

鮫の浦湾周辺におけるエゾアワビ浮遊幼生・着底稚仔の出現特性と分布動態

佐々木良

Ecological basis for larval monitoring and subsequent recruitment of Ezo-abalone
Haliotis discus hannai in and around Sameno-ura Bay

Ryo SASAKI

Abstract : Time series of plankton sample, sea water temperature and wave action have been monitored to obtain ecological basis for larval recruitment processes of Ezo-abalone *Haliotis discus hannai* in and around Sameno-ura Bay during spawning seasons of 1998-2000. Main topics derived from yearly field case studies are summarized as follows. Same as described in former observations, larval abundance of *Haliotis discus hannai* and allied species (e.g. *Tegula spp.*, *Septifer virgatus* and *Strongylocentrotus spp.*) were closely coincident with wave action caused by the swell such as typhoon during spawning season, however, another type of spawning which was presumably related to sudden rapid current was monitored by shell-collector samples under calm weathers at the end of August 1998. Retention of larval distribution limited within 50m to 150m distance from the shore was concentrated after minor storm passing at the middle of August 1999, which belongs to type II spawning with characteristic of local dispersal. On 21 September 2000, three days after the typhoon, highest density (69 ± 37 larvae m^{-3}) of larval distribution was found within 1km distance from the shore, which spawning was presumably induced by moderate wave action with longer time cycles. In addition to the larval monitoring, spatial correlations between larval distribution and settlement were investigated to delineate subsequent recruitment processes related with juvenile abalone under crustose coralline habitat in and around the bay.

キーワード：エゾアワビ，再生産過程，鮫の浦湾

宮城県におけるエゾアワビ年間漁獲量は概ね1970年代600トン台，1980年代300トン台，1990年代100トン台と減少してきたが，ここ数年来200トン台で推移しやや回復傾向にあるとはいえ以前の資源水準に比べるとまだ増大安定化の余地は十分あると考えられる。

アワビ漁業は外海岩礁域という人為的関与が困難な場で成育する天然資源に依存しており，その好不漁は必然的に個体数変動すなわち再生産機構により支配されている。よってアワビ資源の変動機構を理解し，さらに種苗放流や母貝保護など資源管理を実施しながら本来個体群の持つ潜在的な再生産機能を効率よく利用する考え方が提唱されている^{1,2,3)}。

さて，基本的考えとして対象とするアワビ資源の持続的利用をはかるには親世代と子世代との再生産モデルを前提とし一定の人為的関与で最大限の効果となる管理指

標を得る必要があるが，これまでアワビ資源の長期的な親子関係に関する研究はきわめて乏しくまた検証も困難である。そこで資源変動のメカニズムを理解するには先ず初期生活史のプロセスの中で発生量が規定されていく動態を把握しようとする努力，例えば地先においてアワビ個体群の発生の場合や増減の仕組みなど具体的な再生産過程を野外ケース・スタディや関係する環境諸要因との対応から明らかにし，さらにそれらの知見から種特性に応じた資源の増殖・管理方策を組み立てる姿勢が必要である。

これまでのところ個体群のリセットとなる産卵～加入など一連の再生産初期過程に関するモニタリングは浮遊幼生の出現特性から産卵期間中に1～2回の頻度しか有効な機会はなく⁴⁾，さらにその折り海上でシケなどあれば十分なデータが取得されず結果として内容のある成果

を得るには数年ごとの断片的データを組み合わせ検討せざるを得ないのが現実である。ここではエゾアワビの資源変動をもたらす再生産過程を究明するため上記の観点から数年間野外調査に取り組み、その結果浮遊幼生および着底稚仔の出現特性と分布動態に関し、三の生態学的知見を得たので報告する。

方 法

鮫の浦湾は牡鹿半島東岸に位置し湾口部水深は45m、幅2km、奥行き4kmの典型的な三陸リアス式湾である (Fig. 1)。浮遊幼生の出現調査は1998年～2000年の8月～10月の期間中、湾口に位置するサキカマ崎地先をモニタリング定点とし北原式プランクトンネット (NXX13) による2回連続10m鉛直曳網により採集した。対象種はエゾアワビ *Haliotis discus hannai* の他、産卵様式が類似する原始腹足類の *Tegula* spp. (バテイラ、コシタカガンガラ、クボガイ)、岩礁固着二枚貝のムラサキインコガイ *Septifer virgatus*、ウニ類 *Strongylocentrotus* spp. (キタムラサキウニ、エゾバフンウニ) とした。また、浮遊幼生調査と併行してホタテガイ貝殻原盤(80枚2連)を海底に設置し一定期間ごとの着底稚仔量を計測した。浮遊幼生の着底直後の分布特性を把握するため、岸か

ら沖方向へ各水深帯の海底において無節サンゴモに被われた玉石(径30cm)を各地点当たり4～6個潜水採集した。サンゴモ玉石上の微小付着生物はホルマリン固定後に洗浄はく離しそれぞれ検鏡に供した。

調査を実施したボーダ浜 (St.1) は湾口南の外海に面した波浪の影響が大きい湾入域であり、距岸100mで水深3m、距岸200mで水深8mの比較的緩やかな海底勾配を示す。同様にサキカマ崎 (St.2) は湾口部南に位置しその先端は幅100m、奥行き80mの湾入域を有する。海底は起伏に富み、海底勾配は距岸100mで水深6mを示す。さらに、三洞 (St.3) は湾南側中央に位置する幅150m、奥行き100mの静穏な湾入域で岸側は起伏に富み海底勾配は距岸100mで水深6mを示す。各地点における主要な海藻はアラメ *Eisenia bicyclis* でありその密生水深は St.1 で4m以浅、St.2で2m以浅、St.3で1m以浅であり、それ以深はアラメ疎生域を経て無節サンゴモ (*Crustose coralline algae*) 優占海底へと移行していく。

浮遊幼生の出現に關与する環境条件として江ノ島の自動観測記録から日別有義波高値(仙台管区气象台)、日別表面水温値(宮城県水産研究開発センター)などの資料を用いた。

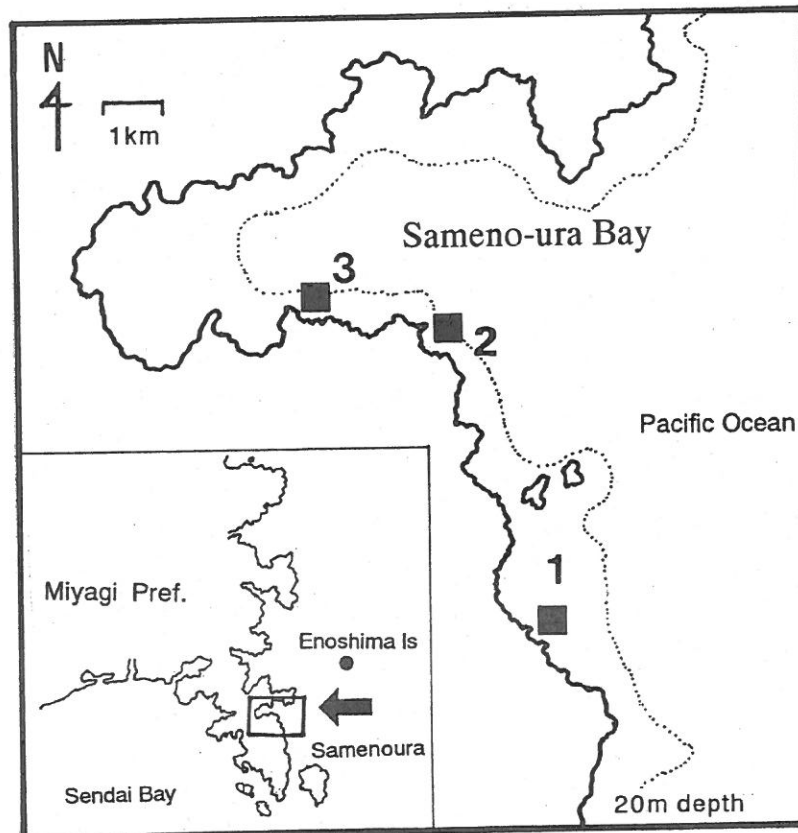


Fig.1 Coast of Miyagi Prefecture, showing the study site1,2,3 of Sameno-ura Bay

結果と考察

1 浮遊幼生、着底稚仔の出現経過

鯨の浦湾口に位置する St.2 における各年のエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. 幼生のプランクトンネット10m垂直曳網1回当たり個体数, 各旬別表面水温の平均値および有義波高の日別最大値, さらに一定期間ごとの貝殻コレクターにおけるエゾアワビ着底稚仔量の出現状況を時系列で示した (Fig. 2)。

1998年: 8月の平均水温は19.98℃で平年値20.87℃より低く推移したが, 9月は21.08℃で平年値20.92℃に近接した。

これまでの調査結果からエゾアワビの小規模産卵が起こるのは概ね2~4mの有義波高が記録された日に対応している⁴⁾。産卵期前半の日別有義波高値は8月8日に277cm, 8月31日に342cm, 9月8日に248cmに認められ, それぞれ小規模なエゾアワビ, *Tegula* spp. の幼生出現に対応している。しかし, この間8月28日に相当数のエゾアワビ浮遊幼生が出現したにもかかわらず, この時点では有義波高の変化など対応は認められなかった。その後, 台風5号が接近した9月16日に産卵期間中最大の有義波高679cmとなり, 9月19日採集時にエゾアワビをはじめ *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. の大量出現が認められた。

