ , and type V, low TC and ψ were found in 3m depth from April to July and from November to February, respectively. Five macrobenthic communities (A, B, C, D and E) were identified according to cluster analysis using the similarity index (C_s), and characterized as dominant presence of *Umbonium costatum* and *Goniada maculata* in A, *Scaphechinus griseus* and juvenile of *P. sachalinense* in B, juvenile of *Felaniella usta* in C, *Eohaustrius eous* and *S. griseus* in D, and *Nephtys caeca* and *Urothoe grimaldii* in E. A-community was constantly found in 6–9m depth with sediment of type I, II and III, and B- and D-communities occurred in 3m depth with sediment of type IV and V through the year. In 12–15m depth, distribution patterns of the dominant species in each community changed seasonally by their recruitment. It was suggested that the sedimentary condition were suitable for burying and feeding of the clam but mortality due to the bottom disturbance and competition with *S. griseus* would occur in the habitat.

キーワード：ホッキガイ (ウバガイ), 漁場環境, 底質性状, 底質攪乱, マクロベントス

はじめに

北海道の砂浜海岸には、ホッキガイ (和名ウバガイ) *Pseudocardium sachalinense*, バカガイ *Macra chinensis* およびサラガイ *Megangulus venulosus* などの潜砂性二枚貝が生息しており、これらは地域の漁業を支える水産資源として重視されている。とりわけ、ホッキガイは檜山支庁管内を除く道内沿岸に広く分布しており、これまでに資源管理や増殖を目的とした調査・研究が数多く行

われてきた。これらの成果によると、ホッキガイは春～初夏に産卵し¹⁻⁴⁾、約25日間の浮遊幼生期を経て、親個体群の生息域の沖合部に着底した後⁵⁾、底生初期に沿岸部へ移動し、親個体群に加入する^{5,6)}。しかし、この移動の間に著しい密度の低下が起り、満2齢に達するまでに着底直後の99%以上が減耗すると推定されている^{7,8)}。このような密度低下は、波浪に伴う海底攪乱によって稚貝が砂中から放り出され、物理的な分散を受けることが原因と考えられており^{5,8)}、この分散による生息不適地への

報文番号A371 (2003年7月22日受理)

*1 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

*2 後志北部地区水産技術普及指導所 (Shiribeshi - Hokubu Fisheries Extension Office, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

移送が本種の主な死亡要因とされている^{9,10}。また、タマガイ類やヒトデ類による食害も稚貝の死亡要因として指摘されているほか^{9,11}、生息場所を巡るカシパン類との競合も生息密度を規定する要因の一つとして示唆されている¹²。したがって、ホッキガイの資源増大に向けて適切な施策を講ずるためには、漁場環境の総合的な評価を行うとともに、若齢期における死亡を緩和することが重要と考えられる。

一方、浅海砂泥底における二枚貝の生息域は、物理化学的および生物学的環境要因によって特徴付けられるとともに、その相互作用に基づいて形成される例が数多く報告されている¹³⁻¹⁶。特に北海道におけるホッキガイの生息環境については、石狩^{17,18}、上磯¹⁷、苫小牧^{17,19}、浜中²⁰および根室^{21,22}沿岸において底質性状（粒度組成や有機物含量など）とマクロベントス群集の対応関係から漁場の類型化されている。また、波浪に伴う底質攪乱とホッキガイの生息限界に関する実験的検証も行われ²³⁻²⁵、波浪条件から本種の生息適地検討の可能性が示唆されている。したがって、ホッキガイの漁場環境については、底質性状、波浪およびマクロベントス群集を合わせた総合評価が可能と考えられる。

このような背景の中で著者等は、ホッキガイの移殖放流を行うための前段階として、北海道余市町沿岸の本種漁場において底質調査を行う機会を得た。本論文では、底質性状とマクロベントスの分析に加えて漁場の平面波浪場解析を行い、ホッキガイの漁場環境を総合的に評価したので、その結果を報告する。

調査海域と調査方法

1. 調査海域の概要

本研究の対象海域とした北海道余市町の余市川河口からフゴッペ川河口にかけての地区は、東西を岩礁に挟まれた日本海に面する沿岸約4 kmの砂泥海岸である（Fig. 1）。余市町のホッキガイ漁業は、当地区の水深10 m以浅を対象に桁曳き網によって営まれており、漁期は概ね7月～9月に設定されている。これまでに本種の資源量を調べた例はないが、当地区では近年漁獲量の低下が著しく、1997年に5.9トンあった水揚量が2000年には2.1トンにまで減少した。このため、余市郡漁業協同組合では他地区からホッキガイを毎年5～7トン購入し、当地区に放流しているが、その効果については不明である。

2. 試料の採集、処理および解析

本研究では、2001年4月26日、7月31日、11月16日および2002年2月4日に、上述のホッキガイ漁場において、

底質およびマクロベントスの定量採集を行った。調査点として、海岸線に垂直な4本の調査線を余市川河口、大川町、栄町およびフゴッペ川河口沖に設け、各線水深3～15mの範囲に5点ずつ、合計20点を設定した（Fig. 1）。調査点の設定と測深には、それぞれD-GPS（日本無線DGPS200）と音響測深器（本多電子PS-7）を使用した。試料の採集にはスミス・マッキンタイヤー型採泥器（採泥面積0.05m²）を使用し、1地点あたり原則2回の採泥を行った。

船上において、採集した底泥の表層部から約100 gの試料を底質分析用として採取した後、残りを1 mm目合の篩を用いて海水中でふるい、篩上の残留物を5%ホルマリン海水で固定した。固定した残留物を実験室に持ち帰り、マクロベントスを選別した後、実体顕微鏡下で同定し、種類別に個体数を求めた。マクロベントスの群集構造を解析するため、地点間の類似度指数 C_r に基づいたMountfordの平均連結法によるクラスター分析を行った²⁶。また、群集の特徴を表すパラメータとして、Shannon-Weaver関数による種多様度指数 H' とPielouの均衡性指数 J' を算出した²⁶。なお、 J' は群集構成種の個体数が均一化するほど大きな値となり、少数種による独占的な状態が強いほど小さな値となる²⁶。また、 H' は J' と同様の特徴を持つほか、同じ均一性を示す群集であっても、群集を構成する地点数が多いほど大きな値を示す²⁶。

一方、底質分析用試料については、一部を篩分け法（湿式）により粒径 0ϕ 以下（1 mm以上）、 $0\sim 1\phi$ （0.5～1 mm）、 $1\sim 2\phi$ （0.25～0.5 mm）、 $2\sim 3\phi$ （0.125～0.25 mm）、 $3\sim 4\phi$ （0.063～0.125 mm）および 4ϕ 以上（0.063 mm以下）の6段階に区分し、その重量組成から粒径分布累積曲線を作成した後、中央粒径値 Md と淘汰度 So をそ

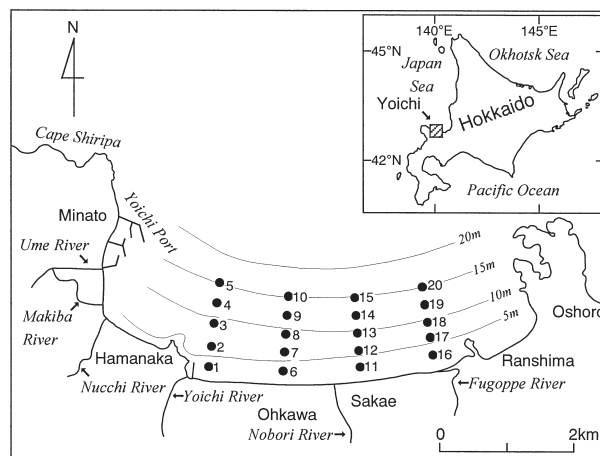


Fig. 1 Location of the survey area off Yoichi coast, west Hokkaido, Japan. Solid circles indicate the sampling stations for analysis of sedimentary condition and macrobenthic structure. Each number represents the station number, respectively.

