越喜来湾に移植したミネフジツボの再生産、成長および食性と養殖への課題

加戸隆介^{1)*}・鈴木潤也^{1,2)}・難波信由¹⁾・小河久朗¹⁾

¹⁾ 北里大学海洋生命科学部 〒022-0101 岩手県大船渡市三陸町越喜来字烏頭160-4

²⁾ 有) 元気サポート 〒985-0821 宮城県宮城市七ヶ浜町

Reproduction, growth, and feeding habits of *Balanus rostratus* Hoek transplanted into Okkirai Bay in northeastern Honshu, Japan, and prospective problems for its aquaculture

Ryusuke Kado,^{1)*} Junya Suzuki,^{1,2)} Nobuyoshi Nanba,¹⁾ and Hisao Ogawa¹⁾

¹⁾ School of Marine Biosciences, Kitasato University, Sanriku, Ofunato, Iwate 022-0101, Japan

²⁾ Genki Support Co., Ltd, Shichigahama, Miyagi, Miyagi 985-0821, Japan

¹⁾ RK: rukado@kitasato-u.ac.jp

(Received September 27, 2008; Accepted December 17, 2008)

Abstract

The barnacle *Balanus rostratus* Hoek (Cirripedia, Crustacea) is well known as a fouling organism on cultured scallops in Japan, but recently it has been undergoing evaluation as an edible crustacean fisheries resource in Mutsu Bay. Its costs surpass those of scallops at present, and aquaculture of this species remains limited to small-scale private farming due to several problems involving co-existence with scallop culture and daily maintenance. Until now, *Balanus rostratus* has not caused any fouling problems for other aquaculture organisms and facilities in Okkirai Bay along northeast coast of Honshu, although it lives there. Here we report on our studies of the possibilities for transplantation and cultivation of this species in Okkirai Bay as a new candidate for commercial exploitation through aquaculture. Reproduction, growth, and feeding habits of transplanted specimens were studied. They had reproductive cycles and growth potentials similar to those of barnacles from Mutsu Bay, and tend to feed on phytoplankton rather than zooplankton. They were able to grow with only scallop feces as a food source. These results indicate that this species may be a viable candidate for aquaculture if certain difficulties can be solved. Prospective problems for aquaculture of this species in Okkirai Bay are discussed and several solutions are proposed.

Key words: aquaculture, *Balanus rostratus*, growth, feeding habits, reproduction, transplantation

ミネフジツボ *Balanus rostratus* Hoek は北太平洋北部沿岸に分布する冷水性の大型フジツボで、かつては7亜種が報告されていたが、現在、形態学的には *B. rostratus* にまとめられている (Yamaguchi, 1977)。本種は、世界的にみれば南米沿岸に生息する *Austromegabalanus psittacus*、北米沿岸に生息する *Chirona hameri* に次いで大きく成長し、食用にも供さ

れている。日本近海では本種は東北地方沿岸、相模湾、伊勢湾などから報告されており、後二者では深所から報告されている (Yamaguchi, 1977; Utinomi, 1960)。東北地方では潮下帯に生息しており、とりわけ陸奥湾においては養殖ホタテガイへの一番の汚損種として知られている。しかし、その一方で、新たな食用甲殻類としての需要も高まり (塩垣, 1993)、末端価格にしてキロ当たり

3-4000円で流通している。青森県では、本種の養殖を目的とした基礎的調査（中西ら，2003；加戸，未発表）がなされ、一部の漁業者による養殖が試みられているが、他の付着生物による成長阻害、育成管理上の手間、ホタテガイへの付着被害など解決すべき課題は多い。

岩手県の越喜来湾は東北太平洋岸のリアス式海岸に位置し、面積18.8km²、最大水深92m、閉鎖度指数1.97の内湾で、ホタテガイ、マボヤ、カキ、ワカメなどの水産動植物が養殖されている。この越喜来湾では、ミネフジツボの初期ノープリウス幼生が毎年1月から3月頃にかけて高密度で採集される時期がある（加戸，未発表）にも拘わらず、大型の成体はほとんど採集されておらず、ホタテガイに対する付着被害も報告されていない。その理由は不明ながら、幼生期における湾の海水交換率、水塊中の植物プランクトン量などが関わっている可能性が考えられる。この越喜来湾において本種の養殖を考える場合、生殖周期、成長、餌料などの情報は、既存の養殖種との共存を図る上においても重要な問題と考えられる。そこで、本研究では、この湾における本種のこれら生態学的特性を明らかにするとともに、ホタテガイ糞の本種に対する餌料効果について、室内実験を行い、これらの結果を基に、養殖化への課題について検討を行った。

材料および方法

1. 生殖巣および関連組織の変化

越喜来湾では本種の分布量そのものが少ないため、定期的かつ量的に材料を確保することは不可能である。そのため研究に使用する材料は、陸奥湾より越喜来湾に移植したものをを用いた。ただし、移植後の個体は陸奥湾の生殖周期を内在している可能性が考えられる。そのため、本種が1年の性周期を示す（Korn, 1985；加戸ら，受理）ことから、組織調査に用いる個体は、陸奥湾の市場より購入した個体で、移植先の越喜来湾松ヶ崎沖の大学筏（Fig. 1, Stn. A）の水深10mに設置した丸カゴ（径50cm）内において1年以上経過し、陸奥湾での生殖周期の影響が失われたであろうと思われる個体を用いた。研究は1997年9月から同年12月まで毎月1回5個体について

Fig. 1 Experimental sites in Okkirai Bay, Japan. A, experimental rafts at 12m depth; B, buoy in 35-m deep scallop-culture area; C, Kimagasaki pier.

