

エゾアワビ当歳稚貝量に及ぼす親貝密度の影響

干川 裕^{*1}・高橋和寛^{*1}・津田藤典^{*1}・町口裕二^{*2}

Effect of adult density on 0⁺ juvenile density of the abalone *Haliotis discus hannai*.

Hiroshi HOSHIKAWA^{*1}, Kazuhiro TAKAHASHI^{*1}, Fujinori TSUDA^{*1}
and Yuji MACHIGUCHI^{*2}

Abstract The density of adult abalone, *Haliotis discus hannai*, was enhanced by releasing artificially reared juveniles (ca. shell length 50mm) to clarify the effect of adult density on the amount of recruitment near the study area. Though the density of abalone in 2001 before the release of artificial juveniles was 0.09 individuals/m², the density increased significantly to 1.18 individuals/m² after releasing reared juveniles in 2002 and in 2003. The released abalone matured and spawned normally in each year. The density of 0+ juveniles (SL 4.6-11.6mm) sampled in winter increased significantly from 0.8 individuals/m² in 2002 to 3.5 individuals/m² in 2004.

Key words: Abalone, *Haliotis discus hannai*, adult density, 0⁺ juvenile density

北海道におけるエゾアワビ漁獲量は1970年代以降急速に減少して1984年には100 t以下になり、近年若干増加傾向にあるものの低水準で推移している（干川，2002）。親貝が少なくなると産卵量が減るだけでなく、体外受精を行うアワビ類では個体間距離が増すと受精率も低下してしまうため（Babcock and Keesing, 1999）、稚貝発生量の低下を招いている可能性が考えられる（河村ら，2002）。エゾアワビを含むアワビ類では産卵から幼生の着底までの期間が約1週間と短いため、ホタテガイやウニ類に比べると親貝の近くに幼生が着底する可能性が高いと思われる。

一旦減少したエゾアワビの資源を回復するためには、再生産に有効な水準まで、人為的に親貝密度を高める必要がある。具体的には、禁漁に加えて成貝の移殖や大型人工種苗の放流により短期間に親貝集団を形成することが有効な施策と思われる。しかし、その前提となる親貝密度と加入量との関係は明らかにされていない。

本研究では人工種苗を中間育成した殻長50mmのエゾアワビを用いて親貝の生息密度を人為的に高めることで、周囲に加入する稚貝数が増加するかどうかを野外で定量的に把握することを目的とした。

調査方法

試験場所

試験区は小樽市の西15kmに位置する忍路湾の湾奥部で、海岸線に沿って約150m、沖方向は潮間帯から水深2～4mの転石・玉石帯が砂泥に変わるまでの範囲とした（Fig. 1）。また、地元の漁業者の協力を得て、試験区内でのエゾアワビ漁業は2001年以降禁漁とした。試験区及びその周辺に6本の調査線（L0～5）を配し、下記に述べる親貝及び当歳貝の密度調査を行った。

2005年11月30日受理 (Received: November 30, 2005)

^{*1} 北海道立中央水産試験場 〒046-8555 北海道余市郡余市町浜中町238 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, 238 Hamanaka, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

^{*2} 水産庁増殖推進部 〒100-8907 東京都千代田区霞が関 (Resources Enhancement Promotion Department, Fisheries Agency of Japan, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8907, Japan)

