

アコヤガイのリハビリテーションのための 珪藻類給餌システムの開発

廣瀬 紀一*・門谷 茂*²

Development of a Diatoms Feeding System for the Rehabilitation of Pearl Oysters

Norikazu HIROSE and Shigeru MONTANI

Synopsis : Mortality on a mass scale in pearl oyster farming has been considered a serious problem in Japan since 1996, due to food shortage and resulting infection. The authors have developed a diatoms feeding system for pearl oysters to alleviate this. A study was conducted to inhibit the problem and tries to increase and maintain diatoms density by supplementing diatoms for pearl oysters in a rehabilitation water tank in Uwajima, Ehime Prefecture from the spring to summer of 1999 and 2000.

The results show that the diatom density, feces excretion of the pearl oysters and feeding volume uptake were all higher in the rehabilitation water tank compared to outside in the sea. The system improved on the food shortage condition. There is potential here for the prevention of mass mortalities in pearl oysters using the system.

Key words: diatom; pearl oyster; rehabilitation; Uwa sea.

1. はじめに

全国の真珠の生産量 (Fig. 1) は、1988年頃から約 70t 前後で推移していたが、1996年以降は急激に減少し、1998年には29tまで落ち込んだ。これは、1996年の夏以降、全国の真珠母貝および真珠生産地において、例年にない規模でアコヤガイの大量へい死が発生している²⁾ことが原因であり、生産地では大きな社会問題になっている。へい死するアコヤガイの症状は、夏の高水温期に貝柱が赤く変わり、その後へい死に至るのが特徴³⁾である。原因としては、海域の生産能力を超えた養殖量、アコヤガイ自身の弱体化、高水温や餌不足等が指摘されている⁴⁾。さらに、ウィルスあるいは寄生性原虫類による感染症であるという説もあるが³⁾、現状では病原体の特定には至っていない。

アコヤガイは海水中の植物プランクトンや有機物を海水とともに取り込み、ろ過して摂食する。養殖は天然の植物プランクトンに依存する無給餌養殖であり、魚類養殖のよ

うに餌料の量と質を人為的に調節できる技術は開発されていない⁵⁾。養殖海域は夏期の高水温期に貧栄養となり、植物プランクトンの濃度は非常に小さくなり、アコヤガイにとって餌料不足の状態となる。低餌料環境が長期間継続すれば、体貯蔵エネルギーや体成分の消費量は大きくなり、その結果、貝は衰弱しこの状態が著しくなれば貝はへい死に至ると考えられる⁵⁾。アコヤガイの大量へい死の原因は不明だが、著者らは、餌料不足時に植物プランクトンを一時的に供給することで、体力を取り戻し、へい死を軽減できるとの仮説をたてた。この仮説を実証する目的で、珪藻類による餌料供給システムを考案し、その給餌効果について実海域実験を行った。

2. 実験場所および期間

愛媛県宇和島市遊子地区の地先で1999年、2000年の6月から10月上旬まで実験を行った。1999年では8月中旬までは準備期間で、8月24日~10月5日が本実験である。

3. 餌料供給システムの開発

3.1 概要

餌料である浮遊珪藻類を高密度で培養し、アコヤガイに自動給餌するシステムを考案した。珪藻類を室内で3lフラスコ、30lの水槽を用い高密度で少量生産後、屋外の

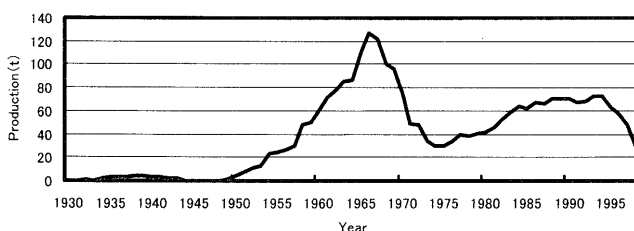


Fig. 1. Changes in production of pearls in Japan¹⁾.