れぞれ次式により算出した²⁷⁾。

$$Md = \phi_{50}$$

$$So = \frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{2}$$

ここに、 ϕ_{16} 、 ϕ_{50} および ϕ_{84} は、それぞれ粒径分布累積曲線の16, 50および84%に相当する ϕ 値である。また、淘汰度は、値が小さいほど限られたサイズの粒子が分布する（淘汰が良い）ことを示し、値が大きいほど各サイズの粒子が均等に分布する（淘汰が悪い）ことを示す²⁷⁾。なお、粒径0 ϕ 以下の試料に含まれるマクロベントスについては、5%ホルマリン海水で固定後、前述の試料に加えた。残りの試料については、底質中の有機物含量を求めため、1N塩酸による脱炭酸塩処理を施した後、CHNコーダー（柳本MT-5）を用いて全有機炭素量と全窒素量を計測した。

3. 平面波浪場と底質攪乱の解析

調査海域の波浪による底質攪乱の程度を推定するため、平面波浪場の解析を行った。計算には、砕波後の波を取り扱うことができる次式のエネルギー平衡方程式²⁸⁾を用いた。

$$\frac{\partial}{\partial x} (SC_g \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y} (SC_g \sin \theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left\{ \frac{SC_g}{C} \left(\frac{\partial C}{\partial x} \sin \theta - \frac{\partial C}{\partial y} \cos \theta \right) \right\} = -\epsilon' S$$

$$\epsilon' = \frac{\epsilon C}{\sqrt{\delta x \delta y}}$$

ここに、 S は波の方向スペクトル密度、 C は波速、 C_g は波の群速度、 θ は x 軸の正方向から反時計回りに計った波向角、 ϵ' は単位時間内に砕波によって失われるエネルギー逸散率、 ϵ は計算格子内において砕波する波のエネルギーの割合である。また、 δx と δy はそれぞれ x と y 方向の計算格子間隔であり、ここでは $\delta x = \delta y$ とした。沖波条件には、余市町から東南東方向に約30km離れた石狩湾新港沖で2000年4月～2001年2月に観測された有義波

Table 1 Monthly mean values of significant wave during 2000–2001 off the Ishikari Bay New Port, west Hokkaido, Japan (based on data from the Hokkaido Development Agency).

	April	July	November	February
Wave height (m)	0.75	0.33	1.35	1.63
Period (sec)	4.9	4.3	5.8	5.9
Wave direction	NW	WNW	NW	NW

の月別平均値 (Table 1) を用いた。なお、 S の計算には Bretschneider・光易型周波数スペクトル²⁹⁾と光易型方向関数²⁹⁾を適用し、砕波の判定には合田の砕波指標³⁰⁾を使用した。計算で得られた波高値から微小振幅波理論³¹⁾により各調査点における底面波浪流速 u を求めた後、これをシールズ数 ϕ に換算した。なお、 ϕ は流れや波の場において砂粒子の動きやすさを表す指標であり³²⁾、次式により算出される。

$$\phi = \frac{fu^2}{2(s-1)gMd}$$

ここに、 f はJonssonの摩擦係数³²⁾、 s は砂の比重 (= 2.65)、 g は重力加速度である。

結果

1. 底質環境

水深と底質の中央粒径値および淘汰度の関係をFig.2に示した。中央粒径値は、各月とも調査区全域で0.09～

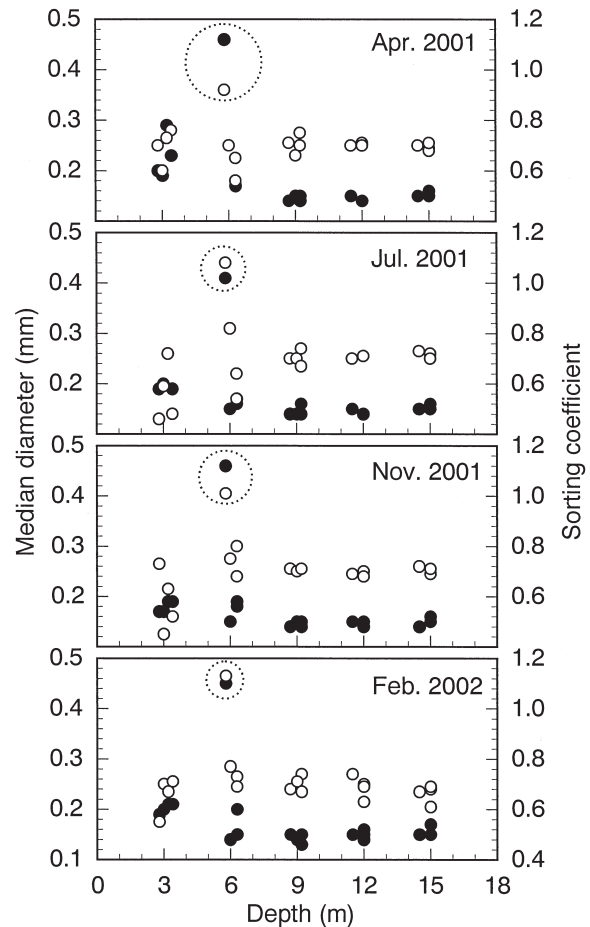


Fig.2 Relationship between depth of sampling station and median diameter (●), and sorting coefficient (○). Symbols which are circled in broken lines indicate St. 7 (off the coast of Ohkawa).

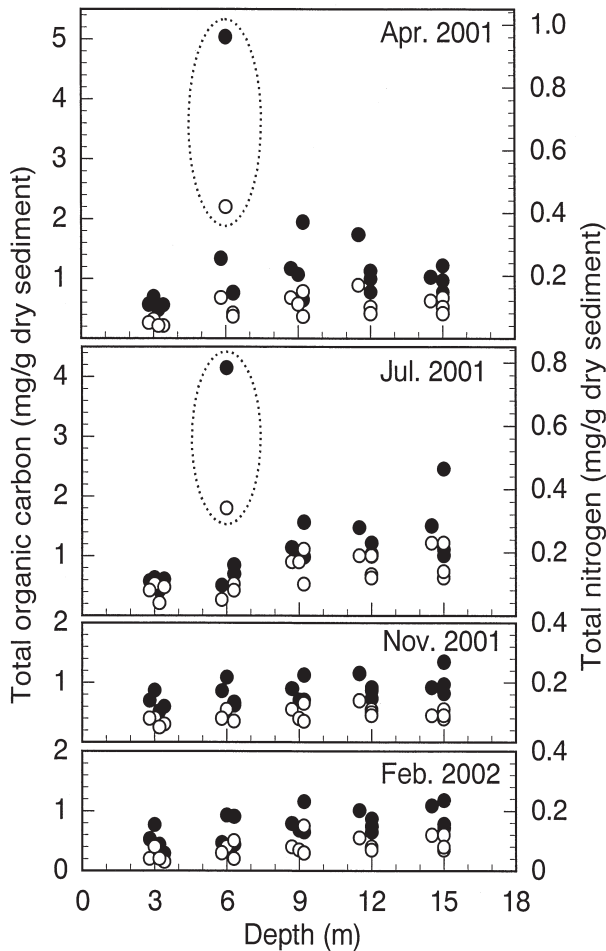


Fig.3 Relationship between depth of sampling station and total organic carbon (●), and total nitrogen (○). Symbols which are circled in broken lines indicate St. 2 (off the mouth of the Yoichi River).

