

原著論文

# 自然海水を利用した陸上アップウエリングシステム によるアサリ稚貝の飼育方法の検討

崎山一孝\*<sup>1</sup>・山崎英樹\*<sup>1</sup>・兼松正衛\*<sup>1</sup>

## Examination of Short-neck Clam *Ruditapes philippinarum* Rearing System Using Upwelling Method by Natural Seawater

Kazutaka SAKIYAMA, Hideki YAMAZAKI and Masaei KANEMATSU

For low-cost and labor-saving production of the juvenile short-neck clam, rearing trials with an upwelling device were carried out under running natural seawater. As a result, it was clarified that growth of shell length (SL)/day of  $>100 \mu\text{m}$  was obtainable by replacing aquarium water more than 30 times/hour. In addition, the applicable stocking densities were as high as 500,000 ind./m<sup>2</sup> for ca. 3 mm SL, 200,000 ind./m<sup>2</sup> for 5 mm SL and 100,000 ind./m<sup>2</sup> for 8 mm SL. Furthermore, washing the upwelling device by tap water improved the productivity.

2011年10月3日受付, 2012年7月2日受理

我が国のアサリの生産量は、1980年代の16万トン进行ピークとして、近年は4万トンを下回っている。このようなかで、減少した国産アサリの資源量を増やすために、これまでに多くの調査研究がおこなわれてきた。しかし、効果的な方法は未だ開発されていない<sup>1)</sup>。また、アサリの漁獲量を増やすために各地でアサリ天然種苗または人工種苗の放流が行われているが、放流用の国産種苗の不足分を補うために外国産種苗が利用されている。ところが、輸入されたアサリ種苗に混入した害敵生物がアサリ漁場へ移入されたため、アサリ資源に影響を及ぼし、大きな問題となっている<sup>2-4)</sup>。さらに、アサリ資源の減少に伴い、国産の天然種苗の確保が困難になっており、安全な種苗の確保が求められている。その対策として、アサリの稚貝を人為的に生産し、放流用または養殖用種苗として利用する方法がある。しかし、アサリ種苗は単価が安いため、稚貝の種苗生産技術を実用化し現場に普及させるためには、大量の稚貝を低コストで省力的に生産するシステムの開発が必要である。

種苗生産した二枚貝稚貝の飼育方法として、高密度飼

育が可能なアップウエリング方式が知られており、海上で天然の植物プランクトンを餌料とする方式<sup>5)</sup>、室内で人工培養した植物プランクトンを餌料とする方式が試みられている<sup>6)</sup>。本研究では、アサリの餌となる植物プランクトンの培養と供給作業を省略し、低コスト化と省力化を図るために、自然海水のみを利用した陸上アップウエリング方式による飼育技術の開発に取り組み、稚貝の良好な成長と生残を得るために必要な稚貝の適正な収容密度(試験1)と、容器内の海水の換水率(試験2)を把握した。また、自然海水を使用した飼育では、海水中の浮泥等の懸濁物や付着生物が堆積するために、適宜、洗浄作業が必要である。そこで、洗浄作業の省力化を図るために、稚貝と容器を淡水で洗浄する方法の効果(試験3)について把握したので報告する。

### 材料と方法

**供試貝** 試験1と試験2では、瀬戸内海区水産研究所伯方島庁舎で種苗生産した稚貝を2008年4月に同研究所

\*<sup>1</sup> 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所(海産無脊椎動物研究センター)

〒722-0061 広島県尾道市百島町1760

Research Center for Marine Invertebrates, National Research Institute of Fisheries and Environment on Island Sea, FRA, 1760 Momoshima, Onomichi, Hiroshima 722-0061, Japan

sakiyama@affrc.go.jp

百島庁舎に移送し、中間育成したアサリ稚貝を使用した。この稚貝を目合い4mmの篩に留まった群、目合い4mmを通過し目合い2mmの篩に留まった群、目合い2mmの篩を通過した群に選別し、それぞれ8mmサイズ、5mmサイズおよび3mmサイズとして試験に供した。試験3では、伯方島庁舎で種苗生産した稚貝を2009年2月に百島庁舎に移送し、中間育成した稚貝のうち、目合い4mmの篩を通過し目合い2mmに残ったものを試験に使用した。

**飼育装置** 試験1と試験2に使用したアップウエリング装置の概要を図1に示した。稚貝を収容するアップウエリング容器には、塩化ビニール製パイプ（直径6cm、高さ8cm）の片端にプランクトンネット（目合い0.2mm）を取り付けたものを使用した。このアップウエリング容器をポリエチレン製角型水槽（1kℓ）に8個取り付け、水槽に注水した海水が容器の底面から内部に流入し、容器上部の排水口から外部に排出する装置とした。