て組織学的研究を行った。組織学的処理方法の詳細は加戸ら（受理）に準じた。

2. 成長

実験材料には、陸奥湾より移植したミネフジツボ（25×25cmの塩化ビニル製付着板に1996年春に付着した個体群）47個体を用いた。これらを平均殻底長径がほぼ等しい2群（付着板3枚ずつ）に分けて個体識別後、越喜来湾松ヶ崎南約300m付近（水深35m）に設置されているホタテ養殖施設のブイ（Fig. 1, Stn. B）から5mおよび30mの水深に1996年5月に垂下した（Fig. 2）。成長測定は1996年7月から1998年1月までの間、2ヶ月毎に実施した。引き上げた付着板は毎回研究室に持ち帰り、本種以外の付着生物を除去したのち、生残を確認するとともに、成長の指標として殻底長径、殻口長径、殻高を測定した。測定終了後の付着板は大学構内の水槽に収容後、翌日再び同じ場所に垂下した。垂下場所の環境変化を知るために、毎回の調査時には水温、塩分、クロロフィルa濃度を測定した。水温は水深5mと30mの海水を北原式採水器で採水し、現場で水銀温度計により測定した。塩分、クロロフィルa濃度はバンドン型採水器（6L）を用いて採水した試水を研究室に持ち帰り、塩分はサリノメーター（Autolabo, Model 601mk-III）により、クロロフィルa濃度はジメチルスルフォオキシドで抽出後、蛍光光度計（Turner Fluorometer 10-005）による蛍光から Holm-Hansen 法より求めた。

3. 消化管内容物

研究に使用した材料は、陸奥湾で採集され青森県中央市場に水揚げされたミネフジツボ（楕板長が25mm以上）を購入し、これらを Stn. A（Fig. 1）の水深10mに設

Fig. 2 Diagram of *Balanus rostratus* set-up of growth experiment in 35-m deep scallop-culture area in Okkirai Bay. *Balanus rostratus* settled on vertically oriented test panels set at depths of 5 m and 30m below the buoy (B) in Fig. 1.

置された丸カゴに収容し、約3ヶ月間同所で蓄養した後、消化管内容物調査用に回収した。消化管内容物の測定方法は以下に拠った。毎月一度、試料から任意に5個体（楕板長が25mm以上）を選び出し、固定液が外套腔に良く浸透するように蓋板の周囲の関節膜をメスで切開したのち、10%中性ホルマリンで固定した。固定された試料より消化管を取り出し、スライドガラス上に載せたのち、消化管をメスで注意深く切開し、消化管内容物を展開した。これに海水を少量滴下後、顕微鏡下で観察した。個々の内容物は顕微鏡下で観察し、視野面積に対する珪藻類、動物プランクトン、デトリタスの占める比率で表し、0%は0、10%以下は1、10-40%は2、40-60%は3、60-80%は4、80%以上は5の6段階で評価した。調査は1996年10月から1997年9月までの間、原則として毎月1回10個体について実施した。試料採集時には海水を水深10mより採水し、前述と同様の方法でクロロフィルa濃度を調べた。また、目合い100 μ mの小型プランクトンネット（口径20cm）を用いて、底から表層まで鉛直曳きを行い、プランクトン種組成および相対量を調べた。相対量は顕微鏡の視野面積に対する珪藻類、動物プランクトン、デトリタスの量を%で表し、0%は0、10%以下は1、10-40%は2、40-60%は3、60-80%は4、80%以上は5として、6段階で評価した。消化管内容物組成とプランクトン組成との間の関係について検討を行った。

4. ホタテガイ糞の餌料効果

材料には、陸奥湾で1997年に付着したと判断されるミネフジツボ48個体（平均殻底長径10.5mm）を用いた。48個体のミネフジツボは平均殻底長径に有意差の出ないように8個体ずつを6群に分け、そのうちの2群を一実験区とした。実験区としては、ホタテガイ糞投与区と無給餌区二つを設けた。また、比較のため珪藻の *Asterionella glacialis* 投与区を別に設け、合計3つの実験区を設定した。各群のミネフジツボ8個体は5 μ mのカートリッジフィルター（TCW-5N-PPS, ADVANTEC）で濾過した海水1Lの入ったビーカーに収容し、通気（ガラス管、口径4mm）を行うことにより、餌料の沈殿をできるだけ防ぐよう試みた。各水槽はウォーターバス（大型コンテナ、110cm×55cm×32cm）に収容し、本種の好適水温が15℃以下であることから（加戸、未発表）、低温水循環装置（Eyela, Cooling Thermo Pump CTP-201）により10℃の設定水温を維持した。餌料のホタテガイの糞は以下の方法で入手した。1）殻長約10cmのホタテガイ40個体をホタテガイ養殖カゴに入れ、越喜来湾鬼間ヶ崎突堤（Stn. C）より海中へ垂下した。2）毎日全個体を海中より引き揚げ、研究室の海水を満たしたコンテナに約3時間入れて糞を排泄させた。3）排泄されたホタテガイ糞は目合い100 μ mのプランクトンネットで回収し、ホタテガイはコンテナから取り出して再び現場に垂下した。この様にして集めた糞は沈殿管で容量を測定後、原則として1Lの飼育海水に対してホタテガイの糞の量が8mLになるように調節してミネフジツボに与えた。ただし、実験開始20日目頃よりホタテガイの

死亡により糞量が減少したため、ミネフジツボに投与したホタテガイの糞の量は1Lの海水に対して3mL以下となった。対照として、餌を投与しない実験区、比較として、F/2培地、12℃で培養した珪藻の *A. glacialis* を、細胞密度が 5×10^4 cells/mLになるよう投与する実験区を設定した。

実験は1997年7月13日から9月7日まで行い、この間2週間に一度の頻度でフジツボの殻底長径をノギスで測定した。換水は毎日餌料投与と同時に全換水を行った。なお、ホタテガイを現場から持ち帰る際に、海水1Lを表層より採水し、研究室でクロロフィルaを抽出・測定した。