0.46mmの範囲にあり、水深9~15mではほぼ一定の値(0.15mm前後)を示したが、水深3~6mでは浅くなるほど粒径が粗くなる傾向がみられた。淘汰度は、各月とも水深9~15mでは中央粒径値と同様にほぼ一定の値(0.7前後)を示したが、水深3~6mでは0.4~1.2の幅で変動した。なお、St.7(大川町沖の水深6m)の中央粒径値と淘汰度は、周年を通して他の地点より大きな値を示した。

水深と底質の全有機炭素量および全窒素量の関係をFig.3に示した。全有機炭素量と全窒素量は、各月とも調査区全域でそれぞれ0.29~5.04mg/gおよび0.04~0.43mg/g(乾重)の範囲にあり、両者とも深くなるほど増加する傾向が認められた。また、St.2(余市川河口沖の水深6m)では、全有機炭素量と全窒素量が4月と7月に著しく増加した(それぞれ4.0mg/gおよび0.3mg/g以上)。

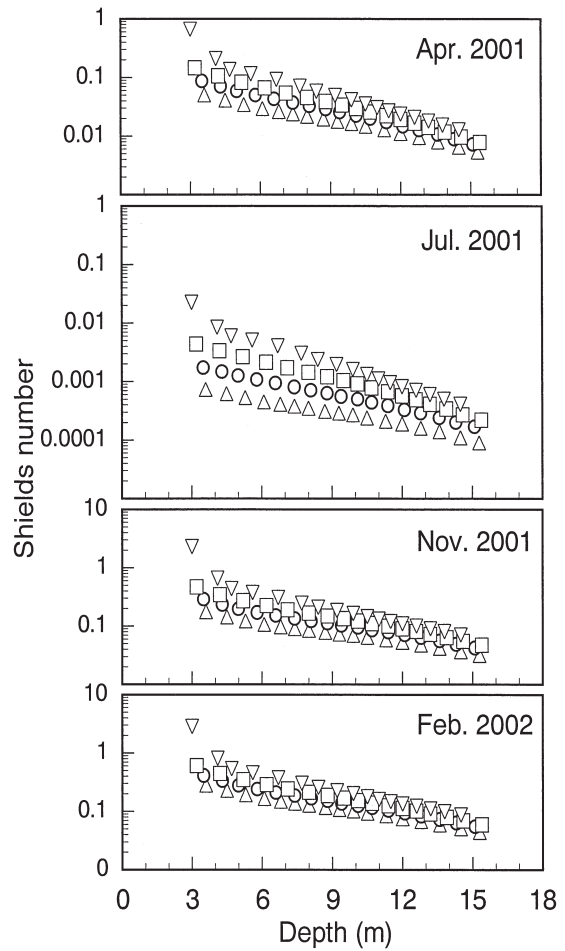


Fig.4 Relationship between depth of sampling station and Shields number (△: off the mouth of the Yoichi River, ○: off the coast of Ohkawa, □: off the coast of Sakae, ▽: off the mouth of the Fugoppe River). Shields numbers were calculated by using energy balance equation and small amplitude wave theory (based on data in Table 1).

水深と平面波浪場の解析から得られたシールズ数の関係をFig.4に示した。シールズ数は、各月とも浅くなるほど増大する傾向が認められた。また、各地点におけるシールズ数は、月によって大きく変動した。すなわち、7月は年間を通して波浪が最も静穏化するため、各地点のシールズ数は調査区全域で最も低い値(0.03以下)を示したが、2月は高波浪の影響を強く受けるため、各地点のシールズ数は調査区全域で最も高い値(0.04~2.84)を示した。また、4月のシールズ数は7月に次いで低く(0.01~0.66)、11月のシールズ数は2月に次いで高い値となった(0.03~2.28)。なお、各水深のシールズ数は、各月とも西側の海域ほど低い値を示した。

Table 2 Summary of principal component analysis using median diameter, sorting coefficient, total organic carbon, total nitrogen and Shields number.

	1st component	2nd component	3rd component	4th component	5th component
Median diameter	-0.408	0.897	-0.074	-0.288	0.258
Sorting coefficient	0.237	0.824	0.029	0.262	-0.264
Factor loading					
Total organic carbon	0.884	0.096	0.217	0.246	0.320
Total nitrogen	0.849	0.048	0.222	-0.456	-0.142
Shields number	-0.474	0.004	0.880	0.021	-0.013
Eigenvalues	1.948	1.495	0.877	0.421	0.259
Cumulative contribution (%)	39.0	68.9	86.4	94.8	100.0

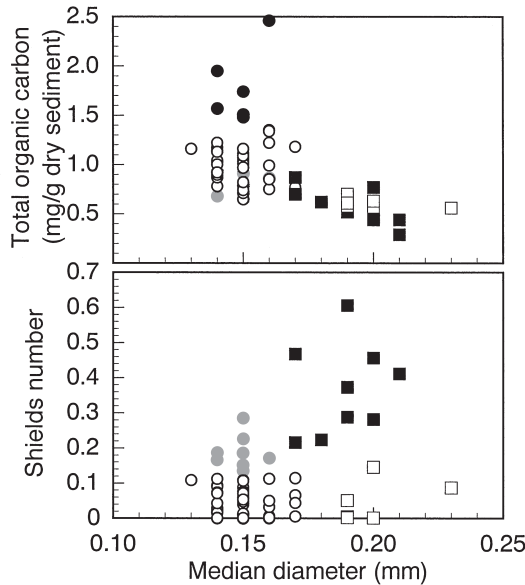


Fig. 5 Relationship between median diameter and total organic carbon (upper), and Shields number (lower). ● : type I, ● : type II, ○ : type III, ■ : type IV, □ : type V. St. 2 with total organic carbon exceeding 4mg/g in April and July, St. 7 with median diameter exceeding 0.4mm in all month and St. 16 with Shields number exceeding 2.5 in November and February were not plotted in coordinates, but were included on type I, V and IV, respectively.

2. 底質環境の類型化

中央粒径値, 淘汰度, 全有機炭素量, 全窒素量およびシールドズ数について, 各項目間の因果関係を明らかにするため, 分散-共分散行列を用いた主成分分析を行った (Table 2)。各項目の因子負荷量は, 第1因子では有機物量に関連した全有機炭素量と全窒素量, 第2因子では粒度組成に関連した中央粒径値と淘汰度および第3因子では底質攪乱に関連したシールドズ数が高い値を示した。また, 第1~3因子の累積寄与率は86.4%に達したことから, 本調査区域の底質環境は, これら3因子によって類型化できると考えられた。そこで, 各因子内で負荷量が最も大きい全有機炭素量, 中央粒径値およびシールドズ数をそれぞれ第1, 2および3因子の代表値として3者の関係を図示するとともに, 座標点の近い地点群をI~V

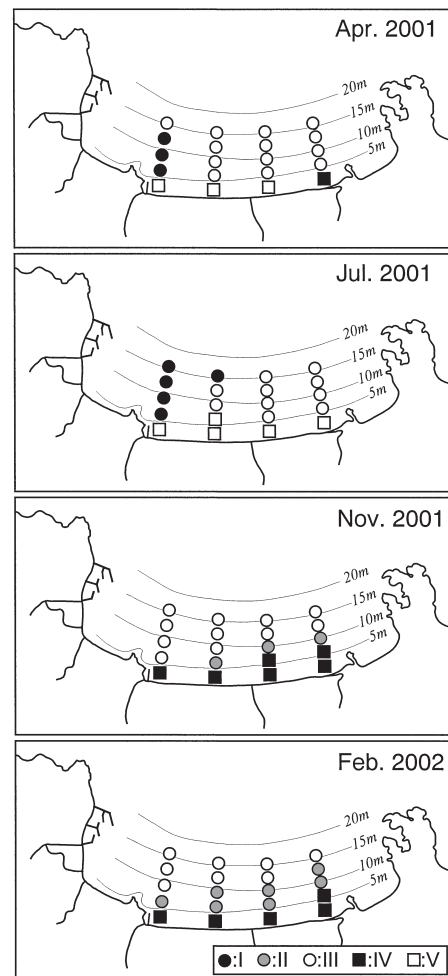


Fig. 6 Spatial distribution of five sedimentary types (I-V) divided by principal component analysis. Diagnostic characters of each type were shown in Fig. 5.