平成14年8月29日受付 平成15年1月31日受理 (Received on Aug. 29, 2002; Accepted on Jan. 31, 2003)

* (株)テトラ テトラ 総合技術研究所 (Tetra Technical Research Institute, Tetra Co., Ltd., 2-7 Higashinakanuki-cho Tsuchiura 300-0006)

*² 北海道大学大学院水産科学研究科 (Graduate School of Fisheries Science, Hokkaido University)

500l 水槽で大量培養し、この一部を定期的にアコヤガイを収容した水槽（以降、リハビリ水槽と記す）に供給するものである。

3.2 1999年度のシステム

6月から *Chaetoceros gracilis* を培養したが、生産量が不安定なので、8月下旬以降は培養珪藻を *Skeletonema costatum* とした。

室内培養では、ESM培地を使用し、原則4日間で植え継ぎを行った。

屋外培養は、冷却機を設置した500lパンライト水槽2槽を用い、原則として週1回、室内で高密度に珪藻を培養した海水を100l入れ、ろ過海水を用いて、500lに希釈し、著者らが開発した藻類増殖用の水溶性ガラス⁶⁾を添加して培養した。この素材は、藻類の増殖を促進する成分である鉄、りん、珪素等を長期にわたり藻類の利用可能なイオンの状態で溶出するもので、海藻類や珪藻類の増殖に効果がある⁶⁾。本システムでは、鉄、りん、珪素イオンを各々溶出する粒径0.3~1.5mmの水溶性ガラスと緩効性の窒素肥料各150~300gを不織布の袋に入れ、さらにネットに入れたものを500l水槽に設置した。この藻類増殖用ガラスおよび窒素肥料は2~3週間で新品と交換した。

ろ過海水は、砂ろ過後、1 μ m、0.45 μ mのミリポフィルターを通過させて作製した。

リハビリ水槽への珪藻の供給は、タイマーを使用して行い、500l水槽には、珪藻を供給して減少した分のろ過海水のみを追加した。藻類増殖用ガラスを使用しているの

栄養分の追加は必要としない。

リハビリ水槽は容量8tとし、養鰻用の白色シートを用い、底面を含む5枚のシートの各辺をロープで編み上げて作製し、真珠養殖の基地筏に固定した。周辺の海水とは海水交換が可能で、静穏時の海水交換量は2.5t/hである。

3.3 2000年度のシステム

2000年度も1999年度とほぼ同様のシステムであるが、以下の点を変更した。培養珪藻は実験開始時から1999年度の実験で増殖が良好であった *S. costatum* とした。屋外培養の500l水槽は4槽を使用し、培養期間は8日間とした。500l水槽からリハビリ水槽への植物プランクトンの供給、あるいは500l水槽で不足したろ過海水の供給には、タイムスイッチ、水位計、ラインポンプを用い、自動運転できるものとした。リハビリ水槽の容量は16tとし、海水交換量は3t/hである。

4. 実験方法

4.1 1999年度

試験貝および対照貝としたアコヤガイには挿核貝（真珠貝）を供した。真珠貝は発生後2年目の貝である。8月下旬から9月末まで、220~340個のアコヤガイを1グループとし、5グループのアコヤガイを1~2週間/回、1グループにつき2~3回リハビリ水槽に収容した。収容後は沖の養殖筏に垂下した。対照貝は、実験期間中、沖の養殖筏に垂下しておいた。

リハビリ水槽への高濃度に珪藻を培養した海水の供給は、アコヤガイが安定して摂餌できるように夜間を中心に、16:00から翌10:00まで2時間間隔で1日に10回行った。1回の供給量は、2槽から計30lとし、1日の供給量は300lとした。

4.2 2000年度

実験対象としたアコヤガイは真珠貝と母貝である。母貝は挿核をしていない1年目の貝である。

リハビリ水槽には真珠貝および母貝を1回に約1000個収容し、原則として4日間リハビリ水槽に収容した後、16日間沖の養殖筏に垂下することを4回繰り返した。



Fig. 2. Experimental site.