結 果

生殖時期

精巣および卵巣の発達段階を加戸ら（受理）と同様に4段階（発達前期、発達後期、成熟期、完了期）に分け、各発達段階の頻度の月別変化をFig. 3に示した。

精巣 9月29日：精巣の発達段階としては発達初期の個体（約60%）と発達後期の個体（約40%）が混在した。前者では、精巣の精細管の壁ではヘマトキシリンに濃染されている精原細胞（平均直径約66 μ m）が見られた。後者では、すでに精細管が発達初期に比べて太く（平均直径約117 μ m）、組織を占める管数が多くなり、内腔壁の精原細胞の層の内腔に精母細胞も見られ、そのさらに内側に精子細胞、蔓脚類に特徴的な針状の頭部をもった精子が観察された。これらの中には貯精嚢に精子の貯蔵が始まっている個体も存在した。

10月26日：発達後期（20%）と成熟期（80%）の個体が認められた。精巣では精細管内には精子が充満してお

Fig. 3 Proportions of individuals displaying different developmental stages of testis and ovary among transplanted *Balanus rostratus* in Okkirai Bay from September to December, 1997. Stages 1 and 2, early and late developing stages, respectively; Stage 3, mature stage; Stage 4, involutional stage.

り、精細管はさらに太くなり（平均直径約218 μ m）、組織を占める管数が発達後期のそれに比べ多くなった。貯精嚢には多量の精子塊が認められた。この時期は精巣の成熟期に相当すると考えられる。

11月28日から12月30日：精細管では充満していた精子はほとんど認められず、萎縮してしまっている（平均直径約51 μ m）。貯精嚢には多くの精子塊が認められた。こうした状態は陸奥湾での結果から判断すると、繁殖活動が終わった後の完了期に相当した（いずれの時期もすべて完了期）。

卵巣 9月29日：卵巣では卵巣管内の卵母細胞は発達初期のものより太くなっており（平均直径約99 μ m）、この時期はすべて発達後期の状態にあると考えられる。

10月26日：発達後期（約20%）および成熟期（約80%）。卵母細胞はさらに卵黄を蓄積し（平均直径120 μ m以上）各細胞は相互に密接していた。内腔に卵母細胞が充満した卵巣管は凸凹状になっており、この時期は成熟期に達したものと考えられる。

11月28日：全て完了期。細胞質に少量の卵黄が認められる退化傾向にある卵母細胞（平均直径40 μ m以下）が観察された。この時期の材料には外套腔内に卵塊を抱えた個体も存在したことから、交尾、産卵は完了したものと考えられた。

12月30日：完了期（約40%）および発達初期（約60%）の個体が認められた。発達初期の卵巣では卵巣管内に卵母細胞が点在した（平均直径約48 μ m）。卵母細胞の核周囲には卵黄の蓄積が認められた。この時期には完了期の比率が4割ほど存在するものの、すでに新たな卵巣の発達が始まったと考えられた。

成長

Stn. Bの水深5 mと30 mに垂下した1996年付着群のミネフジツボの成長をFig. 4、両水深におけるクロロフィルa濃度、水温および塩分をFig. 5に示した。当歳年における成長は、5 m、30 m層ともに秋季に多少の成長の

Fig. 4 Growth of transplanted *Balanus rostratus* on test panels immersed at 5 and 30 m depths at station B in Okkirai Bay from July 31, 1996, to January 27, 1998. Vertical bars denote SD.

鈍化は見られたものの、翌年8月までほぼ直線的に成長し、5 m層で38.2 mm、30 m層で37.6 mmに達した。その後両層ともに8月以降は成長が停滞した。越喜来湾に垂下してから20ヶ月後の1998年1月における平均殻底長径は5 m層で38.7 mm、30 m層で38.3 mmに達し、両層でほとんど差が認められなかった。移植20ヶ月後の1998年1月における生残率は、水深5 mでは88%、水深30 mでは79%であり、それぞれ高い生残率を示した。両層での水温および塩分には大きな差は認められなかった。クロロフィルa濃度は、1997年3月に5 m層4.7 μ g/L、30 m層2.1 μ g/Lを示し、2.0 μ g/L以上の大きな差が認められ、他の月においてもこれほどではないが差が認められた。

消化管内容物

Stn. Aにおけるプランクトン組成の相対量とクロロフィルa濃度をTable 1に、越喜来湾に移植したミネフジツボの消化管内容物組成の相対量をTable 2に、その中の珪藻出現種と相対量をTable 3に示した。

クロロフィルaの濃度は春期の珪藻のブルームに呼応して、1 μ g/L以下から急増し、3月28日では3.8 μ g/L、4月28日では2.7 μ g/Lの高い値を記録した。7月、8月にはクロロフィルa濃度は1 μ g/L以下に低下したが、9月29日には1.3 μ g/Lにやや増加した（Table 1）。

消化管内容物を一年を通してみると、内容量が乏しい時期（9月から11月）（以後飢餓期と称す）と内容量に富む時期（12月から翌年8月）（以後充満期と称す）の二つに大きく分けることができる（Table 2）。飢餓期に

Fig. 5 Water temperature, salinity, and chlorophyll-a concentration at 5 and 30 m depths at station B in Okkirai Bay from September 5, 1996, to January 27, 1998.

Table 1. Changes over time in chlorophyll-a concentration and relative abundance of phyto- and zooplankton around the experimental raft at Stn. A in Okkirai Bay

Plankton	1996		1997								
	Oct. 4	Nov. 11	Dec. 9	Jan. 14	Feb. 2	Mar. 28	Apr. 28	May 26	July 2	Aug. 1	Sep. 29
Chlorophyll-a ($\mu\text{g/L}$)	0.92	0.88	0.35	0.78	0.42	3.79	2.66	1.11	0.62	0.75	1.30
Phytoplankton											
Diatoms	3	2	3	4	5	5	5	3	5	5	2
Dinoflagellates	2	2	1	2	2	0	2	1	4	4	2
Zooplankton	5	1	4	4	4	3	3	5	4	4	2

0: none, 1: very rare, 2: rare, 3: common, 4: abundant, 5: very abundant (for details see text).