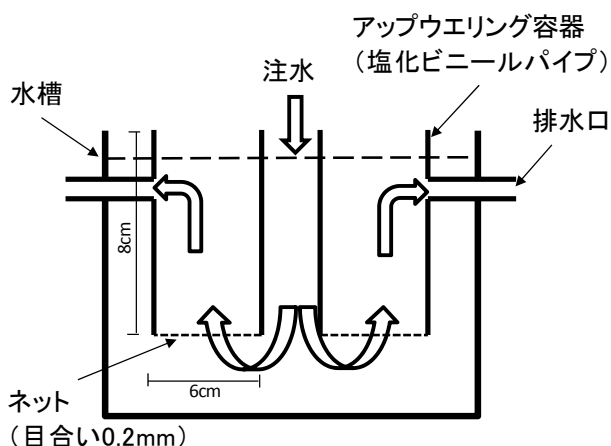


図1. アサリ稚貝の飼育試験に使用したアップウエリング装置の模式図 矢印は海水の流れを示す  
稚貝はネット上に収容  
1水槽に8個のアップウエリング容器を設置



写真1. 市販のアップウエリング容器を使用したアサリ稚貝の飼育装置

試験3に使用したアップウエリング装置を写真1に示した。アップウエリング容器には市販の容器（（株）田中三次郎商店社製 直径34cm 高さ30cm）を使用し、容器底面にはプランクトンネット（目合い0.2mm）を取り付けた。このアップウエリング容器をポリエチレン製角型水槽（1kℓ）に6個取り付け付けたものを飼育装置とした。なお、アップウエリング容器の取り付け位置によって、海水の注水量に不均衡が生じるため、1～2日に1回の頻度で、取り付け位置を交代した。

試験1、試験2および試験3に使用した容器内の海水の交換量（以下換水率とする）は次式により算出した。

換水率（回／時）＝1時間当たりの注水量（ℓ／時）／容器の容量（ℓ）

また、飼育期間中の水温はT&D社製TR-51を使用し、飼育水中のクロロフィル濃度はJFEアドバンテック社製のCLWを用いて、1時間間隔で測定した。

**試験1** 試験は2008年6月30日から7月27日（27日間）まで実施した。アップウエリング容器に3mmサイズ（平均殻長 $2.7 \pm 0.31\text{mm}$ ）の稚貝を70.6千個/㎡、176.9千個/㎡、353.9千個/㎡および530.8千個/㎡の密度で収容し、それらの容器を3個ずつ用意した。容器内の換水率30回/時に設定した。5mmサイズ（平均殻長 $5.1 \pm 0.49\text{mm}$ ）の稚貝の収容密度は、35.4千個/㎡、106.2千個/㎡、212.3千個/㎡および283.1千個/㎡、8mmサイズ（平均殻長 $7.9 \pm 0.59\text{mm}$ ）の稚貝の収容密度は、17.7千個/㎡、35.4千個/㎡、70.8千個/㎡および106.2千個/㎡に設定し、各密度の容器を3個ずつ用意し、3mmサイズと同様の条件で飼育試験を行った。なお、飼育期間中は容器底面のネットの目詰まりを防ぐために、2～3日に1回の頻度で、海水を使用し稚貝と容器を洗浄した。試験終了後、各容器の稚貝をすべて回収し、生残個数の計数および殻長の測定を行った。また、試験開始時と試験終了時の平均殻長から1日当たりの成長量（ $\mu\text{m}/\text{日}$ ）を求め、収容密度との関係を調べた。

**試験2** 試験は2008年7月7日から7月19日（12日間）まで実施した。海水の換水率を0、3、15、21、40、54、97および167回/時に設定したアップウエリング容器を、それぞれ3個ずつ用意し、平均殻長6.5mmの稚貝を100個ずつ収容した。試験終了後、稚貝の生残個数の計数および殻長の測定を行い、容器内の海水の換水率と稚貝の成長、生残との関係を調べた。なお、試験期間中は、試験1と同様に2～3日に1回の頻度で海水を使用し稚貝と容器を洗浄した。

**試験3** 試験は2009年8月10日から9月12日（33日間）まで実施した。試験には、平均殻長 $3.9 \pm 0.72\text{mm}$ の稚貝を使用し、試験区として、アップウエリング容器と容器を取り付けた水槽とも洗浄しない区（対照区）、容器