一方, 貝殻コレクターにおける着底稚仔の出現状況は8月24日~31日設置期間にエゾアワビ19個体 (336±35μm), *Tegula* spp. 9個体となり, 幼生の大量出現が確認された9月14日~21日のエゾアワビ5個体 (322±49μm), *Tegula* spp. 4個体を上回った。よって, 浮遊幼生と着底稚仔の出現状況が異なる結果となったが, プランクトン採集よりコレクター採集の方が定量的と考えられることから, この年の8月下旬の産卵規模は例年になく大きかったと推測される。その他, この調査期間中における *Strongylocentrotus* spp. の着底稚仔は10月6日~12日に132個体の最多出現量が認められた。

1999年: 月平均水温は8月22.00℃, 9月22.77℃で平年値よりそれぞれ1.13℃, 1.85℃高く推移した。

産卵期前半の有義波高の高いのは, 低気圧通過時の8月15日322cm, 8月30日268cmであり, それぞれエゾアワビ, *Tegula* spp. の幼生出現に対応している。8月~9月の最大有義波高は台風18号が北上し三陸沿岸に低気圧が接近した9月23日5時に454cmが観測された。9月24日~27日の採集時にエゾアワビを始め *Tegula* spp., ムラサキイン

コガイの大量出現が認められた。この年の産卵期間中は低気圧の接近のみであったが, 産卵期終了後の10月28日に573cmの有義波高があり残存卵の放出が完了したと考えられる。

貝殻コレクターにおける着底稚仔の出現状況は前半期の8月17日~20日にエゾアワビ8個体 (369±42μm), *Tegula* spp. 67個体と多く出現した。その後9月21日~27日の設置期間でエゾアワビ57個体 (339±23μm), *Tegula* spp. 82個体でこの年の最多出現量となり, エゾアワビの主産卵が9月22日~23日に起きたことが裏づけられた。

2000年: 月平均水温は8月22.53℃, 9月22.73℃であり, 平年値よりそれぞれ1.66℃, 1.81℃高く1999年同様に高水温で推移した。

産卵期前半で有義波高の高いのは台風9号の影響で8月18日にこの年の産卵期間中で最大値の439cmが記録され, その他8月13日315cmにおいてそれぞれエゾアワビ, *Tegula* spp. の幼生出現が対応している。その後, 9月3日355cm, 9月12日279cmであったが, 特に幼生出現の対応はなかった。この年の主産卵は台風17号が三陸沖を通過した9月18日に起こり有義波高は377cmであった。台風通過後9月19日~22日の採集時にエゾアワビを始め *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. の大量出現が認められた。

貝殻コレクターにおける着底稚仔の出現状況は8月中旬の設置コレクターは台風で破損流出し回収不能のためデータが得られなかった。9月主産卵時の貝殻コレクターにおける着底稚仔の出現状況は, 9月19日~22日の設置期間でエゾアワビ44個体 (300±11μm), *Tegula* spp. 52個体, 9月19日~25日の設置期間でエゾアワビ128個体 (447±20μm), *Tegula* spp. 2個体, 9月22日~25日の設置期間でエゾアワビ23個体 (427±27μm), *Tegula* spp. 1個体となった。よって, 回収時の平均殻長が9月19日設置区で447μm, 9月22日設置区で427μmと20μmの差があることから浮遊幼生群は設置1日前の21日に着底開始したことが考えられ, このことは9月22日回収区の平均殻長が300μmであることとも矛盾しない。いずれにしてもこの年のエゾアワビの着底ピークは9月21日~22日, さらに産卵ピークは9月18日前後であったことが裏づけられた。

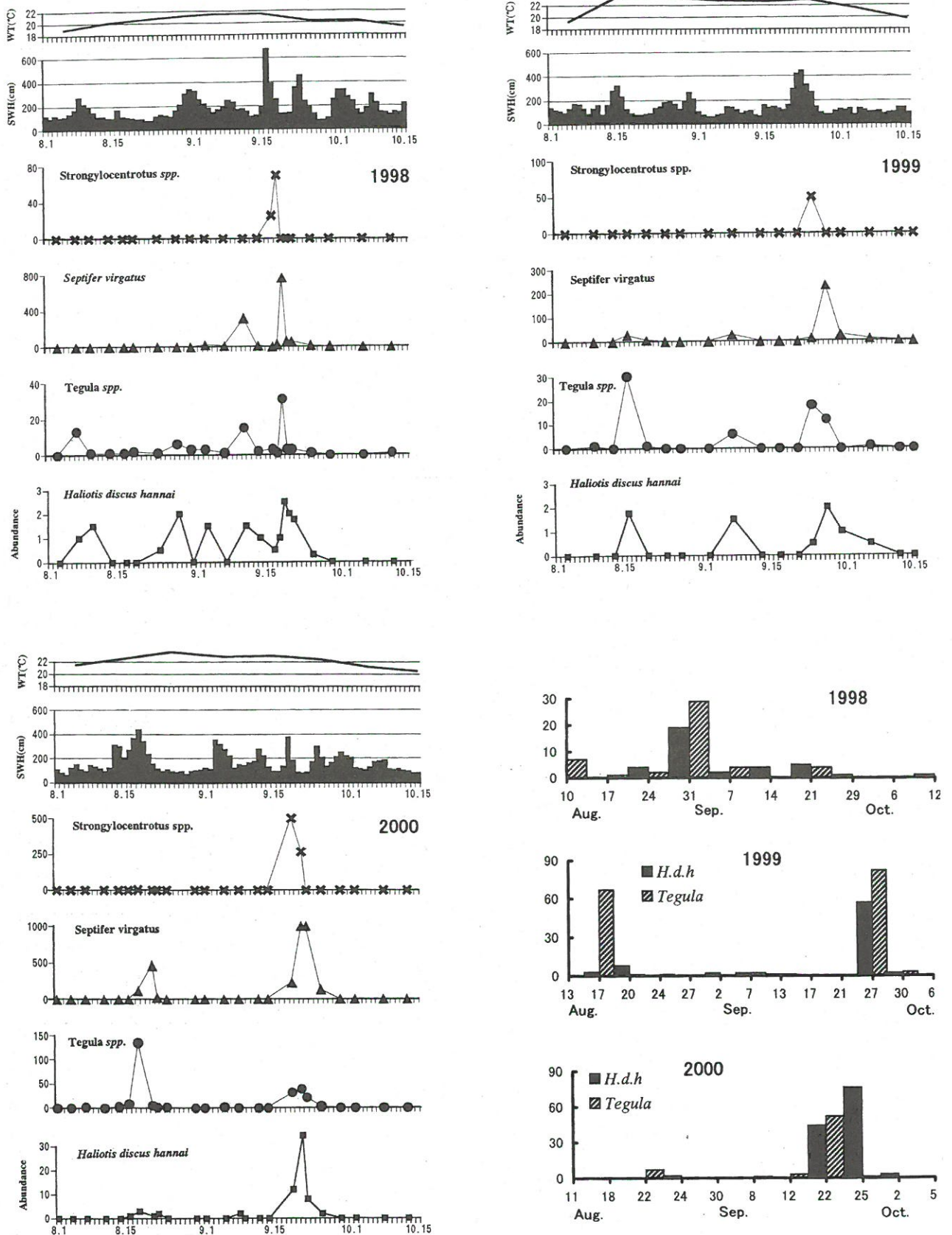


Fig.2 Time series of sea water temperature, mean daily significant wave heights, larval abundance(mean numbers haul⁻¹) of *Haliotis discus hannai*, *Tegula* spp., *Septifer virgatus* and *Strongylocentrotus* spp. Abundance of settled spats of *Haliotis discus hannai* and *Tegula* spp. at each set intervals on shell-collector (lower right).

2 浮遊幼生の特異的な出現

上記3年間の中で特異的な出現が認められた1998年8月下旬と2000年9月中旬の観測結果についてさらに検討してみる。

ケース1：1998年8月下旬波浪に対応しない浮遊幼生の高密度出現が観察された。すなわち、8月24日設置、31日回収の貝殻コレクターにはこの年最高値の19個体（殻長 $336 \pm 35 \mu\text{m}$ ）の着底稚仔量となり、旬平均水温は 20°C 前後であることから、主産卵日は8月20日以降にあったと推定される。気仙沼湾口域のモニタリング結果でも8月24日～26日にエゾアワビ浮遊幼生が $33 \sim 118$ 個体/ m^3 の高密度で出現が観察されている⁵⁾。

この大量出現の産卵日と考えられる8月20日～26日における有義波高の日別平均値は8月20日88cm, 21日82cm, 22日67cm, 23日71cm, 24日84cm, 25日116cm, 26日104cmであり、海面は連日静穏な風ぎ状態にあった。

近接する江ノ島の1時間毎の水温塩分記録から8月20日～27日の表面水温の日間較差（範囲）をみると、8月20日天候曇晴 1.21°C ($21.01^\circ\text{C} \sim 19.80^\circ\text{C}$)、21日晴曇 1.17°C ($21.31^\circ\text{C} \sim 20.14^\circ\text{C}$)、22日曇晴 1.07°C ($20.68^\circ\text{C} \sim 19.61^\circ\text{C}$)、23日曇晴 0.82°C ($20.34^\circ\text{C} \sim 19.52^\circ\text{C}$)、24日曇晴 1.30°C ($21.15^\circ\text{C} \sim 19.85^\circ\text{C}$)、25日曇晴 1.19°C ($21.12^\circ\text{C} \sim 19.93^\circ\text{C}$)、26日曇雨 0.62°C ($20.63^\circ\text{C} \sim 20.01^\circ\text{C}$)と連日 1°C 前後でしかなく特に急激な水温変