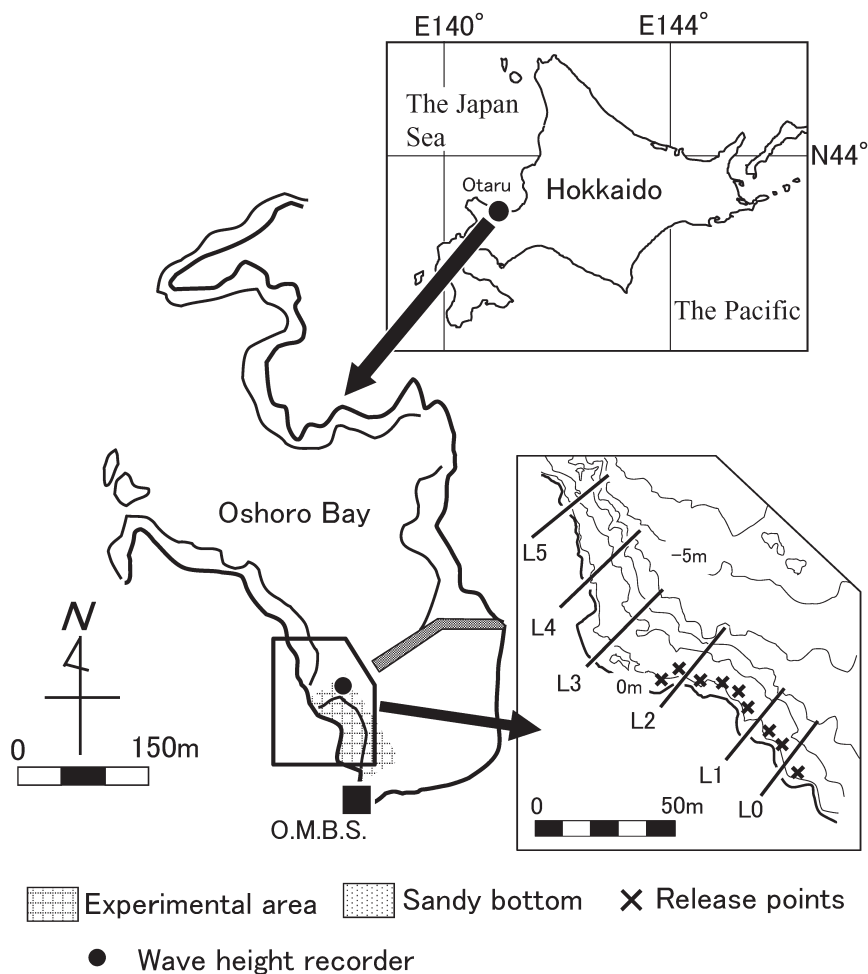


Fig. 1. Map of the field experimental area. O.M.B.S.: Oshoro Marine Biological Station of Hokkaido University.

人工種苗放流及び親貝密度調査

2001年9月14日にはL1, 3, 5に沿って5m毎に1m²内のエゾアワビを採集し、人工種苗放流前のエゾアワビ生息密度を求めた。2002年5月14日に平均殻長51.6mmのエゾアワビ人工種苗5,000個体を、2003年5月19日に平均殻長49.6mmのエゾアワビ人工種苗6,000個体をL0～2の平磯縁部（水深1.2～1.5m）およびL3（2002年のみ水深2m）の海底にSCUBA潜水で放流した。これらの人工種苗は（社）北海道栽培漁業振興公社熊石事業所で生産され、中間育成を経た2歳貝であった。

2002年5月から2004年3月まで、毎月1回、試験区内の調査線L0～3に沿って、両側に1m²枠を連続して置き、中のエゾアワビを放流年別放流貝と天然貝に分けて計数した。この調査では殻長約40mm以上を計数対象とした。

枠取り調査とベルトトランセクト調査の結果を用い

て、人工種苗放流前の2001年と放流後の2002年及び2003年の親貝密度をKruskal Wallis検定とBonferroniの不等式により有意水準を修正したMann-Whitney検定により比較した。

放流貝の成長と成熟

2002年5月15日、6月18日、7月15日、8月19日、9月17日、11月11日、2003年7月8日、8月22日、10月1日、11月20日に試験区内からエゾアワビを各回任意に25～123個体採集し、年別放流貝と天然貝に分けて、殻長をノギス、重量を電子天秤で測定後、菊池・浮（1974）に従って目視による生殖巣指数を観察し再び放流した。また、2003年10月1日には試験区外側のL5付近からも53個体のエゾアワビを採集し同様の測定を行った。

浮遊幼生調査

2002年6月27日から10月3日までと2003年6月2日

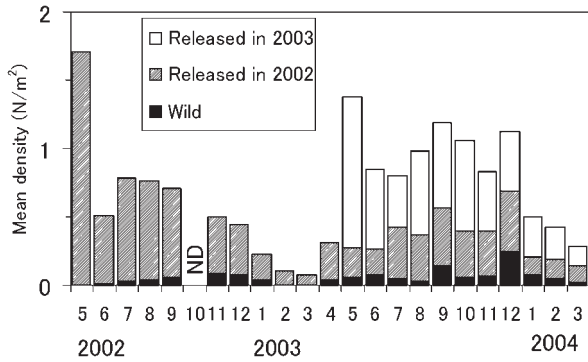


Fig. 2. Mean density of abalone in the experimental area. ND: No Data.

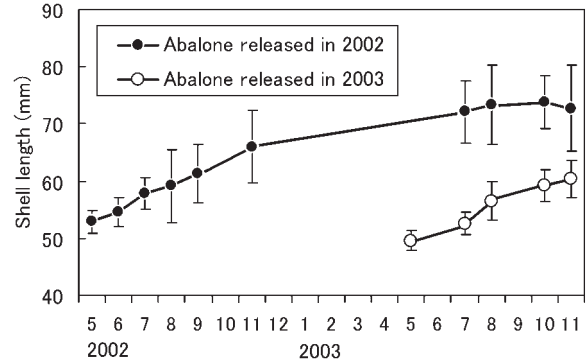


Fig. 4. Growth of released abalone. Vertical bars show standard deviation.