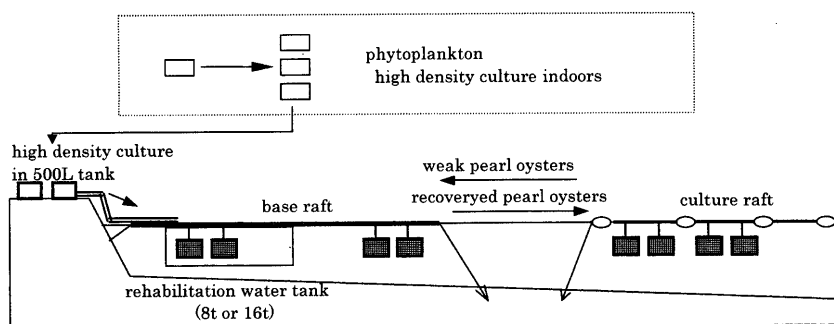


Fig. 3. The food supplement system and the rehabilitation water tank for pearl oysters.

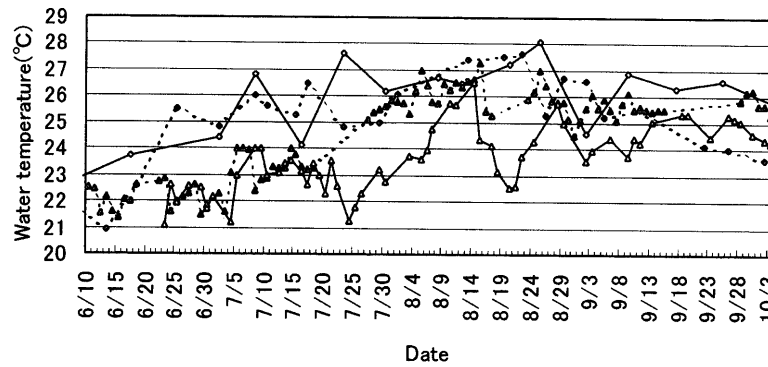


Fig. 4. Changes in water temperature at 3 m depth of experimental site and 2 m depth of near site (◆: 1997, ◇: 1998, ▲: 1999, △: 2000).

リハビリ水槽への高濃度に珪藻を培養した海水の供給時刻は1999年度と同様にし、供給量は1日600lとした。

また、9月中旬よりリハビリ水槽と同構造で容量8tの水槽の海水交換量を調整することで1~2 $\mu\text{g/l}$ の低クロロフィル a 量(chl. a 量)の状態を創出し、母貝を約1000個収容した餌料の供給を行わない水槽を設けた。この水槽はリハビリ水槽と同じ筏に固定した。

4.3 測定項目

実験期間中、実験海域、リハビリ水槽、500l水槽のchl. a 、水温、塩分はクロロテック(アレック社製)、栄養塩($\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{Si}(\text{OH})_4\text{-Si}$, $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$)はテクニコンオートアナライザーにて、1~2回/日測定した。また、約1kgのアコヤガイを入れたカゴの下に直径7.5cm、高さ30cmの筒を6本固定したセディメントトラップを設置し、24時間後に回収、排泄物を採取し、SS, POC, PONを分析した。セディメントトラップによる排泄物の採取は実験期間中数回実施した。

4.4 室内実験

今回培養した珪藻の餌料としての効果を確認するため、アコヤガイに*S. costatum*を与えたときの窒素同化量を室内での摂餌実験により調べた。アコヤガイ1個とろ過海水を入れた3l水槽を2槽用意し、*S. costatum*を実験開始時、120分後、210分後、300分後に投入した。*S. costatum*のPON、実験開始時のDIN、12時間後の実験終了時のDIN、アコヤガイの排泄物中のPONを測定した。