Table 2. Relative abundances of gut-content components of transplanted *Balanus rostratus* kept at 10 m depth on the experimental raft at Stn. A in Okkirai Bay.

Component	1996		1997								
	Oct. 4	Nov. 11	Dec. 9	Jan. 14	Feb. 2	Mar. 28	Apr. 28	May 26	July 2	Aug. 1	Sep. 29
Phytoplankton											
Diatoms	1	1	3	4	4	5	4	4	4	4	1
Dinoflagellates	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
Zooplankton	1	0	3	3	3	4	3	3	4	3	1
Sporozoa	2	2	2	2	0	1	0	0	1	1	1

0: none, 1: very rare, 2: rare, 3: common, 4: abundant, 5: very abundant (for details see text).

Table 3. Monthly changes in the relative abundance of diatom species in the gut contents of transplanted *Balanus rostratus* kept 10-m depth on the experimental raft at Stn. A in Okkirai Bay

Species	1996			1997							
	Oct. 4	Nov. 11	Dec. 9	Jan. 14	Feb. 2	Mar. 28	Apr. 28	May 26	July 2	Aug. 1	Sep. 29
<i>Asterionella glacialis</i>	0	0	0	0	0	3	2	2	0	0	0
<i>Amphora lineolata</i>	0	1	1	1	1	3	3	0	1	1	0
<i>Chaetoceros affinis</i>	0	0	1	4	4	3	2	0	0	1	0
<i>Chaetoceros compressus</i>	0	0	3	4	4	3	3	3	1	1	0
<i>Chaetoceros concavicornis</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros decipiens</i>	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
<i>Chaetoceros frichei</i>	0	0	0	0	0	2	0	4	0	1	0
<i>Cocconeis pseudomarginata</i>	0	0	0	1	1	3	3	2	1	1	0
<i>Cocconeis scutellum</i>	0	1	2	1	1	4	3	0	1	1	0
<i>Cocconeis</i> sp.	0	0	2	1	2	4	3	3	1	1	0
<i>Coscinodiscus</i> spp.	0	2	4	3	3	4	2	3	1	1	0
<i>Diploneis fusca</i>	0	1	2	1	1	5	3	2	0	1	0
<i>Diploneis splendida</i>	0	1	3	0	0	2	1	2	0	1	0
<i>Ditylum brightwellii</i>	0	2	4	4	3	2	0	0	0	0	0
<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria oceanica</i>	0	0	2	1	3	3	2	2	1	1	0
<i>Grammatophora marina</i>	0	1	0	1	1	3	3	3	1	1	0
<i>Licmophora abbreviata</i>	0	0	2	1	3	3	3	2	1	1	0
<i>Melosira sulcata</i>	0	0	1	1	0	2	2	2	1	1	0
<i>Mastogloia minuta</i>	0	0	1	0	0	2	2	0	0	1	0
<i>Pseudonitzschia multistriata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	1
<i>Nitzschia</i> sp.	2	1	4	3	3	4	3	3	3	3	1
<i>Odontella sinensis</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Pleurosigma</i> sp.	0	0	1	0	0	2	2	0	1	1	0
<i>Protoraphis</i> sp.	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhizosolenia</i> sp.	0	0	1	1	1	0	2	2	3	3	0
<i>Rhabdonema adriaticum</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Skeletonema costatum</i>	0	0	1	2	0	2	0	2	0	0	0
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira subtilis</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira</i> sp.	0	1	0	0	0	3	2	2	0	0	0
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	0	0	2	2	1	2	2	2	0	0	0
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0	0	0	3	3	2	0	2	0	0	0

0: none, 1: very rare, 2: rare, 3: common, 4: abundant, 5: very abundant (for details see text).

おける内容物を構成する主なものは、珪藻類 (Table 3) は相対量評価にして1で量的に少なく、動物プランクトン起源と思われる破片は相対量評価で2の値を示し珪藻類より量的に多く認められた。消化管内には寄生虫として真胞子虫類・真グレガリン目の *Pyxinoidea* 属の種類が認められた。充満期の組成は、珪藻類が高密度で認められ、同定可能であった珪藻類では冬期から春期にかけては *Chaetoceros affinis*, *C. compressus*, *C. frichei*, *Cocconeis scutellum*, *Cocconeis* sp., *Coscinodiscus* sp., *Ditylum brightwellii*, *Nitzschia* sp. が多く認められた (Table 3)。動物プランクトン由来と考えられるものも相対量評価3~4を示し、普通に認められた。しかし、陸奥湾でしばしば観察されたデトリタス様の有機物質は多くは認められなかった。

ホタテガイ糞の餌料効果

実験開始0日目から56日目までの平均殻底長径の増加量の変化をFig. 6 (下) に示した。また、実験期間中の Stn. Cにおけるクロロフィルa濃度をFig. 6 (上) に示した。実験開始14日後には、ホタテガイ糞投与区の平均殻底長径増加量は0.4mmであったのに対し、無餌料区は0.2mmで殻底長径の増加には有意な差 ($t=2.376$, 危険率5%) が認められた。同様に植物プランクトン投与区と無餌料区の殻底長径増加量について検定を行った結果、有意な差が認められた ($t=2.900$, 危険率5%)。その後も餌料投与区と無給餌区との殻底長径増加量の間には有為な差が認められた。実験開始から終了時まで、平均殻底長径 ($\pm$ SD) はホタテガイ糞投与区で10.5mm (2.20mm) から11.2mm (2.20mm)、植物プランクトン投与

区で10.7mm (3.10mm) から11.1mm (3.11mm)、無餌料区で10.4mm (2.20mm) から10.7mm (2.23mm) まで成長した。

二つの餌料投与区の成長について比較すると、ホタテガイ糞投与区で28日以降成長に鈍化が認められた。飼育後14日目まではホタテガイを垂下していた Stn. C のプランクトン中に *Pseudonitzschia multistriata* が優占し、クロロフィルa濃度は0.4 μ g/L以上であったが、20日以降は *P. multistriata* の密度は減少し、クロロフィルa濃度も0.3 μ g/L以下に減少していた。培養した珪藻を投与していた植物プランクトン投与区でのミネフジツボの殻底長径の成長は、28日以降も増加した。