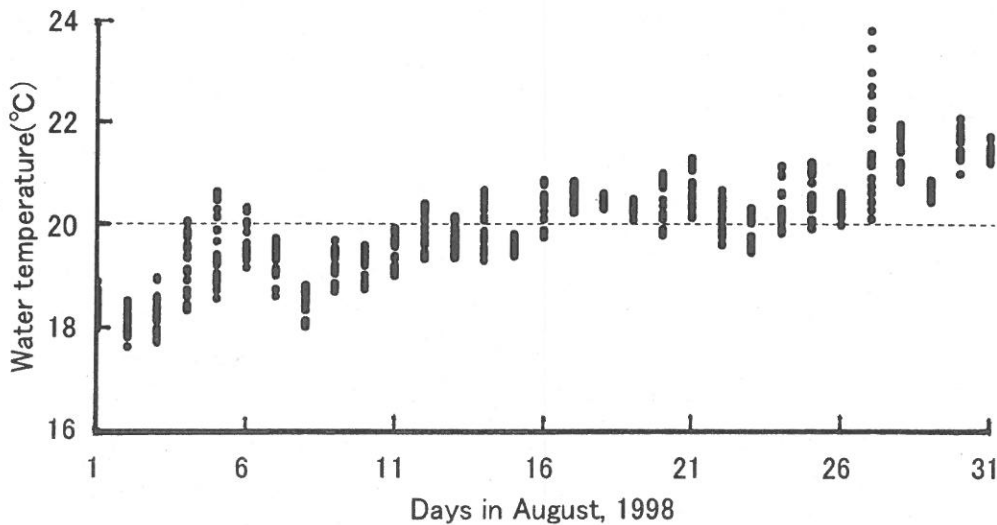


Fig. 3 Time series of daily sea water temperature recorded by 1 hour interval at Enoshima Island in August 1998

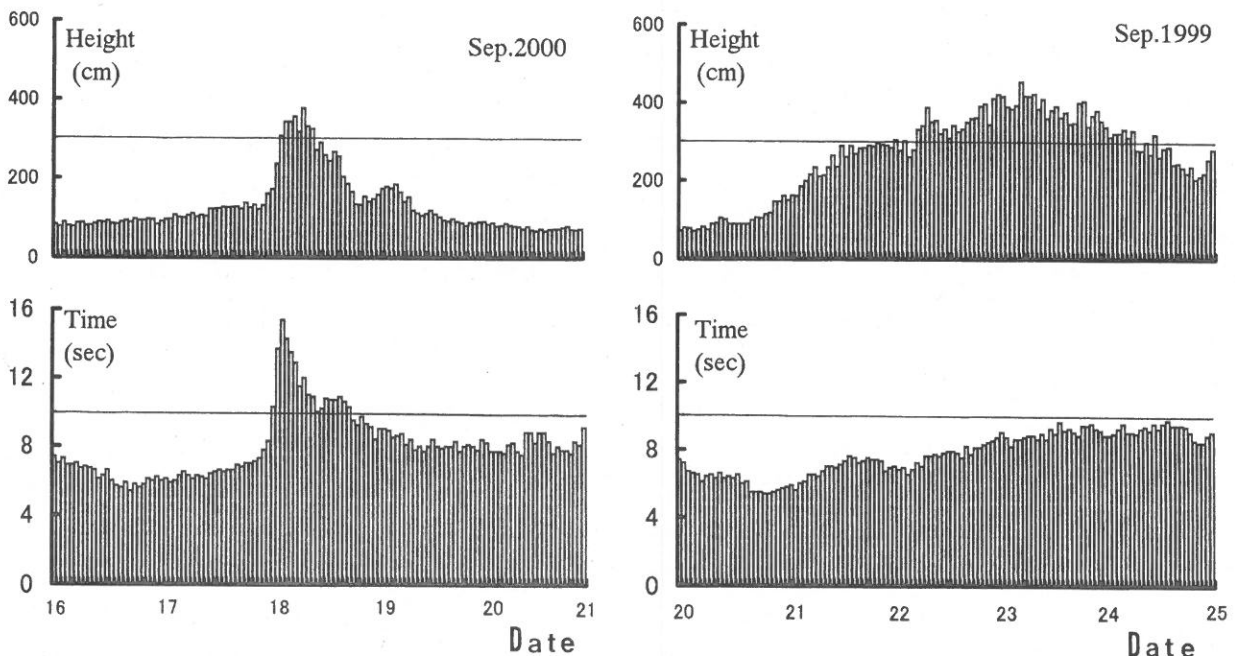


Fig. 4 Comparison between height and time of mean daily significant wave recorded at Enoshima Island within the peak spawning time in 1999 and 2000.

化は認められない (Fig. 3)。なお、8月27日 (天候雨) の水温は前日から当日夕刻まで20℃ 台であったが、その後22℃ ~23℃ に上昇しさらに翌日以降は21℃ 前後で推移し、日間較差では最低20.13℃ ~最高23.81℃ の3.68℃ が記録されたが、この時はすでに放出ピークを過ぎていたとみなされる。

その他、塩分は通常33前後であるが8月16日の日間降水量43mmによりその後19日~21日にかけて25前後まで下降した。なお、この時期の特徴として8月20日は月齢28の大潮満月であった。

したがって、この大量産卵時における環境変化として大潮と低塩分があったが著しい水温変化や波浪は認めにくい。なお、これまで8月静穏時の産卵現象は1993年8月23日にも観察され、今回と2例だけであるが産卵時には大潮であったことは共通する。

ところで、水温、塩分、潮位以外の環境条件として潮流変化が観察され、特に8月24日のプランクトン採集時ではコンブ養殖施設の葉体の傾き状況から湾内への早い入潮が視認された。前述した8月下旬における産卵がこの時の潮流変化によるものか明確なデータはないがこの期間中の特異的な出来事として地元漁業関係者から聞き取った内容を以下に記す。

鮫の浦湾口にあるホヤ延縄養殖施設では早い潮流によりホヤの垂下連が30°以上の角度に巻き上げられ、水揚げ作業に支障をきたしたとのことで、このような現象は5~10年に1回ほど主に8月に起きるとのことであった。また、鮫の浦湾奥にあるカキ延縄養殖施設でもこれまでになかったこととしてアンカーの土俵が早い潮流で引っ張られ垂下施設が数mほど移動したとのことであった。

その他、鮫の浦湾の北方約50kmにある大谷漁業協同組合の定置網では毎日漁模様の他、水温、風向、流向などを記録している。1998年8月~9月の記録帳によると、特記事項として潮流が急に早くなったことが8月22日から26日まで連日記載され、その後9月上旬まで間欠的に早い潮回りのあったことが記録されている。流向について主に北流、南流が交互に見られるが、やや北流が卓越していた。入網魚種についてはサバを主にその他イワシ、スルメイカなどであるが特にその期間内のみの組成変化は認められなかった。

このことに関連し、エゾアワビ同様原始腹足類のサザエでは天然産卵時に急激な水温変化と同時に急潮現象と思われる沿岸流速の増大が伊豆半島で観察されている⁶⁾。急潮は突発的な強い流れや沿岸水温の上昇を伴い

気象でいう前線通過と同様な現象として相模湾沿岸では古くから知られ、黒潮変動に伴う暖水流入により発生する急潮、台風など長周期の波により発生する急潮などのタイプが報告されている⁷⁾。今回8月20日以降の産卵時では急激な潮流変化のあったことが聞き取り調査から推測されたが、この間特に水温の急上昇はなくむしろ産卵終了後の8月27日に3.68℃ の日間較差が認められた程度であった。

いずれにしてもエゾアワビの8月期間中における産卵特性の実態は前期発生群の由来としてその後の成長も早く資源加入には重要と考えられることから、今後も産卵刺激に関与する多様な環境要因について検討していく課題であろう。

ケース2：エゾアワビの産卵時期や規模は台風の接近時期や頻度などの組み合わせにより変化し、産卵と有義波高との対応は相対的な関係とされるが⁴⁾、今回大量出現が認められた2000年9月中旬の特徴について1999年の場合と比較する。

2000年の場合は台風17号が三陸沖を通過した9月18日に有義波高377cm (最大波高617cm)、有義波高の周期15.4秒であり、その後エゾアワビを始め *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. の大量出現が認められ、この時のモニタリング結果は前述のとおり例年と比べ非常に高い分布密度となった。

一方、1999年の場合は大量出現時期である9月23日は低気圧通過で有義波高454cm (最大波高739cm) と2000年時より高いがこの時の有義波高の周期は8.6秒と短く波浪の特性は異なった。

これら大量産卵の刺激となった波浪の特性として2000年の場合9月16日~20日の間で有義波高3m以上の持続時間は8時間、周期10秒以上の有義波高の持続時間は18時間であるのに対し、1999年の場合9月20日~24日の間で有義波高3m以上の持続時間は54時間、周期10秒以上の有義波高の持続時間は0であった (Fig. 4)。

よって、2000年9月18日前後の産卵を引き起こした波浪は1999年の場合と比較し、より長い波長のウネリが沿岸部に短時間押し寄せた形であり、そのことが放出後の受精卵や浮遊幼生の分散を一定距離内の沿岸域に滞留させ、結果的に高密度の幼生群が分布したことにつながったと推測される。なお、出現密度の多寡は相対的にその前に大量産卵がなく抱卵量が多い状態が前提になっているが、2000年の場合は1999年より産卵前半の8月にはむしろ波高の高い日が多く認められる。