5. 実験結果

5.1 実験海域の特性

5.1.1 海水温の推移

Fig. 4に当該海域の1999, 2000年の水深3mおよび近隣海域の1997, 1998年の水深2mの海水温の推移を示す。この水深は夏期にアコヤガイが垂下されている水深帯である。アコヤガイの好適水温は20~25 $^{\circ}\text{C}$ である⁷⁾が、1999年度は7月下旬に25 $^{\circ}\text{C}$ を超え、9月末まで高水温の状態が続いた。一方、2000年では8月に25 $^{\circ}\text{C}$ を超える日が数日あるが、

1999年に比べて低水温である。この海域では、1999年の水温の推移が例年並みであり、2000年の低水温は希な現象である。

7~9月にかけて急激に海水温が低下する現象が明確にみられる。これは急潮後の水温低下と考えられる。急潮とは突然の速い潮を意味し、通常、沖合から高温の水塊が流入してくるもので、強い流れとともに水温の急上昇を起こす⁸⁾。宇和島湾では、豊後水道から四国沿いに北上してきた黒潮系の暖水塊が湾内に進入してくる際に急潮が発生する。主に夏季に起こり、海水交換に大きな役割を果たすこと⁹⁾が明らかになっている。この急潮では、暖水塊が湾内から出ていくときに、湾外の底層から低温で高栄養塩の海水が湾内に流入し、海水温の急激な低下を引き起こす。1999年は小規模な水温低下がみられるが、2000年は8月に4 $^{\circ}\text{C}$ も急激に低下する現象がみられた。

5.1.2 クロロフィル a 濃度の推移

Fig. 5に実験期間中における実験海域の水深3mにおけるクロロフィル a 量(chl. a 量)の経日変化を示す。1999年では7月前半までは、増減が激しいが、おおむね3.5 $\mu\text{g/l}$ 以上でchl. a 量は高い。7月後半から9月末までの高水温期は、2 $\mu\text{g/l}$ 以下の日が続き低chl. a 量であった。約6回の小規模な急潮により、4~8 $\mu\text{g/l}$ となることもあるが、1~2日継続するのみで、この時期の生産量は低い。

一方、2000年では、安定はしてないが全般的にchl. a 量は4 $\mu\text{g/l}$ 以上の場合が多く、数度にわたり10 $\mu\text{g/l}$ を超えることがみられた。7~9月にchl. a 量がスパイク状のピークを持つのは、おおむね海水温が急激に低下した日以降に発生しているので、急潮後に高栄養塩濃度で低水温の海水が流入したことが想定される。

アコヤガイに必要な植物プランクトンの濃度は、chl. a 量で2.5 $\mu\text{g/l}$ 以上保持されることが望ましい¹⁰⁾とされるが、1999年の7月後半から9月末は餌料不足、2000年度は、十分な餌料環境であったといえる。

5.1.3 実験海域の栄養塩

当該海域の水深3mにおける栄養塩の推移をFig. 6に示す。2000年のデータは1999年に比べ少なく、栄養塩測定

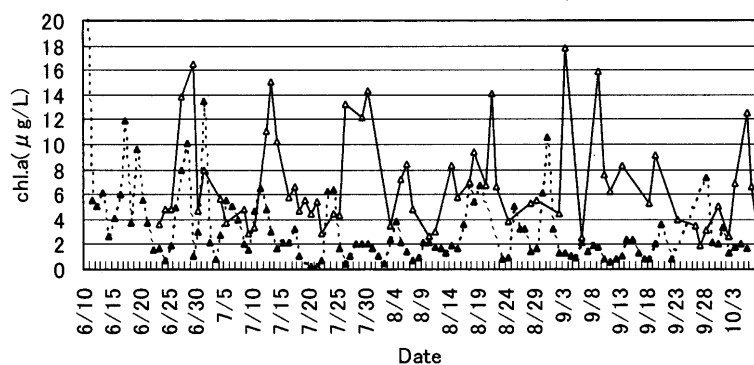


Fig. 5. Changes in chlorophyll *a* concentrations at 3 m depth of experimental site (▲: 1999, △: 2000).