のみ海水でブラシを用いて洗浄する区 (A 区), 容器と水槽を海水でブラシを用いて洗浄する区 (B 区), 容器にアサリを収容した状態で, 容器と水槽に水道水を掛けるだけの洗浄を行う区 (C 区) を, それぞれ 3 区ずつ設けた。各試験区のアサリの収容密度は 220 千個/㎡とした。試験終了後, 各試験区の稚貝の生残個数の計数および殻長の測定を行い, 洗浄方法の違いによる稚貝の成長, 生残への影響を比較した。

## 結 果

**試験 1** 試験期間中の飼育海水の水温は 26.5 ~ 28.7°C, クロロフィル濃度は 0.5 ~ 1.8  $\mu\text{g}/\ell$  の範囲であった。27 日間の飼育で, 3mm サイズ (平均殻長  $2.7 \pm 0.59\text{mm}$ ) の稚貝が  $6.4 \pm 0.89\text{mm}$  に, 5mm サイズ (平均殻長  $5.18 \pm 0.49\text{mm}$ ) の稚貝が  $9.1 \pm 0.14\text{mm}$  に, 8mm サイズ (平均殻長  $7.9 \pm 0.59\text{mm}$ ) の稚貝が  $12.2 \pm 0.96\text{mm}$  に成長した。3mm サイズ, 5mm サイズおよび 8mm サイズのいずれの試験とも, 稚貝の収容密度が低いほど成長が優れていた。アサリ稚貝の収容密度 (千個/㎡) と成長量 ( $\mu\text{m}/\text{日}$ ) との関係を図 2 に示した。各サイズにおける収容密度 (D) と成長量 (G) の関係式を以下に示す。  
 3mm サイズ:  $G = -0.067 \times D + 142.7$   
 5mm サイズ:  $G = -0.264 \times D + 163.6$   
 8mm サイズ:  $G = -1.293 \times D + 212.2$   
 この関係式から, 1 日当たり 100  $\mu\text{m}$  以上の成長が見込まれる稚貝の収容密度は, 3mm サイズでは 50 万個/㎡, 5mm サイズでは 20 万個/㎡, 8mm サイズでは 10 万個/㎡以下であると推察された。

各試験区の生残率は, 3mm サイズでは 88 ~ 100%, 5mm サイズでは 91 ~ 98%, 8mm サイズでは 85 ~ 96% であり, いずれのサイズとも収容密度と生残率に関連は認められなかった。

**試験 2** 試験期間中の飼育海水の水温は 27.2 ~ 29.7°C, クロロフィル濃度は 0.3 ~ 2.2  $\mu\text{g}/\ell$  の範囲であった。

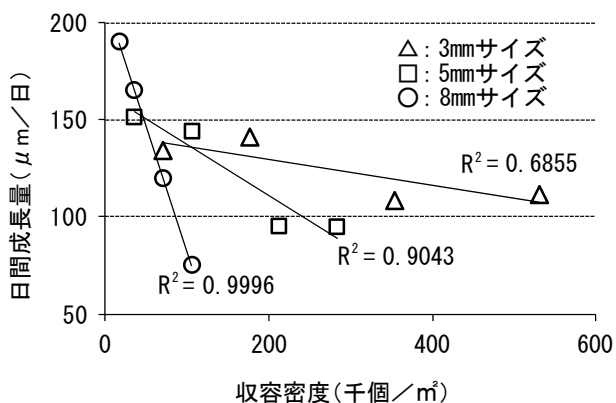


図 2. アップウエリング容器を用いて飼育したアサリ稚貝の飼育密度と日間成長量との関係

アップウエリング容器の海水の換水率と稚貝の成長との関係を図 3 に示した。換水率 100 回/時までは海水の換水率が多いほど稚貝の成長が優れ, 平均殻長 6.5mm の稚貝は 12 日間の飼育で最大 9.2mm に成長した。この試験の結果, 1 日当たり約 100  $\mu\text{m}$  の稚貝の成長が見込まれる海水の換水率は 30 回/時以上であると推定された。また, 本試験では, アップウエリング容器の海水の換水率が 50 回/時以上で 200  $\mu\text{m}/\text{日}$  の成長が確認された。稚貝の生残率は 92 ~ 98% であり, 換水率と生残率に関連は認められなかった。

**試験 3** 試験期間中の飼育海水の水温は 27.2 ~ 29.7°C, クロロフィル濃度は 0.5 ~ 1.5  $\mu\text{g}/\ell$  の範囲であった。容器内の海水の換水率は 15 ~ 20 回/時であった。洗浄方法の異なる各試験区の試験終了時の平均殻長を図 4 に