3 浮遊幼生の分布特性

10²~10³mスケールの調査海域で岸から沖方向における浮遊幼生の分布パターンについて以下の観測結果を得た。

ケース3：1999年8月14日夜の低気圧通過により同15日4時に有義波高322cm（最大波高571cm）を記録した。その後17日 St.2地先において距岸50m, 150m, 250m, 350m, 横100mグリッドで浮遊幼生の分布状況をみた (Fig. 5)。岸から沖方向への分布密度の差を見るため、岸に並行する各ライン間の平均密度を比較した。最も岸側の距岸50mの採集ライン（水深10m線）におけるエゾアワビの分布密度は4.6±3.7個体/m²であり、その沖側ライン間の分布密度を比較したところ距岸150mライン間とでは有意差はないが、さらに沖側の250mと350mライン間では有意差 (p<0.1~0.01) が認められた。

Tegula spp. についても同様に最も岸側におけるラインの分布密度は53±23個体/m²であり、その沖側ライン間の分布密度を比較するとどのラインに対しても有意差 (p<0.001) が認められた。ムラサキインコガイについ

ては最も岸側で69±33個体/m²、沖側で46±26個体/m²であり各ライン間の差が認められず混在傾向にあった。これら種による分布の差異については産卵時の流動条件、受精卵の拡散範囲、浮遊幼生の垂直分布などが関与していると考えられる。

よって、このケースでは産卵2~3日経過後であるがエゾアワビ、*Tegula* spp. 浮遊幼生の分布密度はそれぞれ距岸150m以内、50m以内に特異的に集中しており、ごく岸側域に両種浮遊幼生が分布していたことが明らかである。

ケース4：2000年8月13日台風9号の影響で波立ちその後低気圧通過により同18日19時に有義波高439cm（最大波高688cm）を記録した。前年と同一の時期、地点、方法で採集した2000年8月21日の分布事例を Fig. 6 に示したが、各種幼生ともライン間に差は認められず広範囲に分散していると考えられた。波浪の特性を比較すると、1999年は8月15日早朝に2時間程有義波高3m以上になったが、2000年の場合は8月18日を中心に計37時間有義波高3m以上であり、海水攪拌に起因する産卵後の卵、

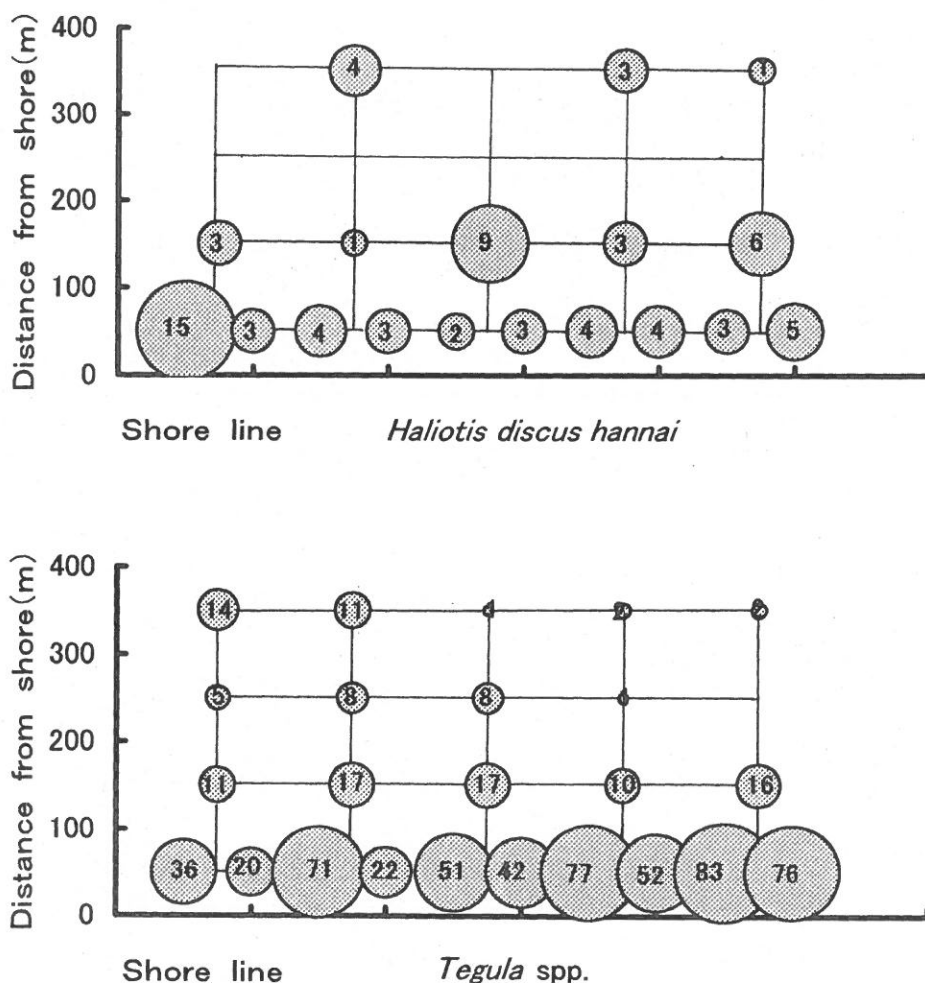


Fig. 5 Horizontal distribution of larvae of *Haliotis discus hannai* and *Tegula* spp. collected near Site 2 at 17 August 1999

幼生の拡散は2000年の方が大きかったと考えられる。

よって、両年の産卵規模については地点ごとの単位密度で比較すると1999年時が見かけ上大きくなることもあり得るが、分散範囲を考慮し産卵総量を推測する必要がある。例えば最岸ラインにおけるエゾアワビの平均分布密度をみると、前者で 4.6 ± 3.7 個体/ m^2 、後者で 1.2 ± 1.3 個体/ m^2 となり、有義波高の刺激が小さかった前者の方が単位密度は高くなる。しかし、産卵規模は放出卵の総量であり岸～沖までの拡散範囲を考慮する必要があることから、浮遊幼生のモニタリングから産卵規模を論ずる場合は幼生の分散範囲に留意する必要がある。

ケース5：これらと同じ解釈でさらに大きなスケールでの分布パターンが2000年9月21日の観測事例である。2000年9月18日の産卵時における幼生の分布状況として2000年9月21日の距岸1kmまでの水平分布と断面パターンの事例をFig. 7に示した。すなわち、Fig. 6のとおり8月18日（有義波高439cm）に対応した相当量の産卵があったにもかかわらず、その後9月18日（有義波高377cm）にも大きな産卵があり、Fig. 5, 6と同じ地先で実施した9月21日の幼生の分布密度は最岸ラインで 77 ± 26 個体/ m^2 、

1km沖のラインで 43 ± 13 個体/ m^2 、平均 69 ± 37 個体/ m^2 と例年の10倍以上で非常に高密度の分布が広範囲に認められた。アワビ幼生は距岸150mラインで最高194個体/ m^2 の分布密度であり、岸側に多い傾向はあるが、距岸1kmラインでも29~62個体/ m^2 出現しており、例年にない高密度の分布が広範囲に認められた。

Tegula spp. 幼生は距岸50mラインで最高242個体/ m^2 の分布が認められ、アワビ同様岸側に多い傾向はあるが、距岸1kmラインでも28~144個体/ m^2 出現し、広範囲に分布が認められた。なお、*Tegula* spp. 幼生の全地点平均で 75 ± 62 個体/ m^2 であり、その主群は8月にすでに出現した。ムラサキイソコガイは全地点平均で $9,490 \pm 5,450$ 個体/ m^2 と非常に多量であった。