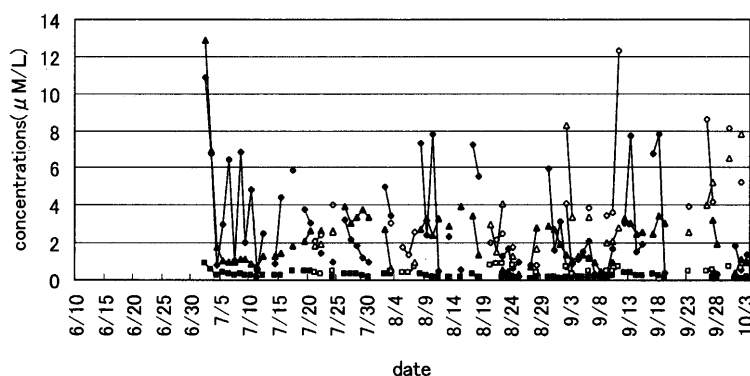


Fig. 6. Changes in nutrient concentrations at 3 m depth of experimental site (◆: 1999 DIN, ■: 1999 PO_4 -P, ▲: 1999 $Si(OH)_4$ -Si, ◇: 2000 DIN, □: 2000 PO_4 -P, △: 2000 $Si(OH)_4$ -Si).

時と急潮後の水温低下時が一致しておらず、明白ではないが、年による差は読みとれない。DINは1~10 $\mu M/l$ で平均的には3.5 $\mu M/l$ 、 PO_4 -Pが約0.1~0.9 $\mu M/l$ で平均的には0.2~0.6 $\mu M/l$ 、 $Si(OH)_4$ -Siが0.2~13 $\mu M/l$ で平均的には2~3 $\mu M/l$ であった。珪藻が増殖するには珪素が必要であるが、レッドフィールド比からみると、珪素の濃度が低く、珪藻増殖の制限要因になっていると考えられる。また、一般に藻類の至適温度は25°C付近である¹¹⁾が、急潮後の植物プランクトンの増殖については、栄養塩の増大のみならず、水温が低いことの影響も考えられる。

5.1.4 急潮後の植物プランクトン組成

1999年の海域の3 m層の植物プランクトン組成を分析した結果をFig. 7に示す。細胞数の多少はあるが、珪藻類を主体とした構成になっている。

8月31日はchl.a量が10.6 $\mu g/l$ と高く、細胞数も多いが、これは8月23日から急潮が発生し、その後低水温で高栄養塩の海水が流入したためと考えられる。このとき出現した植物プランクトンの55%を占める *Nitzschia* 属は、アコヤガイ排泄物中にはっきり原型が認められる種属で、無効餌料とされている¹²⁾。すなわち、急潮は湾内の植物プランクトンを増殖させる機能を持つ¹³⁾が、必ずしもそのすべてがアコヤガイの餌料になるわけではないことが推察される。なお、著者らが増殖対象種として選定した *Skeletonema* 属は排泄物中に原型が認められない種属であることか

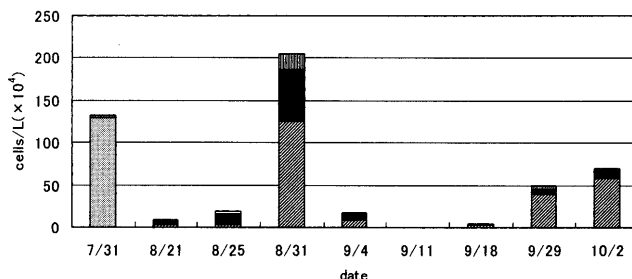


Fig. 7. Changes in phytoplankton composition at 3 m depth in control (▨: *Nitzschia* spp. ■: Other diatoms ■: Cryptophyceae □: Haptophyceae □: Prasinophyceae).