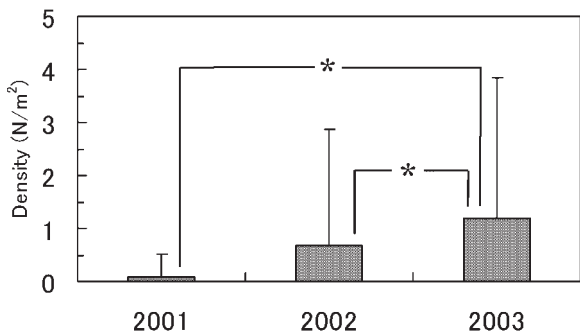


Fig. 3. Adult density of abalone on September. Vertical bars show standard deviation. *: Significant difference ($p < 0.05$).

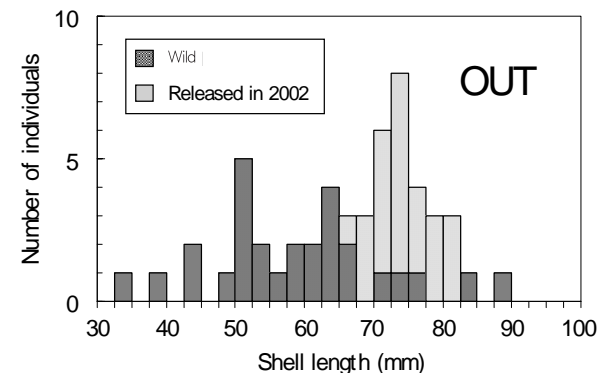
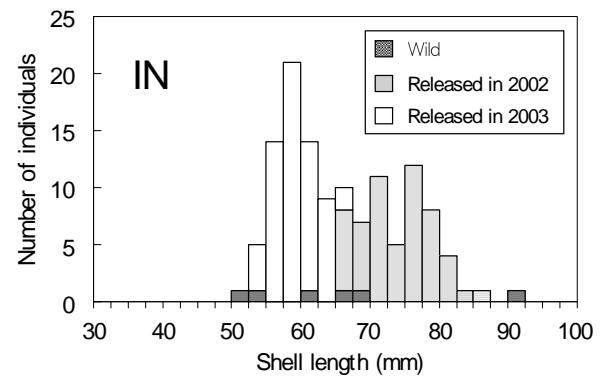


Fig. 5. Shell length distribution of abalone in and out of the experimental area

から10月7日の間、毎週2回の頻度で、プランクトンネット(口径30cm, 奥行き120cm, 目合い100 μ m)を使って、水深1m以浅の表層を曳網距離150mで水平曳きし、浮遊幼生の採集を行った。採集した標本は10%ホルマリンで固定し、双眼実体顕微鏡下でエゾアワビのベリジャー幼生を計数した。

当歳貝密度調査

2001年10月15日, 2002年10月21日, 及び2003年11月11日に試験区内及び周辺に配したL1~5の5本の調査線に沿って、起点から5m毎に1m²枠内のエゾアワビ当歳貝をSCUBA潜水により目視で採集した。また, 2002年2月4日, 2003年1月16日, 及び2004年1月26日には試験区内の定点(調査線L0からL1にかけての水深1.5~3mの地点)でSCUBA潜水により任意に海底に1m²枠を置いて、枠内の当歳貝を採集した。採集枠数は2002年と2003年が10枠, 2004年が16枠であった。これらの調査で採集した稚貝はノギスで殻長を測定後, 70%エチルアルコールで固定した。当歳貝密度の年比較は親貝密度と同じ検定方法を用いた。

産卵時期における波高観測

2001年7月8日から10月22日までと, 2002年6月27日から10月21日までの間, Fig. 1に示した忍路湾内の水深3mの地点で波高と水温の観測を行った。観測には水圧感知型波高計((株)IOテクニック社製WH102)を用いた。また, この期間以外の試験区周辺の水温を記憶式水温計(Onset社製Optic StowAway Temp Logger)により観測した。