の底質型として区分した (Fig. 5)。また, 各底質型の空間分布をFig. 6に示した。なお, 4月と7月のSt. 2, 各月のSt. 7および11月と2月のSt. 16については, それぞれ全有機炭素量, 中央粒径値およびシールドズ数が他地点に比べて著しく高い値を示したので (それぞれ4.0mg/g, 0.4mmおよび2.5以上), Fig. 5には表示していないが, Fig. 6ではそれぞれの座標点が一番近いI, VおよびIV型に含めて整理した。

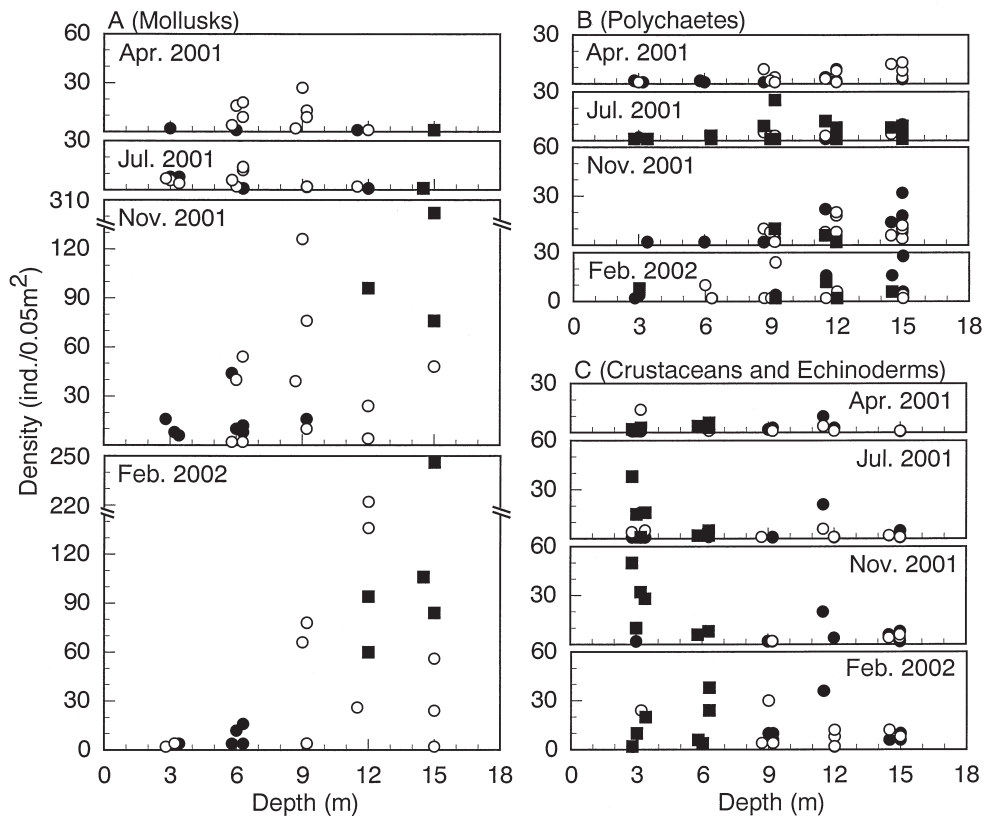


Fig.7 Relationship between depth of sampling station and densities of dominant species. A: *Pseudocardium sachalinense* (●), *Umbonium costatum* (○) and *Felaniella usta* (■), B: *Goniada maculata* (●), *Nephtys caeca* (○) and *Nerinides yamaguchii* (■), C: *Urothoe grimaldii* (●), *Eohaustrius eous* (○) and *Scaphechinus griseus* (■).

I型は、全有機炭素量が高く、中央粒径値とシールズ数が低い特徴を示し、その分布は4月～7月にかけて余市川河口沖の水深6～15mと大川町沖の水深15mにみられた。シールズ数が比較的高く、中央粒径値と全有機炭素量が低いII型は、11月～2月にかけて余市川河口沖の水深6m、大川町沖の水深6～9mおよび栄町～フゴッペ川河口沖の水深9～12mに分布した。全有機炭素量が比較的高く、中央粒径値とシールズ数が低いIII型は、周年にわたって本調査区の水深6～15mに出現した。全有機炭素量が低く、中央粒径値とシールズ数が高いIV型は、11月～2月にかけて余市川河口～大川町沖の水深3mと栄町～フゴッペ川河口沖の水深3～6mにみられた。また、中央粒径値が高く、全有機炭素量とシールズ数が低いV型は、4月～7月にかけて本調査区の水深3mに分布した。

3. マクロベントス出現種の概要

採集されたマクロベントスは、6動物門69種であった。採集個体数は軟体動物が最も多く、全体の53.3%を占め、次いで環形動物が21.4%、節足動物が16.2%、棘皮動物が7.7%、紐形動物が1.3%、星口動物が0.1%であった。

軟体動物では、キサゴ *Umbonium costatum* およびウ

ソシジミ *Felaniella usta* が優占し、それぞれ本動物門の45.6および38.1%を占めたほか、ホッキガイの稚貝が比較的多く採集された。キサゴは各月とも水深3～15mに広く分布し、ウソシジミは4月～7月には水深15m、11月～2月には水深12～15mにみられた (Fig. 7-A)。また、ホッキガイの分布は、4月～7月には水深3～12mおよび11月～2月には水深3～9mに認められた (Fig. 7-A)。環形動物では、多毛類のキョウスチロリ *Goniada maculata*、ハヤテシロガネゴカイ *Nephtys caeca* およびヤマグチスピオ *Nerinides yamaguchii* が優占し、これら3種で本動物門の60.3%を占めた。キョウスチロリは、各月とも水深3～15mに広く分布した (Fig. 7-B)。また、ハヤテシロガネゴカイの分布は、4月には水深3～15m、7月～11月には水深9～15mおよび2月には水深6～15mに認められた (Fig. 7-B)。ヤマグチスピオは、4月には採集されなかったが、7月と2月には水深3～15mおよび11月には水深9～12mに分布した (Fig. 7-B)。節足動物では、いずれも端脚目に属するマルソコエビ *Urothoe grimaldii* およびツノヒゲソコエビの一種 *Eohaustrius eous* が優占し、両種で本動物門の45.0%を占めた。マルソコエビの分布は、4月～11月には水深3～15mおよび2月には水深9～15mにみられた (Fig. 7-

C)。また、*E. eous*は、4月～7月と2月には水深3～15mおよび11月には水深9～15mに分布した (Fig.7-C)。棘皮動物のうち最も多く採集された種はハイロハスノハカシパン *Scaphechinus griseus*であり、本動物門の86.6%を占め、その他の種については5%以下であった。ハイロハスノハカシパンの分布は、各月とも水深3～6mに認められた (Fig.7-C)。

4. マクロベントス群集の構造と分布パターン

マクロベントス群集の構造と分布パターンを解析するため、個体数の編組比率が1%以上の種類について類似

度指数 C_x を地点ごとに算出し、Mountfordの平均連結法に基づくクラスター分析を行った (Fig.8)。ここでは、マクロベントス群集を類似度0.6で区分したところ、A～Eの5群集が得られた。また、各群集の優占種とその生態的特徴、群集ごとに計算した総個体数 N 、種類数 S 、種多様度指数 H' および均衡性指数 J' をTable 3に、各群集の空間分布をFig.9に示した。