ら有効な餌料である¹²⁾とされている。

5.2 珪藻の培養

室内水槽から屋外水槽に移した時点での珪藻を高濃度に培養した海水のchl.a量は200 $\mu g/l$ 程度で、その後1週間の間に400~800 $\mu g/l$ にまで増殖した。平均的には、300~500 $\mu g/l$ のchl.a濃度に珪藻が増殖した海水を1水槽で1日あたり150 l供給することができた。

5.3 リハビリ水槽内のchl.a量

Fig.8にリハビリ水槽内のchl.a量の変化を示す。1999年では8月中旬以降から *S. costatum* を培養し始めたので、それ以降のデータを示した。値は原則として16時の供給後の測定値である。2000年では、7月中旬以降にデータ採取

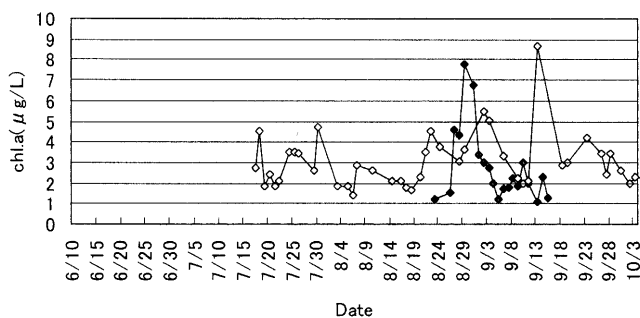


Fig. 8. Changes in chlorophyll *a* in the rehabilitation water tank (◆: 1999, ◇: 2000).

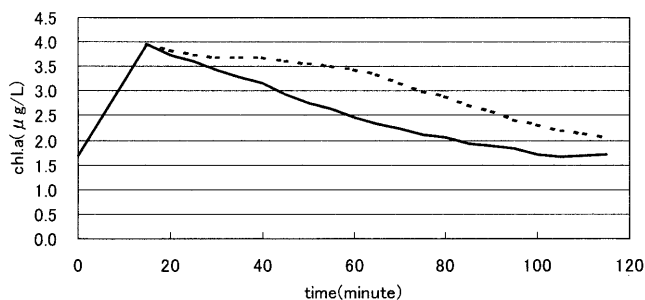


Fig. 9. Changes in chlorophyll *a* concentrations in the rehabilitation tank with and without pearl oysters (—: with pearl oysters, -----: without pearl oysters).

をしたのでその結果を示した。1999年度では、急潮後の chl.a 量の上昇がみられた8月31日には、供給した珪藻を高濃度培養した海水の chl.a 量が 500 l 水槽2槽の平均で 430 µg/l と高いこともあわせて、8 µg/l まで上昇したが、その後、2 µg/l 前後を維持した。2000年度はリハビリ水槽内の chl.a 量は 2~4 µg/l と高い値を推移した。これは、リハビリ水槽内と周辺海域の chl.a 量の推移の傾向が一致しており、500 l 水槽から珪藻を 300~400 µg/l と高濃度に培養した海水の供給と周辺海域の chl.a 量の高い海水の流入の影響によるものと考えられる。

また、Fig. 9 にリハビリ水槽にアコヤガイを収容したときと収容していないときのリハビリ水槽内の chl.a 量の変化を示す。これは1999年9月の実測値を元に作製している。リハビリ水槽は海水交換があるため、アコヤガイを収容しない場合でも chl.a 量は時間とともに減少するが、アコヤガイを収容した場合の方が減少勾配が大きくなり、この差がアコヤガイの摂餌した chl.a 量と考えられる。

5.4 S. costatum の餌料効果

5.4.1 セディメントトラップの結果

1999年に、セディメントトラップで採取されたアコヤガイの単位重量あたりの排泄物量を Fig.10 に示す。S. costatum を給餌したりハビリ水槽内のアコヤガイの排泄物量は、対照区の1.5~3倍となった。排泄物量の差は、chl.a 量がほぼ同一である海域とリハビリ水槽内の餌料として有効な植物プランクトンの量の差であるとする、餌料とし