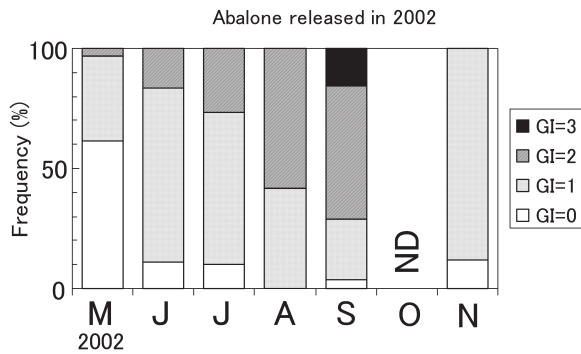


Fig. 6. Gonadal index of abalone released in 2002

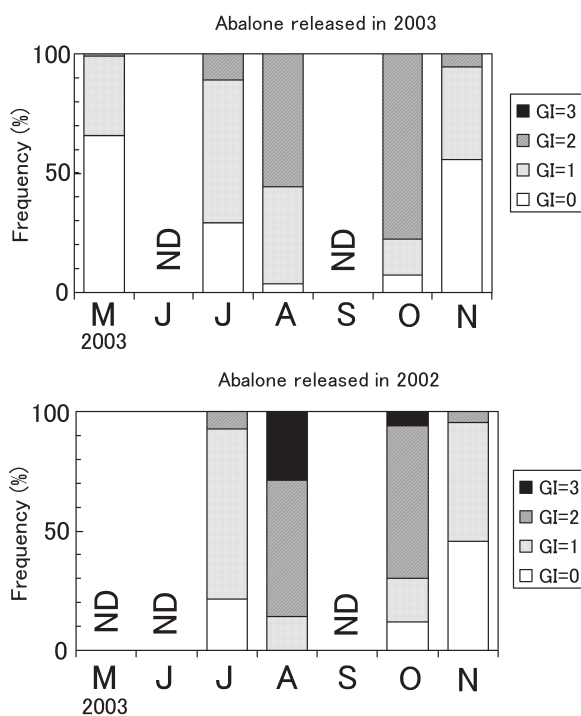


Fig. 7. Gonadal index of abalone released in 2002 and 2003

結 果

親貝密度の推移

2002年5月14日にエゾアワビ人工種苗を放流した結果、親貝密度は1.71個体/m²になったが、6月以降12月までは0.79~0.45個体/m²で推移し、その後1月~3月にかけて減少した(Fig.2)。2003年5月19日に再びエゾアワビ人工種苗を放流したことで、密度は1.38個体/m²に増加したが、6月以降12月までは1.13~0.81個体/m²であり、その後再び減少した。2002年放流貝の密

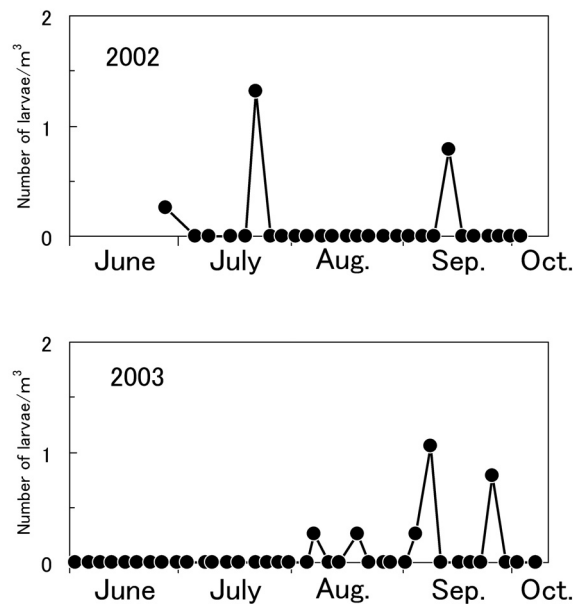


Fig. 8. Appearance of the veliger larvae of abalone

度は冬期間に減少するが、4月以降増加することから、冬期間の減少は発見率の低下によると思われる。2002年放流貝では放流直後の密度(1.71個体/m²)に対して1年6カ月後の密度(0.33個体/m²)は19.3%であった。

産卵盛期にあたる9月の親貝密度は、2001年が0.09個体/m²で、全て天然貝であった。天然貝の密度は2002年が0.06個体/m²、2003年が0.14個体/m²とほとんど変わらなかったが、放流された人工種苗の密度は2002年が0.65個体/m²、2003年が1.04個体/m²と高くなった。このため、2003年の親貝密度は1.18個体/m²となり、2001年の13倍に増加した(Fig. 3)。親貝密度に年間で差があることが確認されたので(Kruskal Wallis検定, $p=0.001$), Mann-Whitney検定を行ったところ2001年と2003年、2002年と2003年の親貝密度に有意差($p=0.005$, $p=0.002$)が認められた。