各群集の特徴をみると、A群集には、懸濁物・堆積物の両食性を示すキサゴが優占したほか、肉食性のキョウスチロリが比較的多くみられた。また、この群集は、他に比べて H' が大きく、 J' も比較的大きな値を示したこと

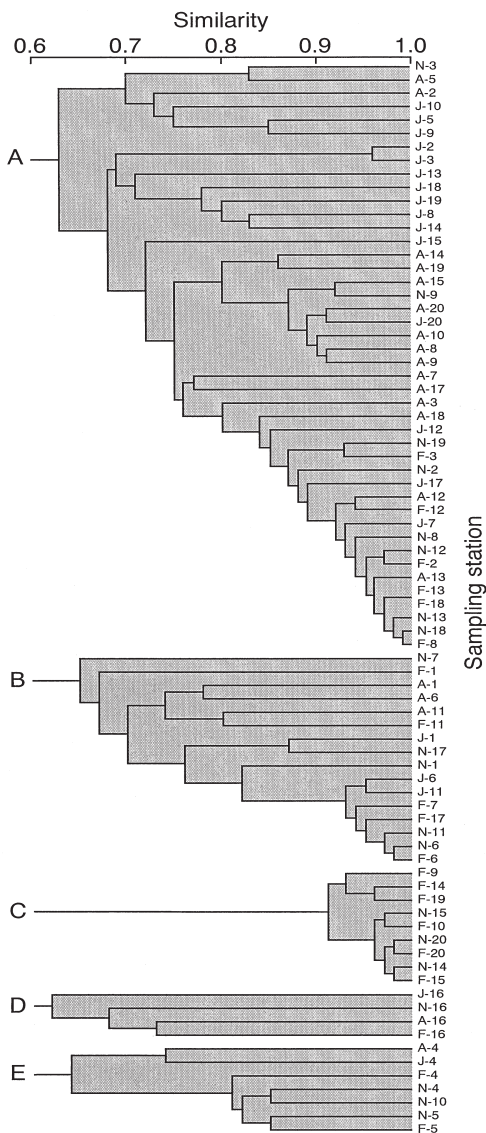


Fig.8 Dendrogram drawn by Mountford's group average method with Kimoto's similarity index of species composition between stations. The stations were clustered into five communities (A-E) by truncating the dendrogram at the similarity level of 0.6, A, J, N and F represent April, July, November and February, respectively.

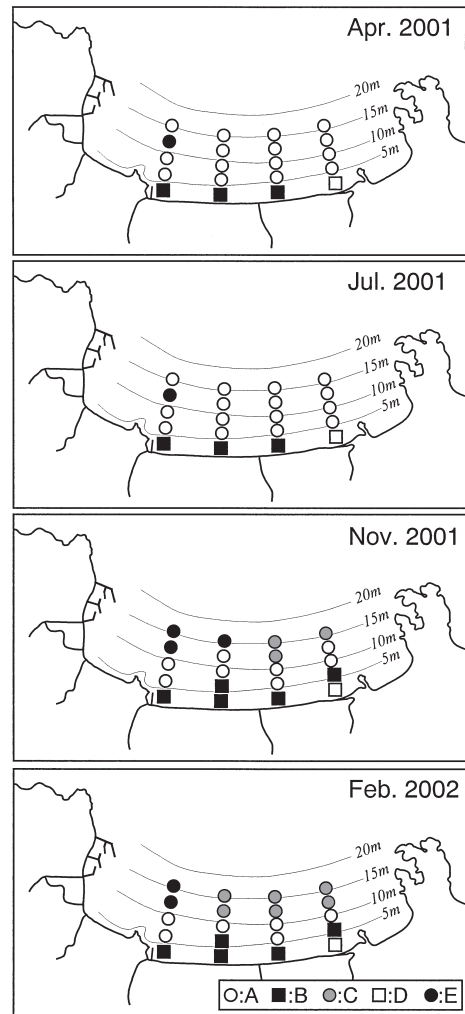


Fig.9 Spatial distribution of five macrobenthic communities (A-E) classified by cluster analysis. Diagnostic characters of each community were shown in Table 3.

から、調査区域の群集中では比較的多くの種類が均等に生息している傾向が窺われた。B群集には、堆積物食性のハイロハスノハカシパンが優占したほか、懸濁物食性のホッキガイやバカガイ (ともに稚貝) が比較的多くみられた。また、この群集はA群集と同様、他に比べて

H' と J' が比較的大きな値を示し、調査区域の群集中では比較的多くの種が均等に生息している傾向が窺われたが、 H' がA群集よりも小さかったのは群集を構成する地点数が少なかったことに起因すると考えられた。C群集には、懸濁物食性のウソシジミ（稚貝）が卓越したほか、

懸濁物・堆積物の両食性を示すサラガイ稚貝およびホッキガイ稚貝が比較的多く認められた。また、この群集は、 J' が最も大きく、多種が均等に生息している傾向が窺われたが、群集を構成する地点数が少なかったため、 H' の値は小さくなった。E群集には、肉食性のハヤテシロ

Table 3 Diagnostic character and parameters in five macrobenthic communities (A-E) classified by cluster analysis between stations.

Community	Dominant species	Class	%*	Feeding type**	N	S	H'	J'
A	<i>Umbonium costatum</i>	Gastropoda	43.9	FD	2486	55	2.52	0.63
	<i>Goniada maculata</i>	Polychaeta	8.6	C				
B	<i>Scaphechinus griseus</i>	Echinoidea	42.3	ED	591	35	2.19	0.62
	<i>Pseudocardium sachalinense</i>	Bivalvia	19.6	S				
	<i>Mactra chinensis</i>	Bivalvia	5.2	S				
C	<i>Felaniella usta</i>	Bivalvia	67.5	S	1590	29	1.42	0.42
	<i>U. costatum</i>	Gastropoda	10.4	FD				
	<i>Eohaustrius eous</i>	Crustacea	35.1	S				
D	<i>S. griseus</i>	Echinoidea	23.4	ED	154	14	1.95	0.74
	<i>Polyphthalmus pictus</i>	Polychaeta	11.0	ID				
	<i>Megangulus venulosus</i>	Bivalvia	8.4	FD				
	<i>P. sachalinense</i>	Bivalvia	5.2	S				
E	<i>Nephtys caeca</i>	Polychaeta	24.4	C	479	34	2.62	0.74
	<i>Urothoe grimaldii</i>	Crustacea	23.2	S				
	<i>Nerinides yamaguchii</i>	Polychaeta	6.3	ID				
	<i>G. maculata</i>	Polychaeta	5.8	C				
	<i>M. venulosus</i>	Bivalvia	5.4	FD				

N , S , H' and J' represent total number of individuals (/0.1m²), number of occurring species, Shannon-Weaver's index of diversity and Pielou's index of equitability, respectively.

* Values represent the ratio of composition in each community.

** C : carnivor, ED : epifaunal deposit feeder, FD : facultative deposit feeder, ID : infaunal deposit feeder, S : suspension feeder.