この原因として、波の周期が長いことから幼生の分散範囲がこれまで他の大きな台風等による場合と異なり、岸沿いに濃密な群として残存または滞留したことが考えられる。

このように例年にない高密度で出現した理由は母貝量の増大もあるが、この年だけ特に多い訳ではなかったこと、相対的産卵刺激のタイミング、海水の拡散度合いな

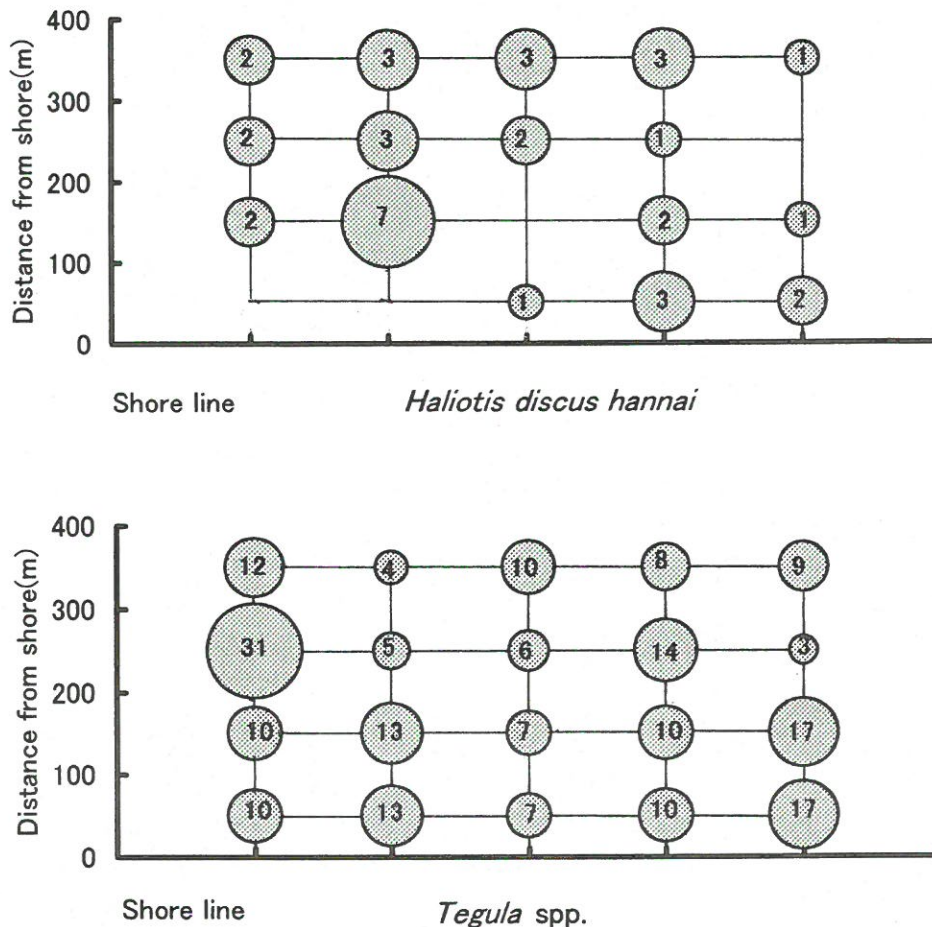


Fig. 6 Horizontal distribution of larvae of *Haliotis discus hannai* and *Tegula* spp. collected near Site 2 at 21 August 2000

ど分散範囲の限定が主因と考えられるが明らかではない。しかし、概略的に見ると1 km以上の沖側水域にも分布するが主体は岸側の数百m範囲内に多い傾向は確かである。

ケース6：岸側域における幼生の残存パターンとして2002年10月6日鯨の浦湾北方50kmに位置する大谷地先の距岸1 kmまでの水平分布と断面分布の事例を Fig. 8 に示す。産卵は台風21号が三陸沿岸を北上し10月2日1時に有義波高639cm（最大波高1,158cm）に起因した。産卵期後半のためエゾアワビ幼生は散在的で全体的に少ない出現 (0.89 ± 1.01 個体/m³) であったが距岸300m範囲内

に分布している傾向が見られた。

Tegula spp. 幼生はアワビ幼生より多く出現し (9.74 ± 16.45 個体/m³) その分布範囲は距岸300m範囲内に限られていた。ムラサキインコガイ幼生は全地点平均で $1,672 \pm 2,586$ 個体/m³ と非常に多量であり、その分布は *Tegula* spp. 同様に岸側に集中した分布パターンが明らかに認められた。これら岸側と沖側の分布状況より岸側では沖側より海水交換が小さいことから沖では海水の拡散作用により幼生群が流出し、一方岸側では幼生群が残存して密度差が生じると推測された。

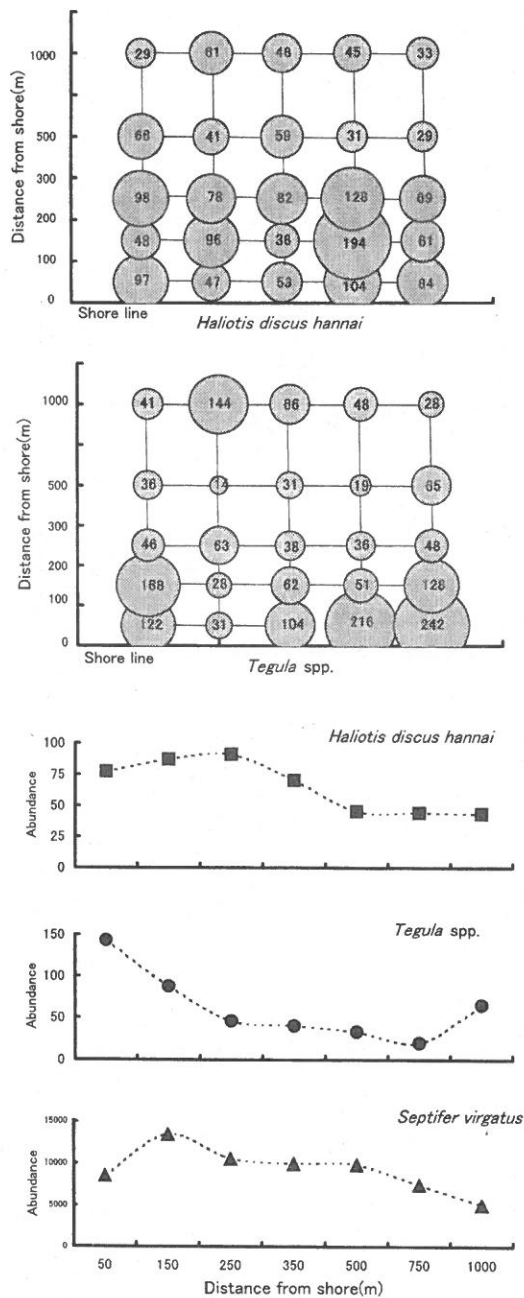


Fig.7 Horizontal and vertical distribution of larvae of *Haliotis discus hannai*, *Tegula* spp., *Septifer virgatus* collected near Site 2 at 21 September 2000

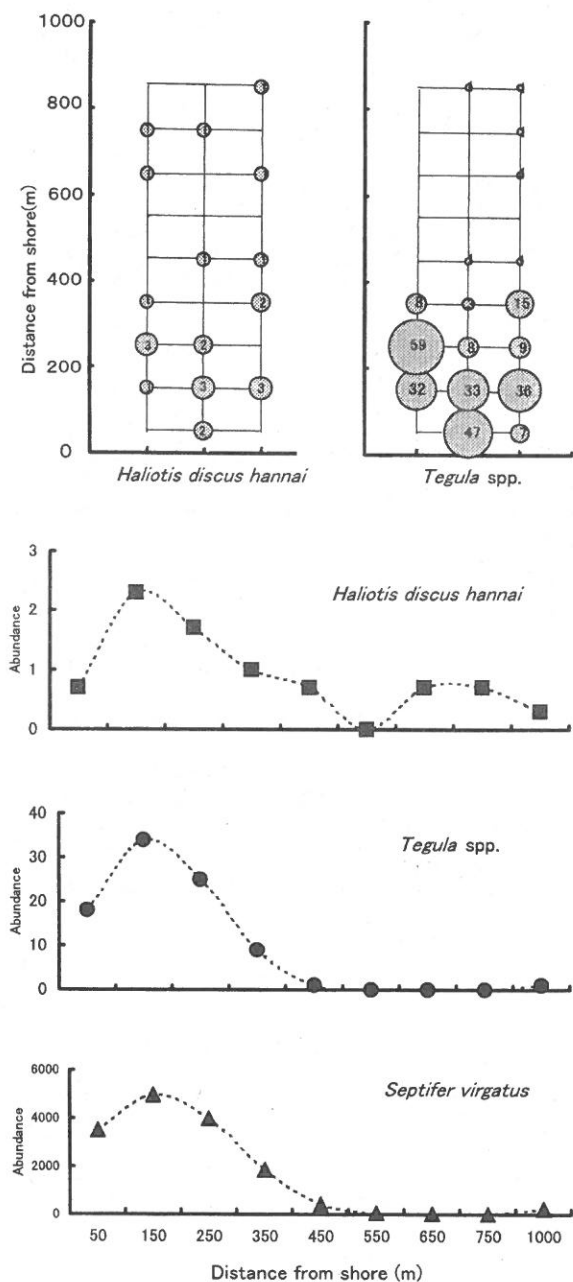


Fig.8 Horizontal and vertical distribution of larvae of *Haliotis discus hannai*, *Tegula* spp., *Septifer virgatus* collected at 6 October 2002

4 浮遊幼生と着底稚仔の分布位置の整合

岸に近接した10~10²mスケールの調査海域における浮遊幼生および着底稚仔の分布パターンについて以下の観測結果を得た。

ケース7：1998年9月22日 (St.3), 同29日 (St.2, 3), 1999年9月28日 (St.2, 3)における着底稚仔の分布状況を調査したが、各調査時の結果は岸から沖へそれぞれ類似するので地点ごとに一括平均化して示した (Fig. 9)。図中、Aはアラメ優占域 (Algae zone), Cは無節サンゴモ優占域 (Coralline zone), BはAからCへの境界域 (Boundary zone) として植生および海底プロフィールを示した。