放流貝の成長、成熟と産卵状況

2002年に放流された種苗は、放流時には平均殻長52.9mmであったが、半年後の11月には66.0mmまで成長し、翌年の7月には72.1mmに達した(Fig. 4)。しかし、この時期から成長の鈍化が観察された。2003年放流群は、放流時の平均殻長が49.6mmであったが、半年後の11月には60.3mmになった。

2003年10月1日に試験区周辺で採集したエゾアワビの殻長組成をFig.5に示した。試験区内では放流貝が全体の94.8%と多かった。試験区外でも47.1%が2002

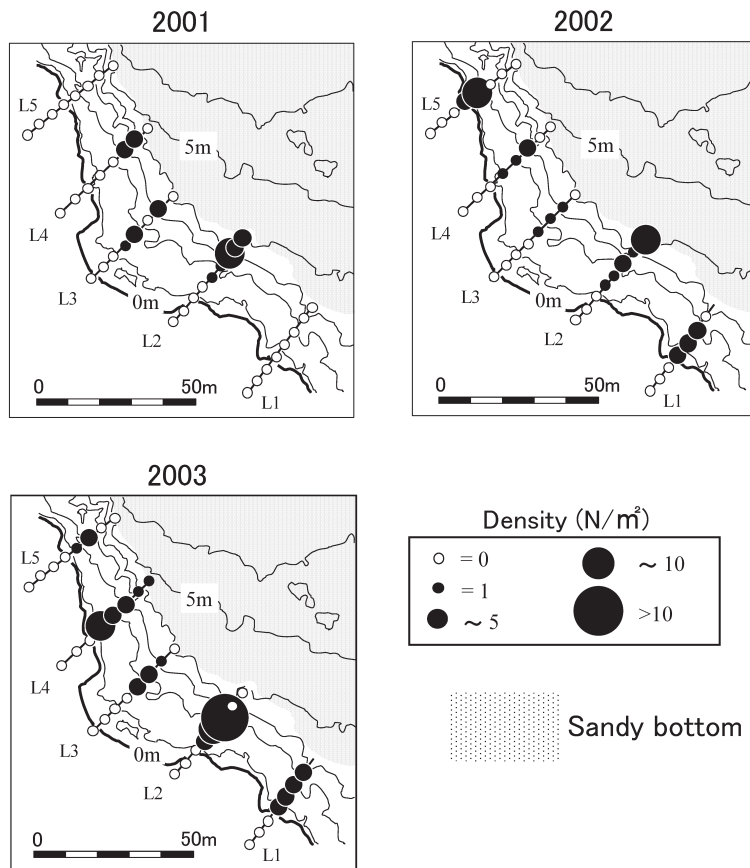


Fig. 9. Distribution of 0+ juveniles of abalone

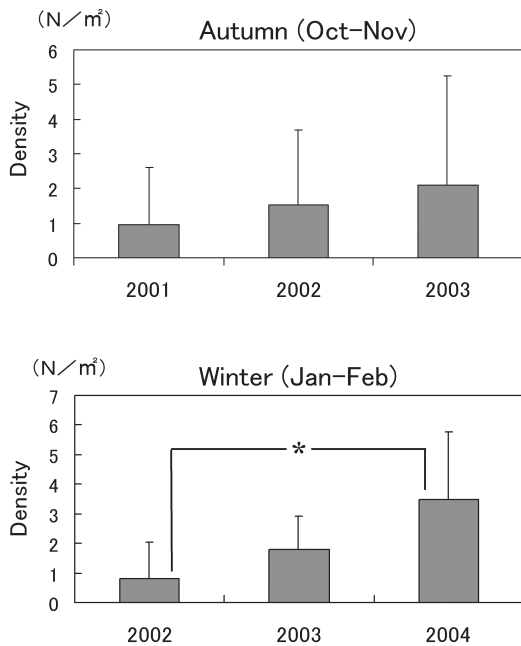


Fig. 10. Density of 0+ juveniles in autumn and winter. Vertical bars show standard deviation. *: Significant difference ($p < 0.05$).