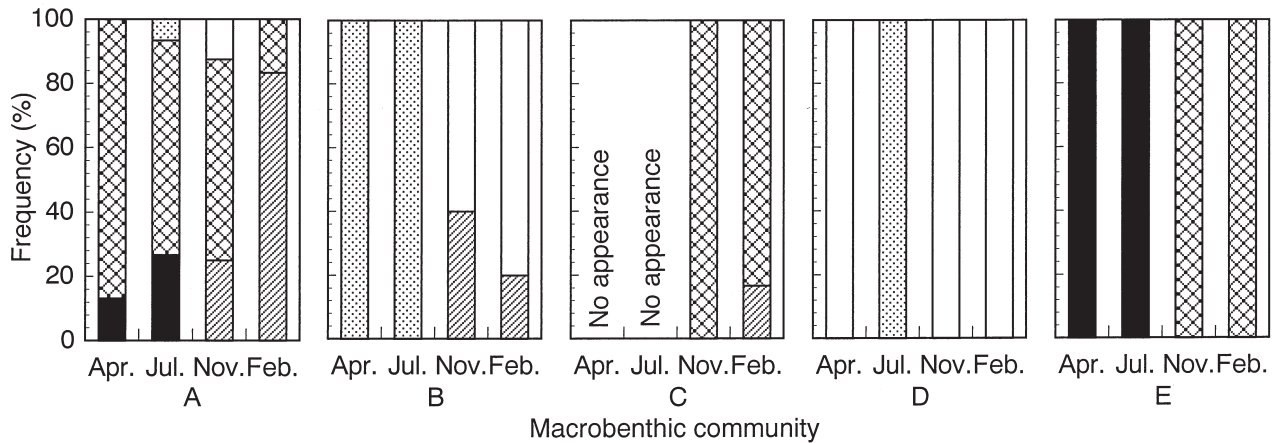


Fig. 10 Frequency distribution of sedimentary type (I-V) in each macrobenthic community (A-E).

■ : type I, ▨ : type II, ▩ : type III, □ : type IV, ▤ : type V.

キサゴが多くみられた。また、この群集は、 J' が最も小さく、構成地点数が比較的多かったにもかかわらず H' も最低値を示したことから、少数種に偏った種構成であることが窺われた。D群集には、懸濁物食性の*E. eous*と堆積物食性のハイイロハスノハカシパンが優占し、堆積物食性のカスリオフェリア*Polyphthalmus pictus*,

ガネゴカイと懸濁物食性のマルソコエビが優占し、堆積物食性のヤマグチスピオ、肉食性のキョウスチロリおよびサラガイ（稚貝）が比較的多く出現した。また、この群集は、 H' と J' が最も大きく、多種が均等に生息している傾向が窺われた。

一方、各群集の分布をみると、4月と7月が同じ分布

パターンとなり、11月と2月が類似した分布パターンを示した。すなわち、4月と7月は、B群集とA群集がそれぞれ水深3mと6～15mに帯状分布したほか、D群集とE群集がそれぞれSt.16（フゴッペ川河口沖の水深3m）とSt.4（余市川河口沖の水深12m）に点在した。また、11月と2月は、B群集とA群集がそれぞれ水深3～6mと6～12mに帯状分布するとともに、4月および7月と同様、D群集がSt.16に点在したほか、水深12～15mにはC群集とE群集が分布した。なお、C群集は、11月には栄町沖より東側に分布したが、2月には大川町沖まで広がった。

5. 底質環境とマクロベントス群集の関係

A～Eの5群集とI～Vの5底質型の対応関係を月別に整理した（Fig.10）。A群集の分布域は、各月ともⅢ型の底質に対応するとともに、4月と7月にはI型、11月と2月にはⅡ型の底質とも対応した。B群集の分布域は、4月と7月にはV型の底質と一致したが、11月と2月にはⅡ型とⅣ型の底質に対応した。4月と7月には検出されなかったC群集の分布域は、11月にはⅢ型、2月にはⅡ型とⅢ型の底質と対応した。D群集の分布域は、4月、11月および2月にはⅣ型、7月にはV型の底質と一致した。E群集の分布域は、4月と7月にはI型、11月と2月にはⅢ型の底質と一致した。

考察

1. 漁場の環境特性

本海域の底質性状は、他の砂泥海域にみられる結果と同様¹⁷⁻²²⁾、水深の増加に伴って底質が細粒化するとともに、有機物含量が増加する傾向を示した。また、中央粒径値と淘汰度には明瞭な季節変化が認められず、本海域の底質は年間を通して安定した粒度組成を維持していることが窺われた。ただし、大川町沖の水深6m（St.7）には、周年を通して粒径が粗く、淘汰の悪い底質が堆積していた。底質の粒度組成は、波浪や潮流などによる長期累積的な影響を反映すると考えられているが¹³⁾、St.7の周辺には海域の流動条件を変えるような要素（例えば地形の変化や人工構造物の設置など）はないことから、St.7における底質の粗粒化と淘汰度悪化は、流入する河川水の挙動も含めた広域的な流況に影響されているものと推察される。一方、全有機炭素量と全窒素量は、4月～7月に上昇し、11月～2月に低下する季節変化を示すとともに、余市川河口沖の水深6m（St.2）では、4月と7月に両者の値が著しく増大した。ホッキガイ漁場において有機物含量の季節変化を検討した報告はないが、

河口域において有機物含量の値が局所的に増大する傾向は、石狩¹⁷⁾、苫小牧¹⁹⁾および浜中²⁰⁾沿岸の本種漁場でも観測されている。このような河口域における有機物含量の上昇は、春季の融雪による河川からの有機物流入量の増加と後述する夏季の波浪条件の静穏化による海底面の安定化によってもたらされたものと考えられる。

平面波浪場の解析から推定した底質攪乱の程度は、水深が増加するほど安定化する傾向が認められたが、各地点における底質の安定性は季節的に大きく変動することが示された。このような底質攪乱の変動は、波浪特性の季節変化に起因すると考えられ、特に北西からの高波浪を強く受ける冬季には、移動性に乏しいマクロベントスの生息に深刻な影響を与えるものと推察される。ただし、本海域では、同じ水深帯でも西側の海域ほど底質攪乱の程度が低下する傾向が認められた。この理由は、フゴッペ川河口沖では北西方向からの波浪を直接受けるのに対して、栄町沖より西側では調査域の北西に位置するシリバ岬（Fig.1）によって北西方向からの波浪が遮断され、その効果が西側へ行くほど強く表れるためと考えられる。

底質環境に関する各測定項目間の関係を主成分分析により検討した結果、中央粒径値、全有機炭素量およびシールズ数の3項目によって漁場の底質環境を特徴付けることが可能と考えられた。また、これら3項目に基づいて底質環境を5つの型に類型化したところ、水深6～15mでは周年を通して全有機炭素量が比較的高く、中央粒径値とシールズ数が低いⅢ型が広く分布するとともに、4月～7月にはⅢ型よりも全有機炭素量が高いI型が余市川河口沖に、11月～2月にはⅢ型よりもシールズ数が高いⅡ型が水深6～12mに出現した。また、水深3mでは4月～7月に中央粒径値が高く、全有機炭素量とシールズ数が低いV型が分布したが、11月～2月には中央粒径値と全有機炭素量がV型とほぼ同じでシールズ数が高いⅣ型に交替したことから、本海域の底質環境は、季節的にも場所的にも変動に富んだ特性を有することが窺われた。このような底質環境の変動は、先述のように波浪を部分的に遮断する岬や有機物供給を担う河川が存在することによって顕在化しているものと考えられる。

本海域におけるマクロベントス群集は、キサゴやキョウスチロリが優占するA群集、ハイイロハスノハカシパンが優占し、ホッキガイやバカガイの稚貝の編組比率が高いB群集、ウソシジミの稚貝が卓越するC群集、ツノヒゲソコエビの一種とハイイロハスノハカシパンが優占するD群集、およびハヤテシログネゴカイとマルソコエビが優占するE群集の5つに区分された。また、周年を通して本海域の水深6～9mにはA群集が、余市川河口～栄町沖およびフゴッペ川河口沖の水深3mにはそれぞ