エゾアワビ着底稚仔は St.2では調査した離岸距離130

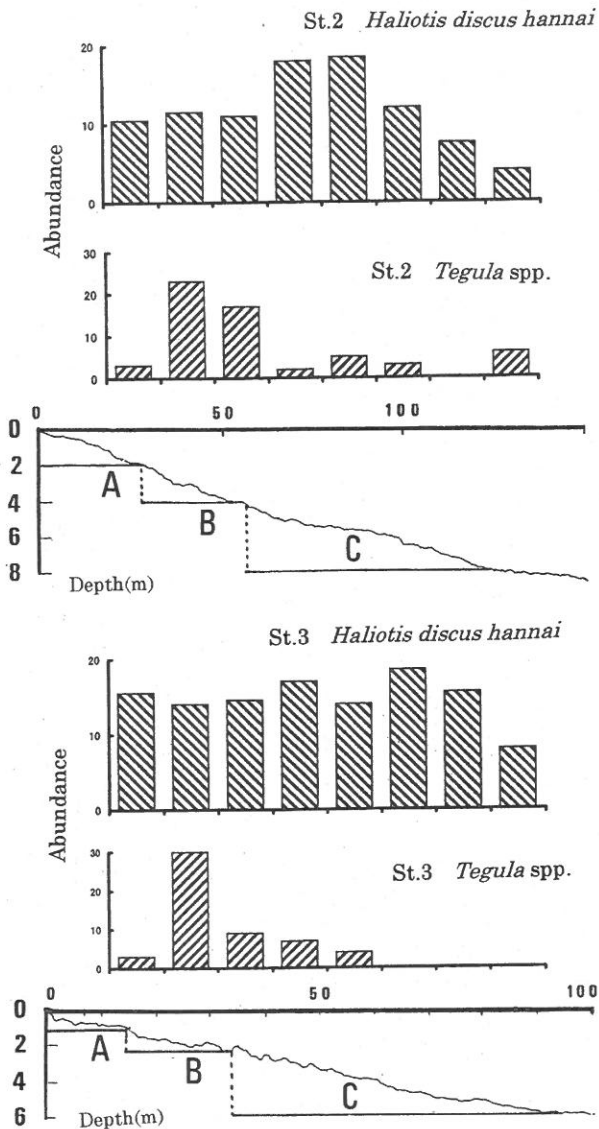


Fig. 9 Vertical distribution of settled spat's density of *Haliotis discus hannai* and *Tegula* spp. in numbers/m² along a transect normal to the coast in Site 2 and 3, with depth profile of the bottom and horizontal extent of Zones A, B and C.

m範囲の中で距岸60~80m (水深4~5m), St.3では調査した離岸距離90m範囲の中では岸直下から距岸80m (水深1~5m) までそれぞれ多く出現した。

Tegula spp. は両地点ともエゾアワビの着底位置よりやや岸側に多く分布し、エゾアワビの場合とは異なる浮遊幼生の接岸行動が示唆された。すなわち、*Tegula* spp. の垂直分布は表層に集中することからエゾアワビに比較しより岸側に輸送される頻度が高いと考えられる。

幼生分布調査は1998年の9月16日台風通過後の9月18日~21日に毎日実施したが、それ程多量の分布は確認されず散発的で不調であった。この台風は仙台通過で有義波高679cm (最大波高1,004cm) であり、攪乱が十分すぎたためか、幼生は分散している傾向がある。例えば、St.2では9月19日の幼生分布は沖側に多く分散傾向が大きかったが、翌9月20日最岸の水深3m地点でエゾアワビは認められなかったが、*Tegula* spp. は78個体/m², ムラサキイソコは2,260個体/m²と沖側に比べて顕著な増

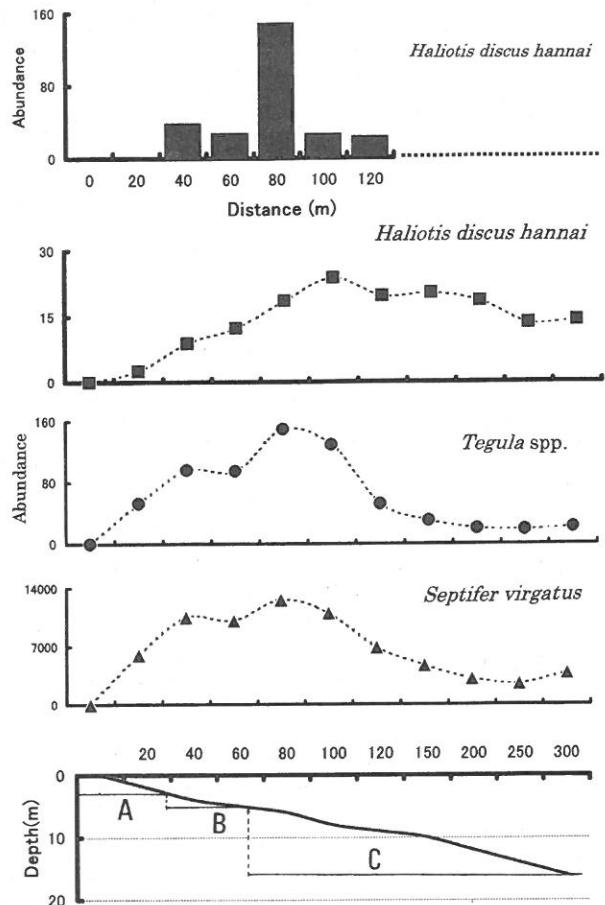


Fig. 10 Vertical distribution of larval density of *Haliotis discus hannai*, *Tegula* spp, *Septifer virgatus* in numbers/m² at 22 September and settled spat's density of *Haliotis discus hannai* in numbers/m² at 29 September and 2 October 2000 along a transect normal to the coast in Site 2, with depth profile and zones as in Figure 9.

集が認められた。同様に St.3でも沖側ではアワビの幼生が3~4個体/m³認められたが、*Tegula* spp.はその岸側に多く34個体/m³が出現した。

浮遊幼生と着底稚仔との分布位置の整合はこの St.2, St.3では浮遊幼生のデータが少なく不明確であるが、それぞれ地先によりピークの位置は異なるものの岸から沖への着底稚仔の出現は規則的な配列を示す傾向が認められた。

ケース8：2000年9月22日 St.2に出現した浮遊幼生と9月29日、10月2日に採集したサンゴモ玉石における着底稚仔の分布の整合状態を Fig.10に示した。St.2におけるエゾアワビ浮遊幼生の出現は調査した離岸距離300mまでの間に分布し、特に距岸100m付近に24個体/m³の最高密度であった。その他の幼生について *Tegula* spp. は118個体/m³、ムラサキイコは8,400個体/m³共に距岸80m付近であり分布範囲はエゾアワビに比べやや岸寄りに多く出現したとはいえ、一定の位置に分布している傾向が認められた。

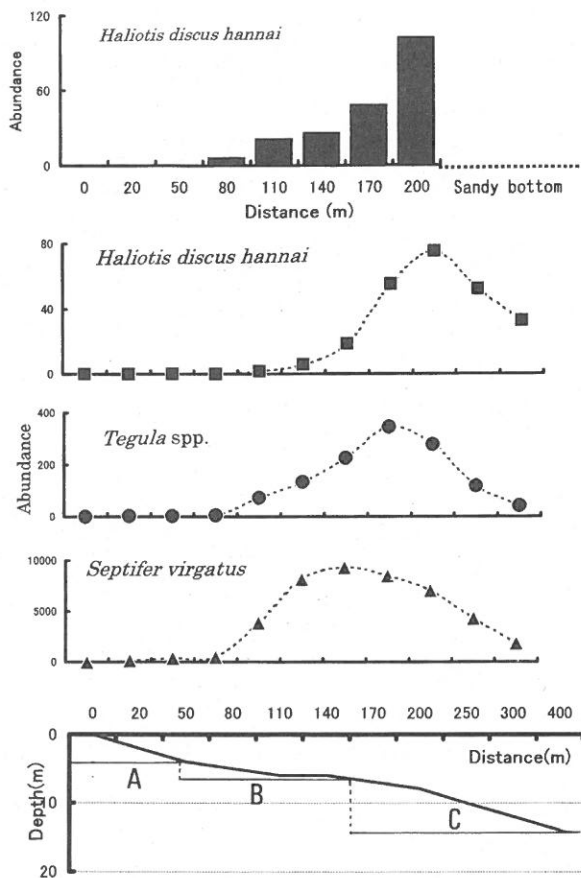


Fig.11 Vertical distribution of larval density of *Haliotis discus hannai*, *Tegula* spp, *Septifer virgatus* in numbers/m³ at 22 September and settled spat's density of *Haliotis discus hannai* in numbers/m² at 5 October 2000 along a transect normal to the coast in Site 1, with depth profile and zones as in Figure 9.