年放流貝であり、成長に伴い広い範囲に移動している可能性が示唆された。また、殻長65mm以上の大型個体に占める放流貝の割合は78.1%であった。

2002年と2003年の放流貝の時期別生殖巣指数 (GI) をFig. 6と7に示した。2002年では、5月にはGI 0の個体が61.7%を占め最も多かったが、6月にはGI 1の個体が72.2%になり、GI 2の個体も出現した。8月にはGI 2の個体が58.1%になり、9月にはGI 3の個体も観察された。しかし、10月には大部分がGI 1であった。このため、放流貝の産卵時期は8月から9月と思われた。

2003年では、2002年放流貝と2003年放流貝を分けて成熟状況を調べた (Fig. 7)。2003年放流貝は5月にはGI 0の割合が65.6%と高かったが、その後GI 1及びGI 2の割合が増加し、GI 2は8月で55.6%、10月で77.8%になった。GI 3の個体は観察されなかったが、10月に熟度の進んだ個体の比率が高く、11月になると指数の低下が起こったことから、産卵時期は10月と思われた。

2002年放流貝は7月ではGI 1が最も多く71.4%であったが、8月にはGI 2が57.1%になりGI 3も28.6%を占

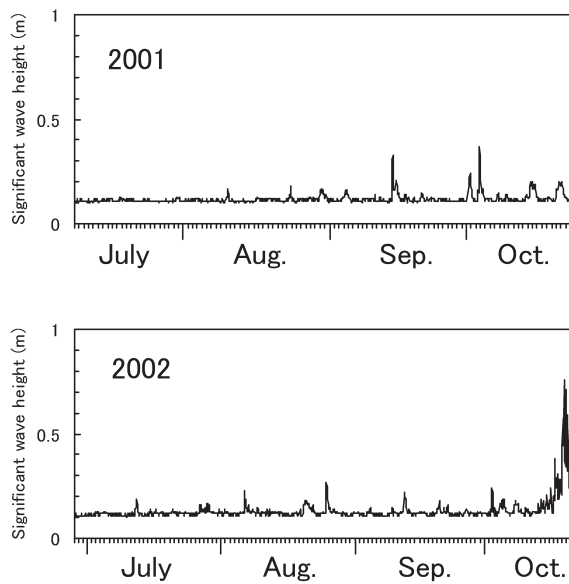


Fig. 11. The significant wave height in Oshoro Bay.

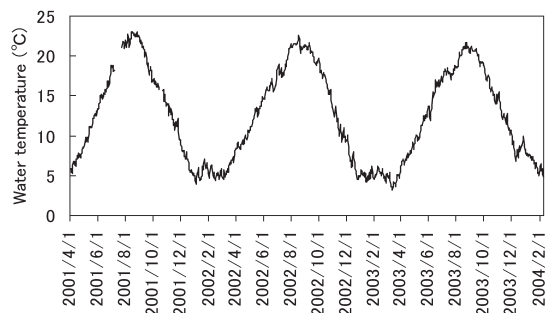


Fig. 12. Water temperature in Oshoro Bay during the experimental period.

めた。10月でもGI2の比率は64%と高く、GI3の個体も観察された。しかし、11月になるとGI0の割合が45.5%に増加した。2002年放流貝は2003年放流貝に比べ、時期的に早い8月から産卵を開始し、その状態が10月まで続いたと考えられた。

2002年の浮遊幼生調査では、試験開始時の6月27日と7月22日、および9月13日に0.2~1.3個体/m³のベリジャー幼生が採集された (Fig. 8)。2002年放流貝の産卵時期は8月から9月と推定されたことから、9月に観察されたベリジャー幼生は放流貝に起因している可能性があるが、6月と7月の浮遊幼生は天然貝に由来していると思われる。北海道日本海沿岸ではエゾアワビの産卵時期は8~10月であり、6月に浮遊幼生が出現したことは過去の事例に比べるとかなり早い。また、6月27日には、海底から取り上げた石から殻長

0.35mmの稚貝が採集された。2003年に実施した浮遊幼生調査では、8月7日、19日、9月4日、8日、および25日に0.2~1.0個体/m³のベリジャー幼生が採集された。これらの時期は、生殖巣指数に基づいて推定した産卵時期と一致していた。

当歳貝密度の推移

10月下旬から11月上旬に実施した秋季の当歳貝調査では、平均殻長6.95mm(2001年)、7.16mm(2003年)、7.05mm(2004年)の当歳稚貝が採集された。人工種苗を放流しなかった2001年でも試験区周辺で当歳貝の発生が確認されたが、親貝密度が増加した2003年の調査ではより広い範囲に多くの稚貝が分布していることが確認された (Fig. 9)。平均密度は、2001年は0.97個体/m²、2002年は1.52個体/m²、2003年は2.10個体/m²と増加する傾向が見られたが、Kruskal Wallis検定の結果有意差はなかった (Fig. 10, $p=0.14$)。