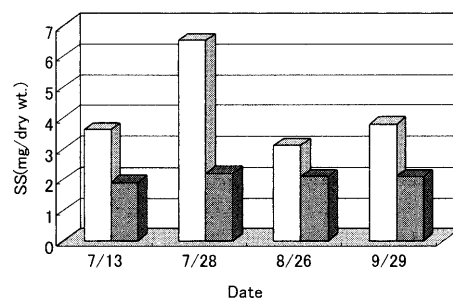


Fig. 10. Comparison of feces excretion of the pearl oysters due to sediment traps (□: rehabilitation, ■: control).

Table 1. Results of the feeding experiment of a pearl oyster.

	unit(a~f): µg		
	Tank 1	Tank 2	Ave.
a. PON in <i>S. costatum</i>	3224	3317	
b. DIN in beginning	93	63	
c. DIN in end	86	63	
d. DIN at loss by sampling water	31	24	
e. PON in Excrement	1585	1034	
f. Assimilation volume a+b-(c+d+e)	1615	2258	
Assimilation ratio f/a×100(%)	50.1	68.1	59.1

て *S. costatum* を供給したことがアコヤガイの排泄物量を増加させた結果と考えられる。9月29日に給餌した *S. costatum* の C/N 比は 7.0 であり、リハビリ水槽中のアコヤガイの排泄物の C/N 比は 8.0 であったことから、餌料中の窒素が多く吸収されており、*S. costatum* が質の良い餌料であることが示唆された。

5.4.2 室内実験の結果

2つの小水槽を用いて、*S. costatum* のアコヤガイによる同化量を測定した。Table 1 に室内実験の結果を示す。Table 1 中の窒素量は、室内実験における12時間のアコヤガイの窒素同化量を示しており、これは、

$$12\text{時間のアコヤガイの同化量} = (S. costatum \text{ (PON)} + \text{実験開始時の DIN}) - (\text{実験終了時の DIN} + \text{採水損失量} + \text{排泄物 (PON)})$$

と定義した。*S. costatum* の投入量 (PON) に対するアコヤガイの窒素同化量との比を同化率 (Assimilation ratio) と定義すると、同化率は、水槽1が 50.1%、水槽2が 68.1%、平均で 59.1% となった。英虞湾のアコヤガイによる懸濁物の同化率は最大で 66%¹⁴⁾ との報告があり、この値と比較すると、*S. costatum* に対する同化率は高い値といえる。また、排泄物の採取容器の中にはアコヤガイの排泄物と摂餌されずに沈降した *S. costatum* が確認された。排泄物中には *S. costatum* の原型がみられず、消化されていた。この結果からも *S. costatum* がアコヤガイにとって有効な餌料であることが示された。

5.5 アコヤガイのへい死率の低減効果

5.5.1 1999年度の結果

1999年度の実験ではリハビリに供した日数が少なかったことから、沖で養殖している貝とのへい死率の差が明瞭

ではなく、リハビリ水槽で飼育した貝も赤変化を起こし、へい死率の低減効果は把握できなかった。

5.5.2 2000年度の結果

2000年度の真珠貝のへい死率は、試験貝が36~43%、対照貝が28%となり、リハビリした方のへい死率が高い結果となった。この年は海域の水温が低いので植物プランクトンの増殖が良好で、chl.a濃度が高い餌料不足がない状態であり、例年ではへい死率が50~60%であるのに対し、28%と豊漁であったことは、水温が低く、餌料があればへい死も生じにくいことを証明している。沖の養殖筏からリハビリ水槽へ試験貝を運搬する際、試験貝を船上に引き揚げると、この運搬するストレスが作用し、試験貝の方がへい死率が高くなったものと考えられた。なお、海域とリハビリ水槽の水温はほぼ同じである。