一方、一定の距離間隔で採集した天然玉石における着底稚仔の分布は調査した離岸距離130m範囲内では幼生分布に対応するように距岸40m付近から認められ始め、距岸80m付近(水深5m)で148個体/m²の最高密度が認められた。同様に実施した1998年、1999年の平均値で示した Fig. 9においても距岸60~80m(水深4~5m)にサンゴモ玉石に着底稚仔のピークが確認されており、当地先では毎年一定してこの水深帯に着底ゾーンが形成されることが明らかになった。

ケース9：2000年9月22日 St.1に出現した浮遊幼生と10月5日に採集したサンゴモ玉石における着底稚仔の分布の整合状態を Fig.11に示した。

St.1におけるエゾアワビ幼生の出現は離岸距離150mから300mまでの間に多く分布し、特に距岸200m付近に69個体/m³の最高密度であった。他の幼生については *Tegula* spp. は距岸180mで296個体/m³、ムラサキイコは距岸150m付近で6,800個体/m³ありエゾアワビに比べやや岸寄りに多く出現した。なお、St.1で1998年9月20日に実施したプランクトン採集結果でもこの St.1小湾の入り口付近に当たる位置に多く、一方 *Tegula* spp., ムラサキイコはやや岸側に多い傾向が今回同様に認められた。

一方、一定の距離間隔で採集した天然玉石における着底稚仔の分布は調査した離岸距離200m範囲内では幼生分布に対応するように距岸100m付近から認められ始め、距岸200m付近(水深7m)で102個体/m²の最高密度が認められた。なお、その沖側は砂質域になるため玉石は採集しなかった。

以上、St.1, St.2共に浮遊幼生の分布は岸から一定距離離れた位置に形成され、浮遊幼生の着底位置は海底のサンゴモ玉石に着底した浮遊幼生量としても裏づけられた。前回1997年に同様に実施したエゾアワビ着底域の調査結果から着底位置のピークは St.1では距岸150m~200m(水深5~7m)、St.2では距岸40m~60m(水深3~5m)に認められた。今回2000年のデータではボーダ浜では距岸200m付近(水深7m)、サキカマでは距岸80m(水深5m)付近に認められ、やや沖側にシフトしたが着底ゾーンとしては明確に識別される。

したがって、浮遊幼生の蟄集するゾーンが形成される立地条件として幼生垂直分布などの生物学的、波、流れなど物理的な輸送着底機構が存在すると考えられる。例えば、これら3地点における着底稚仔の分布位置を比較すると、外海の St.1では沖側、湾口の St.2では相対的に岸側、さらに湾内の St.3ではより岸側に位置する傾向が明

らからであり、各地先ではそれぞれ固有の立地条件により浮遊幼生の接岸輸送機構があると推測される。

St.1~St.3の立地条件の差異は具体的には海底勾配や外海への開放度合いすなわち海水交換や波当たりの強弱であり、そのことが浮遊幼生の輸送、接岸条件として着底位置の違いをもたらしていると考えられる。さらに、これら3地点における浮遊幼生量または着底稚仔量を比較すると、海水交換の良い外海のSt.1では幼生通過量も

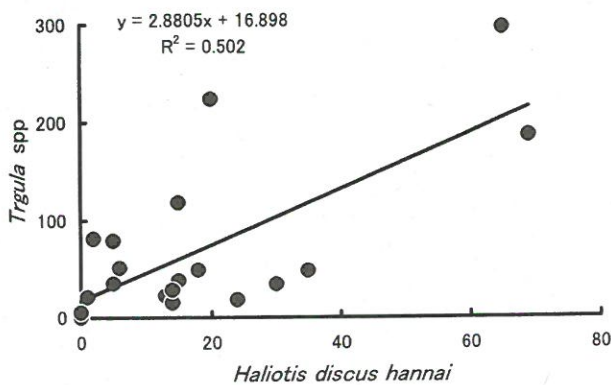


Fig. 12 Plot of density of *Haliotis* larvae v. *Tegula* larvae collected by plankton samples from Site 1 and 2 at 22 September 2000.

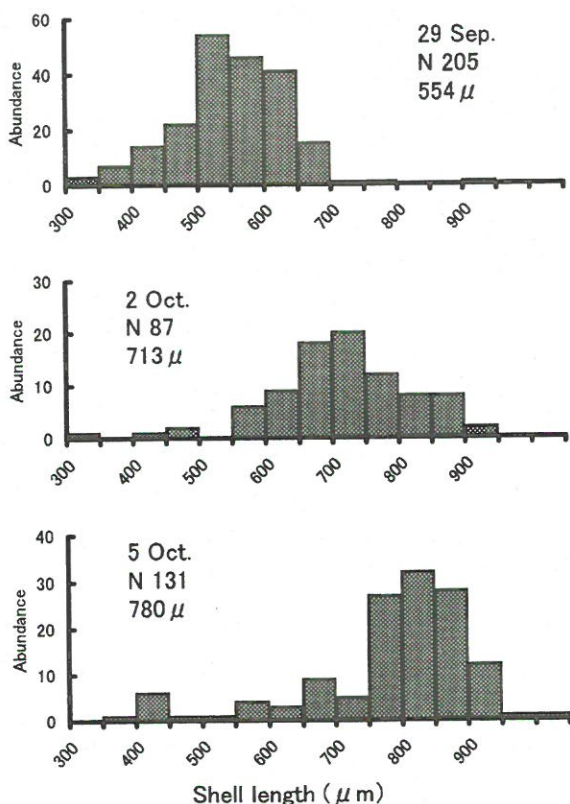


Fig. 13 Length-frequency distributions of settled spat's density of *Haliotis discus hannai* on natural boulders at successive time periods after settlement on about 22 September 2000.

多いことから最も多く出現し、湾口のSt.2および湾内のSt.3に向かい次第に減少していく傾向が認められる。

前述したプランクトン採集調査において2000年9月22日St.1および9月22日St.2に出現したエゾアワビと *Tegula* spp. 浮遊幼生の分布量に一定の相関が認められた (Fig. 12)。よって、産卵後4日を経過し海水混合も進行していると思われるが、両種は同じ水塊に分布している傾向が高いと考えられる。両種の垂直分布特性は異なるが⁴⁾、岸~沖への分布パターンが類似することから採集数の少ないエゾアワビ浮遊幼生の挙動を調査する際に *Tegula* spp. 浮遊幼生は有効な指標種になると推測される。

着底稚仔の殻長組成は1999年9月27日回収した貝殻コレクターで339±23μm, 1日後28日の玉石付着稚仔で382±47μmなので日間成長は43μmと算出される。2000年9月12日設置で22日回収の原盤では殻長300±11μmが44個体, 9月19日設置で25日回収の原盤の殻長は447±20μmが128個体であったことから、着底主群の着底日は9月22日と推定される。その後、玉石への着底群の平均殻長は9月29日554μm, 10月2日713μm, 10月5日780μmであり、日間成長はそれぞれ39μm, 53μm, 22μmであり、平均すると38μmとなった (Fig. 13)。

ところで、着底終了後に行う9月下旬から10月上旬の集中的な天然玉石調査ではその年の早期産卵群と考えられる大型稚仔が採集されるが、それらの内殻長3mm以上の個体について記すと、1998年9月29日3.3mm, 3.8mm, 4.5mm, 5.6mm, 1999年9月28日3.0mm, 3.4mm, 3.6mm, 3.8mm, 4.1mm, 4.6mm, 5.1mm, 2000年9月29日4.6mm, 4.8mm, 10月2日4.8mm, 5.2mm, 10月5日3.5mmである。これら断片的な大型稚仔の出現状況から8月前半の早期着底群の存在とその後の加入への高い寄与がうかがわれるが、これら早期産卵群の着底、成長、減耗に関する見解は乏しくさらに調査が必要である。

5 今後への展開

水産資源の年変動に対応するには長年にわたる親世代と子世代の資源量解析から導かれた再生産モデルが管理指標となる¹⁾。しかし、アワビ資源のいわゆる親子関係に関する報告はこれまでのところきわめて乏しく⁸⁾、資源変動のメカニズムを理解するには先ず初期生活史の実態として浮遊幼生の出現から着底稚仔の分布まで発生量が決められていく時空プロセスを野外調査で具現化している段階にある⁹⁾。さらに、浮遊幼生の着底後における成長、減耗など稚仔期の発生経過をいろいろなケースで

比較検討することにより本種の発生増大に必要な環境特性を明らかにし、それら量的解析から資源変動に関する認識が高まると考えられる。これまでエゾアワビ再生産初期過程として産卵開始から浮遊幼生が着底稚仔として加入に至るまでの調査事例について列挙してきたが、今後さらに研究が必要と考えられる問題点をいくつか整理した。

浮遊幼生の出現特性

産卵開始のモニタリング情報はその後の浮遊幼生の分布調査を集中的に実施する上で不可欠であり、さらに浮遊幼生の着底後におけるさまざまな減耗調査を開始するタイミング決定にも重要である。これまでは低気圧などで惹起される波浪変化という外観として視認可能な環境変化で産卵開始が把握されたが、1993年、1998年8月下旬の幼生出現事例で示したとおり、外観的な環境変化では判断できない産卵開始が認められた。すなわち、一般的に産卵刺激とされる水温変化は気象、海況など海水環境の変化の結果として観測されるが、今回は水温や波浪の変化を伴わない条件下で産卵が認められ、聞き取り結果から推測された急潮現象的な環境変化がエゾアワビの産卵開始にどのように関与するのか、特に8月産卵は早期着底群として資源加入に重要と考えられることから、今後ともより精密なモニタリングが必要となる。

急潮のように外観からは静穏な風ぎ状態に近い場合の産卵開始の意義として、急潮の場合は台風時と比べそれ程大きな流動環境の拡散はないと考えられ、産卵後の幼生の輸送過程で着底範囲が限定されることから再生産様式のⅠ型（大規模産卵・広域分散型）、Ⅱ型（小規模産卵・地先分散型）に従うと⁹⁾、幼生の残存面では有利と考えられる。なお、この場合は分散範囲が小さいことから浮遊幼生の単位密度は高くなり、モニタリング地点数が岸側に偏在する場合は産卵規模が見かけ上大きくなる恐れがある。

浮遊幼生の分布特性

1999年8月17日（Fig. 5）の幼生分布パターンで示したとおり、エゾアワビおよび挙動の類似する *Tegula* spp. 幼生は距岸150m以内のごく岸近くの範囲に局在していた。一方、2000年8月21日（Fig. 6）の分布事例のとおりに、距岸400mまで一様に近い分布パターンも認められた。前述したとおり産卵刺激となった有義波浪3m以上の持続時間は前者で2時間、後者で37時間であった。このことから産卵後の受精卵の拡散範囲や幼生分布パターンはシケ時海水の攪拌を通じ前者で小さかったのに対し後者では大きくなったと考えられる。これらの事例