考 察

生殖時期

移入元の陸奥湾における本種の生殖周期については、加戸ら (受理) により、以下のように報告されている。「卵巣は12月から、精巣は2月頃から発達を開始する。卵巣では4月に発達後期に入るのに対し、精巣は遅れて8月頃に発達後期に入る。精巣は卵巣に比べ準備期間 (発達前期) が長い、その後急速に発達し、成熟は卵巣に比べてやや早いと言える。両生殖巣ともに10・11月に成熟し、11月後半には交尾が完了するとともに、外套腔内に受精卵塊が観察され始める。11・12月には両生殖巣ともに退縮に向かう。12月中旬には幼生放出がほぼ完了し、一年間の生殖周期を終えると同時に、卵巣ではすぐに、精巣ではやや遅れて新たな発達を開始される」。一方、越喜来湾における生殖に関しては、10月中旬には成熟期に達し、11月後半にはすべて繁殖活動を終えて (完了期) おり、生殖活動がこの1ヶ月以内に行われたことを示している (Fig. 3)。12月下旬には幼生は既に孵化を終えていた。この時期の卵巣では発達初期の比率が既に60%に達しており、卵巣の発達が精巣のそれよりも先行することを示唆している。9月30日の材料では精巣の発達が卵巣のそれに比べ遅いにも関わらず、10月26日には両生殖巣ともに80%近くが成熟期に達していたことから、精巣は9月から10月の間に急速に発達すると考えられる。こうした両生殖巣の発達時期の違いは陸奥湾でも同様であった。両湾における結果を比較すると、11月下旬では、陸奥湾ではまだ受精が完了していない成熟期の卵巣、精巣が認められたのに対し、越喜来湾ではこの時期には全ての個体が繁殖活動を終了していた。これは越喜来湾において繁殖活動が多少早く行われることを示しているといえるが、これが普遍的な事象かどうかは調査期間が一年だけであるため不明である。加戸ら (受理) による各地のミネフジツボの生殖時期の比較によると、日本海北西部のロシア領ジョートル大帝湾の枝湾のひとつである Emar 湾、陸奥湾、宮城県志津川湾の順にその時期が遅れ、その要因として水温の違いを指摘している。今回明らかになった越喜来湾における生殖時期は陸奥湾のそれに近く、実験に用いた個体を畜養した水深10mの水温が陸奥湾の底に近い水深30m付近の水温変化に相当する (加戸, 未発表) ことから、本研究結果は加戸ら (受理) の指摘に沿ったものといえる。本種が年一

Fig. 6 Changes from July 13 to September 12, 1997, in basal diameter growth increments of *Balanus rostratus* fed either scallop feces or the diatom *Asterionella glacialis*, or starved in the laboratory, compared with chlorophyll-a concentration of seawater at Stn. C, where scallops were kept to obtain their feces. Vertical bars denote SD.

度の繁殖周期を持つこと、陸奥湾と越喜来湾の両湾では水温変化に大きな違いがない、などを考慮すると、越喜来湾での他の月の生殖巣の変化は概ね陸奥湾のそれと同様の变化を示すものと考えられる。

成長

陸奥湾以外では、日本海北西部のピョートル大帝湾 (Silina and Ovsyannikova, 1998, 1999)、志津川湾 (山内ら, 2007) で調べられているが、自然個体群を対象にしているために、市場サイズに達するまでの年数や死亡率、成育におよぼす環境要因の影響などの情報は十分に得られていない。人為的な垂下状態で成長追跡がなされた報告は4例 (加戸, 未発表; 中西ら, 2003; 加戸ら, 受理; 山内, 2005) が知られている。それによると、陸奥湾では水深5から20mにおいて、付着後約1年で殻底長径が30~32mmに達している (加戸, 受理)。同じ陸奥湾であっても年によってはユウレイボヤの被覆による成長阻害が大きかったことが報告されている (中西ら, 2003)。これに対し、1993年に試験的に越喜来湾に移植した結果では同サイズに達するのに2年近くを要している (加戸, 未発表)。本研究では新たに水深5mと30mにおいて成長を調べたが、水深の違いによる成長差はほとんどなく、約1年後には、殻底長径が30~32mmに達しており (Fig. 4)、陸奥湾の成長と遜色ない結果が得られた。加戸ら (受理) は、本種の成長に関する過去の報告に基づき、本種の潜在能力として、1年後に殻底長径で32mm、2年後に45mm程度まで成長することが可能であると報告した。一方、志津川湾では、水深1mと15mに垂下した個体が翌年4月にはそれぞれ25.8mm、27.0mmに成長したことが報告されている (山内, 2005)。これに照らせば、越喜来湾で見られた1年後の成長は、過去の最大値に等しいことになる。

成長の差をもたらす要因として、水温、餌などが考えられるが、加戸 (未発表) は実験的に異なる水温 (5, 10, 15, 20°C) で本種を飼育した結果、低水温ほど成長が早いことを明らかにしている。しかし、実海域では同一場所の異なる水深において、年中5°Cの水温差が維持されることはあり得ない。また、本研究において5mと30mにおけるクロロフィルa濃度の間には3月を除いて大きな差は認められていない (Fig. 5)。これらのことから、成長の差は年や地域における餌の量や質あるいは他生物による影響が反映するものと考えられる。

消化管内容物

陸奥湾では、晩秋から初春にかけて珪藻主体の植物プランクトンが増殖し、これらプランクトンが沈降して底泥上にたまることで知られている (山本, 1964)。陸奥湾の底から採集されたミネフジツボの消化管内容物は、植物プランクトンやプランクトン由来と考えられるデトリタスを多く含むことから、本種の食性は植物プランクトン・デトリタス食性であることが示唆され、春の植物プランクトン増殖期に成長・生殖器官への栄養蓄積が行われると報告している (加戸ら, 受理)。Barnes (1959)