れBおよびD群集が分布していたが、水深12~15mでは季節によって群集の分布パターンが変化した。すなわち、4月~7月はA群集が広く分布し、E群集が余市川河口沖の水深12mに局在したが、11月はE群集が余市川河口~大川町沖に広がるとともに、C群集が栄町~フゴッペ川河口沖に出現した。また、2月はE群集が余市川河口沖に局在するとともに、C群集が大川町沖まで分布を拡大した。このような分布パターンの変化は、A群集を構成するキサゴやキョウスチロリの個体数が減少したのではなく、C群集のウソシジミ稚貝とE群集のハヤテシログネゴカイの新規加入によって11月~2月に増加したことが直接の原因と考えられる (Fig. 7)。一方、本海域でみられたA,BおよびC群集は、同じ北海道日本海南西部沿岸のマクロベントス群集と共通していた。例えば、石狩沿岸ではハイイロハスノハカシパンおよびウソシジミ稚貝が優占する群集がそれぞれ水深2~11mおよび7~17mで観測されている^{17,18)}。また、鳥牧沿岸でもハイイロハスノハカシパンおよびキサゴが優占する群集がそれぞれ水深3~10mおよび10~15mで確認されており¹⁶⁾、出現する水深の違いはあるものの、本海域でみられたマクロベントスの群集構造は、北海道日本海南西部の砂泥海岸に共通した特徴と推察される。

底質型とマクロベントス群集の対応関係を検討した結果、A群集では4月~7月に余市川河口沖に局在するⅠ型、11月~2月に水深6~12mに出現するⅡ型、および周年を通して水深6~15mに形成されるⅢ型の底質と分布が対応しており、Ⅲ型からⅠ型へ変化する程度の有機物含量の増加やⅢ型からⅡ型に変化する程度の底質攪乱の増加は、A群集を構成するマクロベントスの生息に対してさほど重要な制限要因にはならないことが示唆された。このことは、A群集と同様のキサゴが優占するマクロベントス群集が、鳥牧沿岸では全有機炭素量0.6~0.7 mg/gおよびシールズ数0.04~0.20の範囲に周年を通して分布すること¹⁶⁾からも理解できる。また、A群集の分布は、ⅡおよびⅢ型の底質と対応する点ではC群集と、ⅠおよびⅢ型の底質と対応する点ではE群集と類似していたことから、CおよびE群集の構成種に対しては、それぞれ有機物含量および底質攪乱の増加が分布の制限要因になっているものと推察される。C群集で優占するウソシジミ稚貝は懸濁物食性であること、およびE群集で優占するハヤテシログネゴカイとマルソコエビは砂中に埋没した存在形態を呈することから、本海域の水深6~15mでは上述の制限要因が優占種の摂餌や存在形態に影響を及ぼすことによって、群集構造の季節的および場所的变化を引き起こしているものと考えられる。一方、BおよびD群集の分布は、水深3mにおいて底質攪乱の程

度が季節的に変化するⅣおよびⅤ型の底質と対応していた。また、Ⅳ型は他の底質型に比較してシールズ数が高いことから、BおよびD群集を構成するマクロベントスは、他群集の構成種に比較して底質攪乱に対する高い耐性を備えていることが窺われる。マクロベントスの食物供給や摂餌様式が生息場所の流動条件に規定されること³³⁾、および底質の物理的攪乱が二枚貝などの潜砂や定位に深刻な影響を与えることから^{25,34-36)}、本海域の水深3mにおける群集構造の決定には水理的条件が強く関与しており、このような過酷な環境に対して高い耐性を持つ種類のみが優占種として群集を形成しているものと考えられる。

2. 漁場の環境評価

本研究ではホッキガイ漁場の底質環境を粒度組成、有機物含量および底質攪乱に基づいて類型化するとともに、底質環境とマクロベントス群集の対応関係を検討することによって場所ごとの環境特性を明らかにした。また、本海域のホッキガイ稚貝は、B群集の第2優占種として出現するとともに、ⅣおよびⅤ型の底質上を中心に分布することが判明した。さらに、両型の底質は、低い全有機炭素量と高い中央粒径値で特徴付けられるとともに（それぞれ1 mg/g以下および0.17~0.23mm）、Ⅳ型の底質は本海域の中では最も高いシールズ数を示した（0.2以上）。このうち中央粒径値と全有機炭素量については、石狩¹⁷⁾、苫小牧¹⁹⁾、浜中²⁰⁾および根室^{21,22)}沿岸におけるホッキガイ分布域の値ともほぼ一致している。また、中央粒径値は本種の潜砂行動に最も適した範囲にあることから³⁷⁾、本海域におけるホッキガイ分布域の底質環境は、中央粒径値と全有機炭素量に関しては生息に適しているものと判断される。しかし、シールズ数については、殻長10mm前後のホッキガイ稚貝が流速45~55cm/s（シールズ数に換算して0.25）になると、底質攪乱によって砂中から流出することが水槽実験によって明らかにされており²⁵⁾、本海域におけるホッキガイ分布域では、Ⅴ型からⅣ型の底質に交替する11月~2月にシールズ数0.25を超える底質攪乱の発生が予測されることから、八雲や別海沿岸で報告されている本種稚貝の波浪による減耗^{5,8)}は、本海域においても十分起こり得るものと考えられる。今後、本海域においてホッキガイの資源増大を図るには、稚貝期の減耗防止を目的とした波浪による底質攪乱の緩和策を検討する必要がある。

一方、生息空間を巡るマクロベントスの種間相互作用として、懸濁物食者や堆積物食者の摂餌活動による着底期前後の稚仔の排除が指摘されている³⁸⁾。本海域においてホッキガイが生息する群集内には、堆積物食者のハイ

イロハスノハカシパンが第1優占種として認められた。このことは、ホッキガイとハイイロハスノハカシパンとの間に上述の種間関係が存在することを示唆するとともに、以前から指摘されていたハスノハカシパン類による二枚貝漁場の狭隘化¹²⁾を裏付けている。したがって、本海域ではハイイロハスノハカシパンの駆除もホッキガイの資源増大に向けた方策の一つとして有効と推察されるが、両者の分布域においてハイイロハスノハカシパンの除去試験を実施するなど、その有効性を確認しなければならないであろう。

謝 辞

本報告にあたり、調査にご協力いただいた余市郡漁業協同組合の原田容稔課長ならびに山崎豊氏に深く感謝いたします。また、石狩湾新港沖の波高データを快く提供していただいた北海道開発局小樽開発建設部の方々に厚くお礼申し上げます。

要 約

北海道余市町沿岸のホッキガイ漁場において、底質粒径、有機物含量、底質攪乱の程度およびマクロベントスの群集構造を調べるとともに、これらの項目に基づいて本種の生息環境を評価した。得られた結果は、以下の通りである。

1. 水深の増加に伴って底質が細粒化するとともに、有機物含量が増加する傾向がみられた。また、底質粒径には季節変化が認められなかったが、有機物含量は4月～7月に上昇し、11月～2月に低下する傾向がみられた。
2. 底質攪乱は、水深が増加するほど低下する傾向が認められたが、各地点における攪乱の程度は季節変動するとともに、同じ水深帯でも西側の地点ほど低下する傾向が認められた。
3. 底質環境を主成分分析によって類型化した結果、有機物含量が高く、底質粒径と底質攪乱が低いⅠ型、底質攪乱が比較的高く、底質粒径と有機物含量が低いⅡ型、有機物含量が比較的高く、底質粒径と底質攪乱が低いⅢ型、有機物含量が低く、底質粒径と底質攪乱が高いⅣ型、および底質粒径が高く、有機物含量と底質攪乱が低いⅤ型の5つに区分された。水深6～15mでは周年を通してⅢ型が分布するとともに、4月～7月にはⅠ型、11月～2月にはⅡ型が水深6～12mに出現し、水深3mではⅤおよびⅣ型がそれぞれ4月～7月および11月～2月に分布した。