比較から分かれるとおりに近接距離内でもこれだけ幼生数の変動があることから、定点モニタリングによる産卵規模の把握には広範囲の出現状況から判断する必要がある。

ところで、2000年9月時（Fig. 7）の浮遊幼生密度が高かったことから沿岸岩礁域への着底直後の稚仔密度は例年になく高かったものと思われ、前述したとおり貝殻原盤コレクターによる着底直後の稚仔量データでもそのことは裏づけられている。同じ調査地点であり、かつ産卵日も同じ9月18日前後であった1997年と2000年の幼生量、稚仔量を比較すると次のようになる。

両年とも調査地先の湾入域入り口付近に幼生は多く出現し、1997年9月21日はSt.1で19個体/m³、St.2で15個体/m³、同22日St.1で14個体/m³、St.2で2個体/m³であった。2000年9月21日はSt.2の地先全体平均値で69±37個体/m³、同22日St.1で81個体/m³、St.2で25個体/m³であり、2000年時の幼生分布密度は1997年時の5倍程度と見込まれる。

1997年St.1のサンゴモ玉石で得られた着底稚仔の生残密度式 $y = 611 e^{-0.124x}$ を用いて2000年の着底稚仔の生残密度を試算すると、St.2では7日経過後の試算値256個体/m³に対し今回の実測値は202個体/m³、同様にSt.1に当てはめると13日間経過後の試算値122個体/m³に対し今回の実測値は102個体/m³となった。

したがって、St.1、St.2共に浮遊幼生量が5倍程度多くてもその後の着底稚仔の生残量を見ると1997年と2000年共にほとんど同じ密度に収束したとみなされる。両年の浮遊幼生量の差を考慮しても着底1～2週間後の着底稚仔の生残量はすでに浮遊幼生の分布量とは相関関係にないことを示しており、浮遊期から着底期への減耗はすでに着底開始直後から大きいことが推測された。

浮遊幼生と着底稚仔における分布位置の整合

いわゆる磯焼け漁場と呼ばれる無節サンゴモ海底は肉食性動物の幼稚仔発生にとってきわめて好条件であり種個体群の補充が最も安定している場とされ¹⁰⁾、そのような場での海藻群落の形成に関する生態生化学的機構の存在が検証されている¹¹⁾。ところで、エゾアワビ浮遊幼生の着底域は無節サンゴモ海底であればどこでも一様に分布するのではなく、アラメなど大型海藻群落の縁辺下限域すなわち無節サンゴモ域への移行水深帯を着底域フロントとする一定離岸距離の水深帯に形成される⁹⁾。Fig. 9, 10, 11で示したとおり、エゾアワビの着底位置は外海のSt.1では距岸200m付近、湾口のSt.2では距岸80m付近、湾内のSt.3では距岸40m付近の無節サンゴモ海底に分布密度のピークがあり、各地先の岸側域における着底

稚仔の分布はそれぞれアラメ下限域に接近していく傾向が認められる。しかし、これら浮遊幼生の着底ゾーンがそのまま着底稚仔の発生ゾーンとして連続的に移行するか否か、すなわちどの水深帯が資源加入群に有効な場となるのかという知見はきわめて乏しくその後の稚仔期の減耗、成長過程を通してさらに検討を重ねる必要がある。

一般的に浮遊幼生の分布位置は気象海況など巨視的な輸送条件により受動的に決定されと考えられるが、浮遊幼生が着底する場合は無節サンゴモの表面基質を能動的に選択することが実験室内、野外観察で確認されている¹²⁾。しかし、現実的に外海のような流動条件の厳しい海底環境下で浮遊幼生が微視的な垂直移動などを通じどこまで基質選択の余地があるか、すなわち浮遊幼生の遊泳探査能力により着底後の減耗、成長など一連の初期発生に適した特定的水深帯を能動的に選択し得るか、それぞれ野外の着底変態期における幼生挙動調査を通し明らかにすべき課題である。

稚仔発生域の場の特性

藻食性動物の稚仔期における着底、発育の場である無節サンゴモ域と若齢期以降に成育の場となるアラメ群落域はエゾアワビの生活領域として相互にそして密接に連結しているが、それぞれの群落の占有規模はその年の海況条件や漁場環境により年変動が大きいと考えられる。浮遊幼生の分布位置が第一義的に輸送条件などで受動的に決められているとすると、その着底域となる直下海底の植生条件はその後の発生量の多寡に対し大きな意味を持つことになる。例えばアラメの優占する水深帯は透明度の良い外海 St.1では深くまで及び、透明度の低い湾内 St.3では相対的に浅い水深帯でとどまっている。それら環境条件の中で特に波浪度合いに着目すると、先ず波当たりは藻食性動物の分布を通じアラメなど藻類の着生・生育に影響を及ぼしその結果無節サンゴモ域は波浪度合いの強い外海域ではより深い沖側水深帯になり、波浪度合いの弱い湾内域では相対的により浅い岸側水深帯まで優占することになり、それぞれ浮遊幼生の着底の場が形成されていると考えられる。さらに、藻類の分布位置に関連し、アラメを中心とした潮下帯海藻群落の帯状構造は海況変動を条件とする遷移の進行退行が示され¹³⁾、その帯状分布は波浪度合いの小さい湾奥から波浪度合いの大きい湾口に向け下位方向に分布を広げることが認められている¹⁴⁾。以上のように再生産過程における海況変動、漁場環境の立地条件などを考慮すると、外海～湾内での稚仔発生量の多寡を支配するのは浮遊幼生分布量のほか、波浪度合いなどアラメ群落に対応した無節サンゴモ

域の優占状況が着底初期の成長、減耗に連動しその後の資源変動をもたらす重要な要因になると推定される。今後ともエゾアワビ、*Strongylocentrotus* spp. など藻食性動物の発生のある無節サンゴモ海底生態系の構造と機能を究明する意義は大きいと考える。

終わりに、野外調査で多大なご協力をいただいた牡鹿町谷川漁業協同組合渥美竹二郎氏に厚くお礼申し上げます。また、岩礁域生態系の研究について貴重なご教示をいただいている東北大学大学院農学研究科水圏生物環境学研究室谷口和也教授、日頃この分野で様々な討議を交わしている気仙沼水産試験場押野明夫副主任研究員に改めて感謝の意を表します。なお、本研究内容については2003年10月中国海洋大学において開催された第5回アワビ国際シンポジウムで報告した。

要約

エゾアワビの再生産過程に関するケース・スタディーとして鮫の浦湾における浮遊幼生、着底稚仔の分布動態をモニタリングした。浮遊幼生の出現分布特性として従来の知見に加え、静穏な海況下における産卵開始（1998年8月下旬）、距岸50～150m以内における幼生滞留（1999年8月中旬）、適度な波高と長い周期の波浪による大量産卵と幼生の高密度分布（2000年9月中旬）などのパターンが得られた。また、浮遊幼生と着底稚仔の分布位置の整合から外海～湾内におけるエゾアワビ発生のある場など再生産に関連した立地条件について考察した。

文 献

- 1) Shepherd, S. A., and Brown, L. D.(1993)What is an abalone stock : implications for the role of refugia in conservation. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 50, 2001-2009
- 2) McShane, P. E. (1995) Recruitment variation in abalone : its importance to fisheries management. Marine and Freshwater Research 46, 555-570
- 3) 關 哲夫・佐野 稔 (1998) エゾアワビ資源管理の考え方. 東北水研研報, 60, 23-40
- 4) 佐々木良 (2001) エゾアワビの加入機構に関する生態学的研究. 宮城水産研報, 1, 1-86
- 5) 押野明夫・日下啓作・小野寺淳一 (2002) エゾアワビ浮遊幼生の出現規模と着底稚貝. 宮城水産研報, 2, 7-15
- 6) 阿井敏夫・野中 忠・佐々木正 (1964) サザエの産卵と発生-産卵行動観察の一例. 日水誌, 30 (10), 828-830
- 7) 岩田静夫 (1998) 沿岸漁場環境. 沿岸環境圏の科学, 平野敏行監修, 東京, フジ・テクノシステム, 333-347
- 8) 小島 博・石橋喜美子 (1985) 徳島県海部郡産クロアワビの資源特性値の推定. 東海水研研報, 118, 11-20
- 9) Ryo Sasaki and Shepherd, S. A.(2001) Ecology and post-settlement survival of the ezo abalone *Haliotis discus hannai*, on Miyagi coasts, Japan. Journal of Shellfish Research, 20(2), 619-626
- 10) 菊地省吾 (1978) 海中造林とその理論. 増殖技術の基礎と理論. 水産学シリーズ23. 恒星社厚生閣, 68-78
- 11) 谷口和也 (1997) 海藻群落の形成に関する生態生化学的研究. 日水誌, 63 (3), 309-312
- 12) Shepherd, S. A., and Daume. S. (1996) Ecology and survival of juvenile abalone in a crustose coralline habitat in South Australia. Watanabe, Y., Yamashita, Y. and Oozeki, Y. eds., Survival Strategy in early life stages of marine resources. 297-313. Rotterdam, A. A. Balkema
- 13) 谷口和也 (1996) 牡鹿半島沿岸における漸深帯海藻群落の一次遷移. 日水誌62 (5), 765-771
- 14) 今野敏徳・泉 伸一・竹内慎太郎 (1985) 漸深帯大型海藻の帯状分布に及ぼす波浪の影響. 東水大研報, 72 (2), 85-97