は、北東太平洋沿岸でミネフジツボの消化管内容物を調べ、大型フジツボである潮下帯種 *Balanus nubilis* のそれと同様に、珪藻あるいは小型甲殻類よりも小さな有機残渣が重要な餌料となっており、動物起源の内容物はわずかと報告している。越喜来湾におけるミネフジツボの消化管内容物には植物プランクトン中で優占的な珪藻類が多く認められ、動物プランクトンも少ないながら観察され (Table 2)、陸奥湾産のそれと比べ量的にも多かった。しかし、陸奥湾産フジツボで観察されているデトリタス様の有機物質はほとんど認められなかった。その理由の一つには越喜来湾で調べた個体は水深10mに垂下されたものであり、この水深の有機懸濁物中に占めるデトリタス成分の割合が少ないことに基づくものと考えられる。この点に関し、消化管内容物相対量 (Table 2) とプランクトン中 (Table 1) に占める珪藻類および動物プランクトン相対量の関係を見ると (Fig. 7)、消化管内容物相対量とプランクトン中の珪藻相対量には正の相関が認められた (ピアソンの相関係数0.835、 $P < 0.01$) のに対し、前者と動物プランクトン相対量の間には相関は認められなかった (同相関係数0.297、 $P > 0.01$)。この結果は越喜来湾 (水深10m) に垂下したミネフジツボの消化管内容物が主に植物プランクトンである珪藻類に大きく依存していることを示唆するものと考えられる。

Fig. 7 Relationships between the relative abundance of diatoms and zooplankton in plankton samples and their respective relative abundance in the gut contents of transplanted *Balanus rostratus* kept at 10-m depth at station A in Okkirai Bay. Each dot indicates a sampling date. For an explanation of the units on the vertical and horizontal axes, see the text. Regression lines were fitted by the least-squares method.

ホタテガイ糞の餌料効果

陸奥湾では3万トン規模でホタテガイ養殖が行われており（境，1969）、濾過食動物であるホタテガイから排出される糞量はかなりの量になることが予想される。これらの糞は排出直後からバクテリアの分解を受けながらデトリタスとして湾底層に降下・沈殿していくことを考えると、陸奥湾底泥上のデトリタス様沈殿物中に占めるホタテガイ糞由来の有機物は少なくない。陸奥湾より得られた標本がデトリタス食性であった（加戸ら，受理）ことから、ホタテガイ糞を本種が餌料として利用しているのであれば、これまで直接水産的に利用されていなかった湾底層での有機物をミネフジツボの養殖という形で有効利用することが可能となる。また、本種が比較的貧酸素にも耐えうる（Silina and Ovsyannikova, 1998）ことも好都合である。この点を確かめるべく行われた本研究において、ホタテガイ糞を投与した実験区で、植物プランクトンと同等の成長が示されたことから、ホタテガイ糞は餌料価値を持つことを示すものと考えられた。本実験で投与したホタテガイ糞は排泄されて間もないものであり、ガラス棒を用いてよくかき混ぜても、海水中に懸濁しにくい状態で、海水へ通気を行ったにも関わらず、糞の一部は水槽中のある箇所に集積する現象が見られた。しかし、実際の海域では、排泄された糞はその直後からバクテリアが付着し、分解を受けながら底層に沈降して行くものと考えられ、底層付近に達した際はより壊れやすい形態に変化している可能性が高い。したがって、少なくとも形態的には本種にとって摂餌しやすくなっているものと推察される。飼育開始後28日まではホタテガイ糞投与区が珪藻の *A. glacialis* 投与区とほぼ同等の成長を示したことは、この時期の糞が水塊中の優占珪藻 *P. multistriata* に由来することに関係があると考えられる。一方、28日目以降、珪藻投与区との間で見られた成長差は、天然プランクトン量が減少したことが原因となってホタテガイ糞量の減少をもたらし、これが28日以降の殻底長径の成長を鈍化させたと考えられた。

本実験方法では多量の糞の採集が困難であったため、成長量として示された増加量はごく小さい値にとどまった。そのため、糞のみによる成長が天然餌料環境下のそれに較べてどの程度のものかは明らかには出来なかった。養殖を効果的に行う際、あるいは本種によるホタテガイ糞の有効利用の可能性を判断するには今後さらに実海域で実験を重ねる必要がある。ホタテガイ養殖施設の下部は現在未使用の空間であり、ここを有効活用することで、ホタテガイの糞中の有機物をミネフジツボが利用することにつながり、底質への有機物負荷の軽減に役立つ可能性が考えられる。

本種に関する情報を基に越喜来湾での本種の生態について概観してみる。越喜来湾のミネフジツボは10月後半には成熟に達し、11月後半に幼生を放出していると考えられる。そして、陸奥湾同様2月頃にキブリス幼生に達した個体から順次付着を開始するはずであるが、この時期、越喜来湾では幼生の餌となる珪藻が少ないこと、および北西風が卓越する時期の当たるため幼生が湾内水の

交換とともに湾外へ運び出されてしまう可能性が考えられる。越喜来湾で無事に付着まで至ったミネフジツボは陸奥湾と同等の成長を示す。海水交換率の高い越喜来湾では、ミネフジツボの餌料は植物プランクトンが主体となり、ホタテガイ養殖施設付近では、これらの糞も餌料となりうる。春季の珪藻のブルーム時に盛んに摂餌して、夏までに成長するとともに、体内に栄養分を貯蔵し、陸奥湾と同様8月頃から、生殖巣の発達が行われ、夏から秋には一時的に成長が鈍化する。