また、1月~2月上旬にかけて実施した冬季の稚貝調査では、稚貝の平均殻長は9.25mm(2002年)、8.81mm(2003年)、8.80mm(2004年)であった。平均密度は2002年の0.80個体/m²に対して、2003年は1.80個体/m²、2004年は3.50個体/m²となり、年間で稚貝密度に有意差が確認され (Kruskal Wallis検定, $p=0.006$)、2004年の稚貝密度は2002年のものに比べて有意に高かった (Fig. 10, Mann-Whitney検定, $p=0.006$)。

試験区周辺の波高と水温

2001年と2002年の7月~10月までの有義波高を Fig. 11に示した。2001年は観測期間中、0.5m以下の風ぎの状態が続いた。2002年では10月19日に有義波高が0.7mまで高くなったが、それ以外は0.5m以下であった。

忍路湾の2001年4月から2004年2月までの水温を Fig. 12に示した。水温は冬期には2002年1月に3.9°Cまで、2003年3月に3.1°Cまで下降し、夏期には8月の水温が最も高く、2001年は23.0°C、2002年8月は22.5°C、2003年8月は21.7°Cまで上昇した。

考 察

北海道南西部の噴火湾では、天然のエゾアワビは分布していなかったが、主に奥尻島からの天然種苗の移殖により漁業の対象となる資源が形成されたことが報告されている (Saito, 1979)。移殖された種苗は正常に成熟し (八幡, 高野, 1970)、加入した稚貝も確認された (Saito, 1981)。噴火湾における稚貝加入量に影響を与える要因として、親貝量と冬期水温が挙げられ、親貝密度の増加に伴い加入量も増えることが報告され

ている(田嶋ら, 1996)。また, 道内をはじめ本州まで天然種苗を供給していた奥尻島では, 道内の他の漁場に比べ親貝密度が4.3~13.3個体/㎡と高く, 親貝密度の増加に伴い稚貝密度の最大値は増加することが報告されている(田嶋ら, 1996)。

エゾアワビ浮遊幼生の発生速度は水温によって影響を受け, 20℃では受精から74.6時間後には着底可能となり, 85.5時間後から変態を開始することが知られている(関, 菅野, 1977; 関, 菅野, 1981)。このように, 幼生は産卵した親貝集団の周辺に着底する可能性が高く, 親貝量が加入量に及ぼす影響が大きいことが考えられる。したがって, 今回の試験では, 殻長約50mmの大型人工種苗を放流することによって親貝密度を人為的に増加させた結果, 周囲に加入した稚貝量が増加したものと考えられる。

2003年10月に試験区周辺で調べた殻長組成では, 放流貝が大型個体の大部分を占めていた(Fig. 5)。エゾアワビでは殻長の増加に伴い生殖巣内の抱卵数も増加することが知られている(佐々木, 2001)。放流サイズを殻長50mmと大型にした目的は, 放流した年に成熟し再生産に参加するだけでなく, その後の成長に伴い産卵量を増加させることにあった。しかし, 2002年放流貝では, 放流から半年以降の成長は鈍化していた(Fig. 4)。Saito (1979) は, 日本海の奥尻島と噴火湾内の豊浦でエゾアワビの成長を比較し, 豊浦で成長が良い理由として海藻類の生育状況の差を挙げている。磯焼けが進行し, エゾアワビの餌料となるホソメコンブなどの海藻が少ない北海道南西部日本海沿岸では, 親貝集団の形成において大型人工種苗放流の効果を有効に活かすために, 桑原ら(2001)が提案しているような藻場造成により海藻群落を確保する必要がある。

また, 放流貝の成長だけでなく生残も親貝集団の形成の重要な要因である。2002年放流貝では2003年の1月~3月までは発見数が減少したが, 4月以降増加し, 2004年の1月以降再び減少した(Fig. 2)。このような冬期間の発見率の低下は, 水温の低下に伴いエゾアワビが深所に移動することや, 摂餌など海底表面での活動が少なくなったためと思われる。放流から1年半後までの残留率は19.3%であり, 減少した理由として試験区外への移動(Fig. 5)と死亡が考えられる。成熟状況の調査で採捕した放流貝の足部縁辺部に傷のある個体が多く観察されることから, 試験区周辺の玉石帯に多く生息するイソガニやヒライソガニ, イシガニ等による捕食の可能性が考えられる。また, 冬には試験区内でミズダコが観察され, 捕食された貝も確認されている。