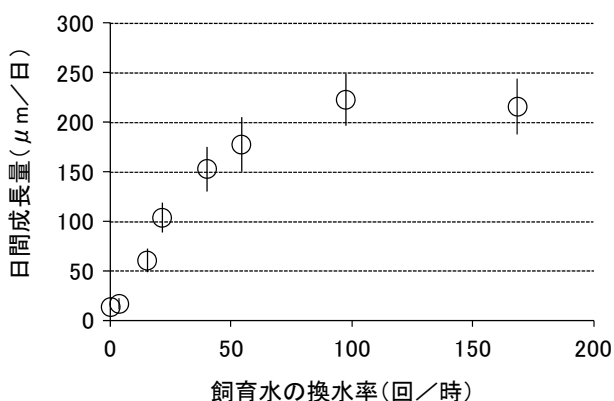


図 3. アップウエリング容器の海水の換水率とアサリ稚貝の日間成長量との関係 (平均値 ± 標準偏差)

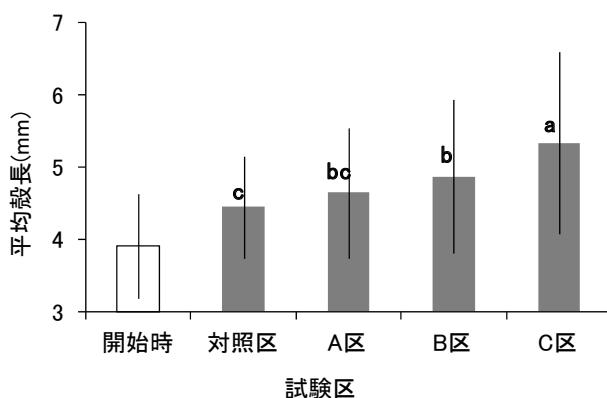


図 4. 洗浄方法の異なるアップウエリング装置で 33 日間飼育したアサリ稚貝の成長の比較 平均値 ± 標準偏差 (異なるアルファベットは有意差を示す Steel Dwass の多重検定  $p < 0.05$ )  
 対照区: アップウエリング容器—洗浄なし 水槽—洗浄なし  
 A区: アップウエリング容器—洗浄あり 水槽—洗浄なし 海水・ブラシ洗浄  
 B区: アップウエリング容器—洗浄あり 水槽—洗浄あり 海水・ブラシ洗浄  
 C区: アップウエリング容器—洗浄あり 水槽—洗浄あり 水道水

示した。飼育期間中に容器と水槽の洗浄を行わなかった対照区の稚貝の平均殻長は  $4.4 \pm 0.70\text{mm}$  であったのに対し、容器のみを洗浄した A 区の平均殻長は  $4.64 \pm 0.90\text{mm}$ 、容器と水槽の両方を洗浄した B 区の平均殻長は  $4.86 \pm 1.06\text{mm}$ 、容器と水槽に水道水を掛けるだけの洗浄を行った C 区の平均殻長は  $5.32 \pm 1.25\text{mm}$  であり、他の試験区よりも大きく (Steel-Dwass の方法による多重比較  $p < 0.05$ )、洗浄方法の違いにより試験終了時の稚貝の殻長に統計的有意差が認められた (Kruskal-Wallis test,  $p < 0.05$ )。一方、各試験区の稚貝の生残率は  $81 \sim 93\%$  であり、洗浄方法の違いによる顕著な差は認められなかった。また、水道水による洗浄を行った C 区では、洗浄後、容器内にヨコエビやゴカイ等の死亡個体が多数確認された。

## 考 察

アップウエリング装置による自然海水を利用したアサリ稚貝の飼育では、稚貝の収容密度と、装置への海水の注水量が成長に影響することが明らかとなった。そのため、稚貝の飼育密度を低くし、注水量を多くすることで、より早い成長が期待されるが、生産コストと労力を低減させるためには、可能な限り高密度で、流量を制限した飼育を行わなければならない。そこで、今回の飼育条件下において、 $100 \mu\text{m}$  / 日以上成長量を得ることを基準として考えると、 $3\text{mm}$  の稚貝を  $50$  万個 /  $\text{m}^2$  の密度で飼育を開始し、 $5\text{mm}$  に達した時点で  $20$  万個 /  $\text{m}^2$ 、さらに  $8\text{mm}$  に達した時点で  $10$  万個 /  $\text{m}^2$  になるように密度を調整する方法が有効であると考えられる。一方、アップウエリング容器への注水量は、海水の換水率が  $70$  回 / 時以上では、稚貝の成長に大きな差は認められなかったことから、揚水にかかるコストを考慮すると、これ以上の注水量は必要なく、また、 $100 \mu\text{m}$  / 日の成長を得るには  $30$  回 / 時の注水量で充分であると判断された。