越喜来湾におけるミネフジツボ養殖の課題

本研究で得られた知見やこれまでの知見を基に、越喜来湾でのミネフジツボの養殖を行う場合の課題および問題点について考えてみたい。

1) 種苗の確保：喜来湾では本種の分布量自体が少ないため、天然採苗の可能性は低い。抱卵親から幼生飼育を経て、付着種苗を得る方法は、現状では餌の培養、幼生飼育施設、飼育管理などのコスト面から見て効率的とはいえない。陸奥湾において採苗場所が確保される限りにおいて天然採苗がはるかに安価であると考えられる。

採苗方法としては、本種幼生がゴムに多く付着する（加戸，未発表）ことを利用して廃タイヤの利用が考えられる。ゴムには可塑性があるため、強い力を加えると一時的に起こった変形のためフジツボの底殻を壊すことなく剥離可能といえる。これを付着基質として用いることは後のフジツボの出荷を考えた場合に有効であると考えられる。

採苗時期および場所は、加戸ら（受理）で明らかにされた結果から、12月後半から、陸奥湾東湾の中央部以北（加戸ら，受理 Fig. 1の調査地点7，8，10）付近に付着器を垂下するのが最も適していると考えられる。付着器の垂下水深は10m以深が適当と考えられる。

本研究を行うために陸奥湾で付着した当歳ミネフジツボを岩手県三陸町に運んだが、この時の種苗の移送方法は、ホタテガイ貝殻に付着した当歳ミネフジツボをコンテナに収納し、乾燥しないように湿った新聞紙を上から被せただけのものだった。この方法で当歳ミネフジツボを死亡させることなく運べたことから、乾燥、物理的衝撃による殻の破損、温度上昇に注意すれば、7時間程度の輸送時間であれば問題はないものと考えられる。

2) 養殖場所および水深：越喜来湾への移植後においても陸奥湾と同等の成長が見込まれたことから（Fig. 4）、場所的な欠点はないと考えられる。本種の成長や生残は20℃を越える場合に影響を受けることが解っており（加戸，未発表）、越喜来湾ではこの点についても問題は少ないと考えられる。垂下水深はどの水深でも可能であるが、植物プランクトンもしくはデトリタスが豊富な場所が養殖水深として適していると判断され、越喜来湾内ではクロロフィルa極大層がみられる水深10-30m（加戸，未発表）がそれに適うかもしれない。本種が動物性餌料でも成長可能（加戸，未発表）でありながら、消化管内容物に動物起源組成が少なかったことは、本種の受動的摂餌性を想像させる。このことは海水が停滞する場所よ

り循環の良い場所への垂下が成長を早めると考えがちであるが、摂餌器官である蔓脚の長さが流速に対する摂餌行動に影響を与える (Chan and Hung, 2005) ため注意が必要である。

また、本種はデトリタスを餌料としても十分に成長することから、既存のホタテガイやホヤ養殖場のさらに下層の空間を、本種の養殖に利用することも可能であろう。このことは濾過食性養殖種を抱える漁場、とくに冷水域に位置する場所において、本種を用いた漁場底層の有効利用および漁場老化の多少の軽減につながる可能性を示唆するものとして重要であると考えられる。

3) 養殖期間：市場で取り引きされている本種のサイズ (マーケットサイズ) は殻底長径が約 4～5 cm 以上で、殻高は殻底長径以上に大きい。本種の年齢査定方法に関しては未だ明らかでないが、陸奥湾や越喜来湾での成長の様子から判断すると夏に成長の停滞がみられ、これが殻の成長障害線を形成する可能性がある。この成長障害線を年輪と仮定すると、流通しているものは大体 6・7 年歳以上であろうと推測される。陸奥湾や越喜来湾で成長を調べた結果、殻底長径が 4 cm に達するには最低 2 年、殻底長径が 5 cm に達するには 3～4 年を必要とする (加戸, 未発表)。ただし、成長調査に使われた個体のいずれも殻高は同サイズの市場流通ミネフジツボと較べて小さい。これは流通しているミネフジツボでは付着基質が小さいか、密集して付着しているために底面積を広げることが困難なため殻高の増加割合が大きいこと、および本種は成長に伴って縦横の等比成長を示さず殻高の比率が高まる傾向を示すことに起因していると考えられる。従って流通フジツボと同じ形を必要とするなら、4～5 年以上の養殖期間を必要とするが、殻底長径サイズが流通サイズとほぼ同じでありさえすれば良いのであれば、最低 3 年が必要と考えられる。

4) 収穫時期：ミネフジツボは年一度の生殖周期を有している。陸奥湾の場合、生殖巣の発達は 12 月から開始され、この時期に豊富な植物プランクトン、およびこれらプランクトンが沈降して形成された底泥上の音波反射層のデトリタス様の物質を摂餌することにより急速に貯蔵栄養分を蓄積するものと考えられる。陸奥湾における 4 月、5 月頃の材料において、卵巣内の卵母細胞は増大し、その細胞内には多量に卵黄粒が認められただけでなく、殻底軟組織にも多くの顆粒が認められた (加戸ら, 受理)。Korn (1986) は Emar 湾の個体群について同様の顆粒を見いだすとともに組織学的に検討を行い、これらがタンパク質、糖質、脂質であろうと推定している。陸奥湾の地元の漁師の間では、ミネフジツボの最も美味しい時期は 5 月頃であり、その部分はフジツボの軟体部に存在するのではなく、殻底部に存在すると語られている。この事に対する科学的裏付けはまだなされていないが、上記の組織学的結果を考慮すると、卵巣を含む殻底軟組織に蓄えられたタンパク質、糖質、脂質が大いに関係しているものと判断できる。殻底軟組織の発達は晩春まで続くが、5 月以降の生殖巣の発達および生活は貯蔵栄養分を使うことによって補われていると考えられる。夏には寒

流系種である本種にとっては高水温になるため、成長および生殖巣の発達は停滞期に入ると判断される。

越喜来湾においても本種の生殖周期は陸奥湾とほぼ同様であることが明らかとなったが、越喜来湾の場合、植物プランクトンの増殖は陸奥湾に較べてやや遅れ、2 月以降に著しい増殖が例年観察されている。したがって越喜来湾では 2 月から 5 月頃の植物プランクトンが豊富な時期に活発な摂餌を行い、体内、特に殻底軟組織に貯蔵栄養分を蓄積するものと考えられることから、越喜来湾での収穫時期は 4 月から 6 月頃が最も適している。