一方、母貝の試験貝のへい死率は20~26%、母貝の対照貝が29%とわずかであるが、母貝ではリハビリした群でへい死率が低減できた。これは挿核手術の影響のない貝であり、運搬によるストレスが小さいと考えられる。

5.5.3 低chl.a量環境下のアコヤガイのへい死率

2000年は餌料が豊富なため、リハビリの効果は明瞭に得られないことが予想された。9月中旬から2週間、1000個の母貝を例年の夏季と同様のchl.a量が1~2 $\mu\text{g/l}$ 程度になるよう海水交換量を調整した水槽に収容したところ、へい死率は35%と試験貝の20~26%と比較して高い結果になった。この水槽はリハビリ水槽と餌料供給の有無以外は同条件である。このことから、餌料を一時的に与えることが効果的であることが想定された。

6. おわりに

珪藻類の餌料供給システムを考案し、*S. costatum*を高濃度に大量に増殖することができ、リハビリ水槽に収容したアコヤガイに摂餌させることができた。2000年の実海域実験では、水温が低いことから海域の植物プランクトンの濃度が高く、ここ数年みられる大量へい死が生じなかった

ため、アコヤガイのへい死率の低減効果は明瞭には得られなかった。しかしながら、*S. costatum*はアコヤガイによる同化率が高く、質の良い餌であることが判明した。

以上から、アコヤガイの赤変化が生じる海域を選定し、さらに夏期の高水温期でも安定して増殖可能な珪藻類の高水温耐性株を利用すること、また、高水温期にはすでに貝は弱ってしまうので、より早い時期からリハビリを行うことが重要と考えられ、2001年度に新たに実験することとした。この結果については別の機会に報告したい。

本実験の実施全般にわたって古谷和夫前遊子漁業協同組合長をはじめ同組合の皆様、愛媛県水産試験場の佐野隆三顧問に多大な便宜を頂いた。珪藻の室内培養では、宇和島市水産種苗開発センターの四宮陽一氏、三浦漁業協同組合の兵藤陽一郎氏、試験貝の提供、管理では山下長氏に多大な協力を賜った。なお、実験は元香川大学大学院の吉田克己君の修士論文の一部であり、多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

文 献

- 1) 漁業・養殖業生産統計年報，農水省統計情報部，東京，(1997)。
- 2) Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries: *Aqua Culture Magazine*, **35** (1998) Aug., 38.
- 3) Y.Morizane: *Aqua Culture Magazine*, **35** (1998) Sep., 38.
- 4) Y.Koizumi, S.Nishikawa, F.Yakushiji and T.Uchida: *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, **61** (1997) 3, 275.
- 5) K.Numaguchi: *Bull. Nat. Res. Inst. Fish. Sci.*, **8** (1996), 123.
- 6) A.Watanuki, M.Saiki and Y.Sennoh: *Bull. Iron Steel Inst. Jpn.*, **7** (2002), 111.
- 7) 町井 昭：真珠物語，裳華房，東京，(1995)，191。
- 8) 武岡英隆：平成7,8年度漁場環境調査報告書，愛媛大学工学部環境建設工学科，愛媛，(1997)，41。
- 9) 武岡英隆，菊池敬展：海は命 宇和島湾浅海養殖漁場環境調査報告書，遊子漁業協同組合，愛媛，(1990)，739。
- 10) K.Tanaka: *Aqua Culture Magazine*, **34** (1997) Dec., 114.
- 11) 遠藤 寛：藻類研究法，西沢一俊・千原光雄編，共立出版，東京，(1979)，754。
- 12) K.Fukushima: *Shinju Gizyutsu Kenkyukai Kaihou*, **9** (1970) 3, 1.
- 13) 川端善一郎，馬場大哉，杉山幸敬，高橋弘幸，南川慶子，立川 涼：海は命 宇和島湾浅海養殖漁場環境調査報告書，遊子漁業協同組合，愛媛，(1990)，739。
- 14) K.Itou: *Bull. Nat. Pearl Res. Lab.*, **22** (1978), 2363.