4. マクロベントス群集をクラスター分析によって類型化した結果、キサゴとキョウスチロリが優占するA群集、ハイイロハスノハカシパンとホッキガイ稚貝が優占するB群集、ウソシジミ稚貝が卓越するC群集、*E. eous*とハイイロハスノハカシパンが優占するD群集、およびハヤテシロガネゴカイとマルソコエビが優占するE群集の5つに区分された。水深6～9mにはA群集、水深3mにはBとD群集が周年を通して分布したが、水深12～15mでは構成種の新規加入によって群集の分布パターンが季節的に変化した。
5. A群集の分布はⅠ、ⅡおよびⅢ型の底質と一致するとともに、ⅡおよびⅢ型の底質に分布する点ではC群集と、ⅠおよびⅢ型の底質に分布する点ではE群集と類似した。また、BおよびD群集の分布は、ⅣおよびⅤ型の底質と一致した。
6. ホッキガイ稚貝の分布域では、本種の生息に適した底質粒径と有機物含量を示したが、底質攪乱による減耗やハイイロハスノハカシパンとの生息場所を巡る競合の可能性が示唆された。

文 献

- 1) 高橋延昭, 高野和則: ウバガイの生殖周期に関する組織学的研究-I. 精巢の季節的变化. 日水誌. 36, 337-344 (1970)
- 2) 高橋延昭, 山本喜一郎: ウバガイの生殖周期に関する組織学的研究-II. 卵巣の季節的变化. 日水誌. 36, 345-352 (1970)
- 3) 高丸禮好: 十勝におけるホッキガイの産卵期について. 北水試月報. 33, 1-8 (1976)
- 4) 櫻井 泉, 宮本建樹, 蔵田 護: 苫小牧および静内におけるホッキガイの産卵期について. 北水試研報. 39, 45-52 (1992)
- 5) 林 忠彦, 寺井勝治, 有馬健二: 八雲沿岸におけるウバガイ *Spisula sachalinensis* (Schrenck) の浮遊稚貝ならびに底生稚貝についての研究. 北水試研報. 7, 8-71 (1967)
- 6) 高丸禮好: ホッキガイの移動について. 北水試月報. 38, 222-233 (1981)
- 7) 有馬健二, 林 忠彦: 北海道八雲沿岸のホッキガイ幼貝について. 北水試研報. 10, 51-68 (1969)
- 8) 高丸禮好: ホッキガイ稚貝の成長と減耗. 北水試月報. 38, 296-305 (1981)
- 9) 高丸禮好: 北海道におけるホッキガイ(ウバガイ)の増殖研究の現状. 水産土木. 21, 43-47 (1984)

- 10) 林 忠彦：天然漁場におけるホッキガイ稚貝の発生、分布、減耗。水産土木. 24, 45-52 (1988)
- 11) ホッキガイ研究グループ：ホッキガイについて（その1）。北水試月報. 19, 40-50 (1962)
- 12) ホッキガイ研究グループ：ホッキガイについて（その2）。北水試月報. 20, 16-28 (1963)
- 13) Sanders, H.L. : Benthic studies in Buzzards Bay, III. The structure of the soft-bottom community. *Limnol. Oceanogr.* 5, 138-153 (1960)
- 14) Ansell, A.D., Sivadas, P. Narayanan, B. Sankaranarayanan, V.N. and Trevallion, A. : The ecology of two sandy beaches in south west India, I. Seasonal changes in physical and chemical factors and in the macrofauna. *Mar. Biol.* 17, 38-62 (1972)
- 15) Nakao, S. : Community structures of the macro-benthos in the shallow waters in northern Japan. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* XXVIII, 225-304 (1982)
- 16) 櫻井 泉, 林 浩之, 桑原久美：北海道島牧村沿岸のバカガイ漁場における底質環境とマクロベントス群集。日水誌. 67, 687-695 (2001)
- 17) 中尾 繁：ホッキガイ漁場の底生動物群集と底質環境。北大水産彙報. 28, 95-105 (1977)
- 18) 櫻井 泉, 山下俊彦, 中尾 繁：北海道石狩湾新港周辺におけるマクロベントスの群集構造。水産工学. 37, 143-149 (2000)
- 19) 櫻井 泉, 宮本建樹, 高橋和寛：北海道苫小牧沿岸におけるホッキガイ漁場の環境特性と二枚貝幼稚貝の分布。北水試研報. 36, 39-57 (1991)
- 20) 高丸禮好, 中尾 繁：北海道東部, 浜中湾および琵琶瀬湾におけるホッキガイ漁場の底生動物群集。北水試研報. 24, 51-58 (1982)
- 21) 高丸禮好, 河野象威：根室市落石海域におけるホッキガイ漁場の底生動物群集。北水試月報. 42, 195-202 (1985)
- 22) 高丸禮好, 河野象威：根室湾中部海域におけるホッキガイ漁場環境。北水試月報. 43, 118-125 (1986)
- 23) 渡辺栄一：波浪および埋没によるホッキガイ稚貝の減耗機構に関する実験的考察。開土試月報. 359, 24-41 (1983)
- 24) 桑原久美, 日向野純也, 中村義治, 三村信男：波浪による二枚貝移動予測モデルの妥当性と移動機構に関する研究。海岸工学論文集. 41, 376-380 (1994)
- 25) Sakurai, I. and Seto, M. : Behavioral characteristics of the juvenile Japanese surf clam *Pseudocardium sachalinensis* in response to sand erosion and deposition associated with oscillatory water flow. *Fisheries Sci.* 64, 367-372 (1998)
- 26) 木元新作：動物群集研究法 I。多様性と種類組成。東京, 共立出版, 1976, 131-166.
- 27) 茂木昭夫：汀線と碎波帯。浅海地質学。東京, 東海大学出版会, 1971, 168-174.
- 28) 高山知司, 池田直太, 平石哲也：碎波および反射を考慮した波浪変形計算。港湾技研報告. 30, 21-67 (1991)
- 29) 土木学会：水理公式集 昭和60年版。東京, 土木学会, 1985, 483-484.
- 30) 合田良実：碎波指標の整理について。土木学会論文集. 180, 39-49 (1970)
- 31) 土木学会：水理公式集 昭和60年版。東京, 土木学会, 1985, 82-84.
- 32) 全国沿岸漁業振興開発協会：沿岸漁場整備開発事業増殖場造成計画指針 ヒラメ・アサリ編 平成8年度版。東京, 全国沿岸漁業振興開発協会, 1997, 143-145.
- 33) 菊池泰二：砂泥底の生態系とベントス。水産土木. 22, 25-33 (1985)
- 34) 柴田輝和, 柿野 純, 村上亜希子：冬期の漁場における砂の流動に対するアサリの定位性ならびに餌料量・運動量とアサリの活力との関係。水産工学. 33, 231-235 (1997)
- 35) 櫻井 泉, 中島幹二, 山下俊彦：ウバガイの潜砂行動に及ぼす振動流の影響。日水誌, 64, 406-411 (1998)
- 36) 櫻井 泉：底質の物理的攪乱によるバカガイの生息限界。水産工学. 39, 155-160 (2002)
- 37) 櫻井 泉, 瀬戸雅文, 中尾 繁：ウバガイ, バカガイおよびアサリの潜砂行動に及ぼす水温, 塩分および底質粒径の影響。日水誌. 62, 878-885 (1996)
- 38) Woodin, S.A. : Adult-larval interactions in dense infaunal assemblages: Patterns of abundance. *J. Mar. Res.* 3, 25-41 (1976)