5) 既存の養殖種への影響：本種の養殖を考える場合、何よりも重要な問題は既存養殖種であるホタテガイへの付着被害であろう。現状では、本種による養殖ホタテガイへの付着被害は報告されていないが、養殖により湾内の個体密度が増えた場合に付着被害を招来する可能性がある。これを軽減する策として、本種の繁殖時期 (10～12 月頃) に幼生が湾外に分散するように本種の養殖施設を沖だしすることが考えられる。また、本種は水温が 17～18℃ に上昇することが成熟・抱卵を促す (Korn, 1986) ことが知られており、夏期にこの水温以下の水域に移動することにより、生殖活動を抑制することも検討の余地がある。本種の成長は春期の珪藻増殖期に大きく依存する (加戸ら, 受理) ことを考えれば、水温が 17℃ を超える 7 月頃まで湾内で維持して成長を助長し、これ以後、湾口部の水深 50 m 以深に本種を移動し、11 月頃までここで維持した後、12 月頃に再び湾内に戻すことにより、生殖活動と幼生の滞留の両者を抑制するとともに、春期の珪藻増殖期における成長も期待できる可能性がある。これについては、今後実証実験を行うとともに、この対策にともなう成長や生残率の変化についても明らかにしていく予定である。

6) 養殖管理：養殖は適当な付着密度に間引いたミネフジツボ幼稚体が付着した基質を準備するところから始まる。ウニやヒトデなどの捕食者による減耗をなくすために海中での垂下養殖が適当と考えられる。その後は、他種のフジツボや付着動物の付着被害を考慮しておく必要がある。最低 3 年間の垂下が必要となることから、場合によっては同種の付着もあり得る。越喜来湾における主要な付着動物は春季にチシマフジツボ *Semibalanus cariosus*、夏にはムラサキイガイ *Mytilus galloprovincialis*、夏から秋にアカフジツボ *Megabalanus rosa* やサンカクフジツボ *Balanus trigonus*、チゴケムシ *Dakaria subovoidea*、数種の群体ホヤ類 (*Botrylloides* spp., *Didemnum moseleyi*, ほか)、ウズマキゴカイ *Dexiospira foraminosus* などが見られている。陸奥湾では、ユウレイボヤ *Ciona savignyi* が本種の成長に大きな影響を及ぼしたことが報告されている (中西ら, 2003)。これらのうち、チシマフジツボは潮間帯種であり、水深 5 m 以深には付着しない。その他の種は潮下帯種であり、深い水深でも付着が見られている。したがって、定期的な付着物除去作業は不可欠であり、これをいかに効率的・効果的に行えるかが養殖化の大きな課題となろう。

謝 辞

本研究にあたり、組織試料作成にご協力をいただいた高橋祐次氏、材料の採集および本種に関する情報提供にご協力いただいた岩谷直美氏、越喜来湾養殖施設の一部使用にご協力を頂いた船砥秀市氏の諸氏に心よりお礼申し上げます。

引用文献

- Barnes H. (1959). Stomach contents and microfeeding of some common cirripedes. *Can. J. Zool.*, 37, 231-236.
- Chan, B. K. K. and O. S. Hung (2005). Cirral length of the acorn barnacle *Tetraclita japonica* (Cirripedia: Balanomorpho) in Hong Kong: Effect of wave exposure and tidal height. *J. Crustacean Biol.*, 25: 329-332.
- 加戸隆介・鈴木潤也・鈴木祐二・難波信由・小河久朗. 陸奥湾におけるミネフジツボの繁殖・幼生分布・付着・初期成長. 日本水産学会誌 (受理)
- Korn, O. M. (1985). The reproduction cycle of the barnacle *Balanus rostratus* in Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Soviet J. Mar. Biol.* 3, 144-152.
- 中西廣義・小坂善信・吉田 達・篠原由香・鹿内満春 (2003). ミネフジツボ養殖手法開発試験. 青森県水産増殖センター事業報告, 33, 229-241.
- 境 一郎 (1969). 日本におけるホタテガイ増養殖. 水産北海道協会.
- 塩垣 優 (1993). 陸奥湾の大型食用フジツボ“ミネフジツボ”. うみうし通信, 14, 36-37.
- Silina A. V. and Ovsyannikova I. I. (1998). The barnacle *Balanus rostratus* and its habitats in the northwestern part of the Sea of Japan. *Ophelia*, 49, 47-54.
- Silina A. V. and Ovsyannikova I. I. (1999). Growth of the barnacle *Balanus rostratus* in the Sea of Japan. *Russ. J. Mar. Biol.*, 25, 19-23.
- Utinomi, H. (1960). Studies on the cirripedian fauna of Japan. IX. Distributional survey of thoracic cirripedes in the southeastern part of the Japan Sea. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, 17, 339-373.
- Yamaguchi, T. (1977). Taxonomic studies on some fossil and recent Japanese Balanoidea (Part 1). *Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan, N. S.*, 107, 135-160.
- 山本護太郎 (1964). 水産増養殖叢書 6. 陸奥湾におけるホタテガイ増殖, 日本水産資源保護協会. 東京, 71-77.
- 山内 東・田中克彦・太斎彰浩・阿部 靖・佐藤雅典・横濱康継・大越健嗣 (2005). 宮城県志津川湾におけるミネフジツボの天然採苗と初期成長. 平成17年度日本水産学会東北・北海道合同支部大会 講演要旨集, 66.
- 山内 東・田中克彦・太斎彰浩・阿部 靖・佐藤雅典・横濱康継・大越健嗣 (2007). 宮城県志津川湾におけるミネフジツボの個体群動態. *Sessile Organisms*, 24, 1-8.