宮城県ではエゾアワビの大規模産卵は, 有義波高が

4 m以上の日と一致し, 小規模産卵は有義波高が2~4 mの時期と対応することが報告されている(佐々木, 2001)。台風が接近するような海況では大規模産卵が起こり, ベリジャー幼生は離岸数kmまで広域に分散するが, 小規模な産卵時には幼生の分散は地先に限られる。エゾアワビの産卵時期に当たる7月~10月にかけて忍路湾内で観測した有義波高は1 m以下であり, 風が続くことから, 試験期間中は浮遊幼生が広域に流出した可能性は低いと思われる。

佐々木(2001)は, エゾアワビは種の存続をはかるため浮遊幼生を広範囲に分散し新たな着底繁殖域へと拡散し遺伝子交流をはかるI型(大量一回産卵・広域分散型)と従来の繁殖分布域を確保し再生産関係を維持するII型(少量多回産卵・地先滞留型)の繁殖戦略を両立展開していると述べている。親貝密度を高め周囲への加入を期待する場合には, 佐々木のII型戦略に基づく再生産過程が重要になろう。今回の調査では, 親貝の実際の産卵回数は確かめられていないが, 生殖巣指数が高い期間が長いことと, 浮遊幼生の出現が散発的であったことから, 集団として複数回の産卵があった可能性が考えられる。

富田ら(1980)は1977年と1978年の9月上旬に北海道日本海の礼文島西海岸でエゾアワビ浮遊幼生の分布を調べ, 両年とも岸近くで幼生の密度が高かったことを報告している。北海道の日本海沿岸では, エゾアワビの産卵時期に当たる夏から秋にかけては比較的穏やかな波浪環境にあるため親貝集団の近隣に幼生が着底することが期待されるが, 親貝集団を形成する場所と当歳貝の加入範囲の関係を検討する際には沿岸の潮流を調べる必要がある。また, 周囲に加入した稚貝が人工種苗放流により形成された親貝集団に由来しているかどうかは, DNAマーカーにより直接親子関係を確認する方法があり, この課題については今後研究を進める必要がある。

謝 辞

本研究を実施するに当たり, 漁場の提供や禁漁区の設定等でお世話になった小樽市漁業協同組合忍路地区の漁業者の方々に厚くお礼を申し上げます。また, 現地調査において協力頂いた北海道立中央水産試験場の職員各位, (株)海洋探査職員一同並びに故工藤敬吾氏に感謝の意を表す。

文 献

- Babcock R. and Keesing J., 1999: Fertilization biology of the abalone *Haliotis laevis*: laboratory and field studies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **56**, 1668-1678.
- 干川 裕, 2002: 北海道におけるエゾアワビの資源変動. 月刊海洋, **34(7)**, 470-476.
- 河村知彦, 高見秀輝, 西洞孝広, 2002: アワビ類の天然稚貝発生量を決める要因は何か?. 月刊海洋, **34(7)**, 529-534.
- 菊池省吾, 浮 永久, 1974: アワビ属の採卵技術に関する研究 第1報エゾアワビ *Haliotis discus hannai* INO の性成熟と温度との関係. 東北水研研報, **33**, 69-78.
- 桑原久実, 川井唯史, 金田友紀, 2001: 北海道南西部磯焼け海域におけるホソメコンブ群落の形成機構. 水産工学, **38(2)**, 159-165.
- Saito K., 1979: Studies on propagation of ezo abalone, *Haliotis discus hannai* Ino-I Analysis of the relationship between transplantation and catch in Funka bay coast. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **45(6)**, 695-704.
- Saito K., 1981: The appearance and growth of 0-year-old ezo abalone. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **47(11)**, 1393-1400.
- 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.
- 関 哲夫, 菅野 尚, 1977: エゾアワビの初期発生と水温による発生速度の制御. 東北水研研報, **38**, 143-153.
- 関 哲夫, 菅野 尚, 1981: エゾアワビの被面子幼生の着底と変態について. 東北水研研報, **42**, 31-29.
- 田嶋健一郎, 高谷義幸, 大崎正二, 中多章文, 宮本建樹, 干川 裕, 川真田憲治, 1996: 親貝資源状態の把握. 特定研究開発促進事業—アワビの再生産機構の解明に関する研究—総括報告書, 21-43.
- 富田恭司, 田嶋健一郎, 杉本 卓, 1980: 北海道北部日本海沿岸におけるエゾアワビの浮遊幼生, 底生初期稚貝の出現. 北水試月報, **37**, 117-126.
- 八幡剛浩, 高野和則, 1970: エゾアワビの生殖巣成熟について. 第1報 松前・礼文両地における生殖巣成熟の比較. 北大水産彙報, **21(3)**, 193-199.