自然海水を利用した飼育では、海水中に含まれる浮泥等の懸濁物や付着生物がアップウエリング装置内に堆積または付着することにより、アサリ稚貝の成育に悪影響を及ぼすことが想定される。そのため、これらの懸濁物や混入した生物を除去するためには洗浄作業を頻繁に行う必要があり、種苗生産の現場において、大量のアサリ稚貝を低コストで生産するためには、洗浄に要する労力の軽減が最も重要である。そこで、装置の洗浄方法について検討したところ、ブラシを用いて海水で装置を洗浄するよりも、容器にアサリを収容した状態で装置全体に水道水を掛け流す洗浄方法の方が稚貝の成長が優れ、生残への影響は認められなかった。また、作業の省力化の点からも有効な洗浄方法であると判断された。この効果については、容器内の浮泥の除去では、海水を利用したブラシ洗浄、水道水のかけ流し洗浄のいずれでも同程度であるが、水道水のかけ流し洗浄ではゴカイやヨコエビ

等の死亡が確認されたことから、アサリ稚貝と競合する生物を除去する効果があったことが推測される。

種苗生産したアサリ稚貝を放流や養殖種苗として利用する場合、天然種苗と同等のサイズで、費用対効果が見込める販売価格でなければならない。一般的に、放流用のアサリ種苗には、殻長  $15 \sim 28\text{mm}$  天然稚貝が利用されている<sup>7)</sup>。一方、放流に利用される人工種苗の殻長は  $1 \sim 15\text{mm}$  であり<sup>7)</sup>、天然稚貝に比べて小型である。人工種苗を放流や養殖用種苗として利用するためには、放流に使用されている天然稚貝と同程度の大きさまで飼育する必要がある。そこで、瀬戸内海区水産研究所屋島庁舎では、本研究結果をもとにしたアサリ稚貝の飼育試験を実施し、市販のアップウエリング容器 (直径  $34\text{cm}$ 、高さ  $30\text{cm}$ ) 7 個を用いて、殻長  $8 \sim 18\text{mm}$  の稚貝  $39\text{kg}$  (約  $20$  万個) の生産に成功した (山崎 未発表)。このことは、自然海水を利用したアップウエリングシステムが大量のアサリ稚貝を、少人数で省力的に生産できる可能性を示している。

問題点として、自然海水を利用した飼育方法では、使用する海水の餌料条件や水温等に大きく影響されると考えられることから、使用する海水の水質検査を行い、海域によって、稚貝の飼育密度と海水の注水量の調整が必要である。餌料条件について見てみると、本試験の実施期間中のクロロフィル濃度は  $0.3 \sim 2.2 \mu\text{g} / \ell$  であり、他のアサリ漁場の濃度に比べて値が低く<sup>8-10)</sup>、餌環境が良好であったとは言えない。したがって、より餌料環境の良好な海域では、今回提示した稚貝の飼育密度より高密度で、あるいは更に水量を制限し、揚水のコストを節約した条件で飼育できる可能性がある。

今後取り組むべき課題として、さらに小型サイズの稚貝を用いて、自然海水を利用した効率的な飼育方法を検討し、種苗生産コストの低減を図ること、揚水に要するコストを低減させるためのポンプなどの機器の改良と開発等が挙げられる。

## 謝 辞

本試験の実施にご協力いただいた瀬戸内海区水産研究所海産無脊椎動物研究センターの皆さまにお礼申し上げます。本試験の結果をまとめるにあたり、ご助言を賜りました同研究所海産無脊椎動物研究センター関谷センター長に深く感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) 松川康夫・張 成年・片山知史・神尾光一郎 (2008) 我が国のアサリ漁獲量激減の要因について。日水誌, **74** (2), 137-143.
- 2) 浜口昌巳 (2009) 第 1 回国際アサリシンポジウム—資源増殖と管理—。日水誌, **75** (2), 276-278.

- 3) 大越健嗣 (2004) 輸入アサリに混入して移入する生物—食害生物サキグロタマツメタと非意図的移入種. 日本ベントス学会誌, **59**, 74-82.
- 4) 大越健嗣 (2007) 非意図的移入種による水産被害の実例—サキグロタマツメタ. 特集 水産業と外来生物, 日水誌, **73** (6), 1129-1132.
- 5) 藤田真吾・吉田 弘・西広富夫 (1984) Up-Welling System を応用した二枚貝の海上中間育成装置と飼育の試み. 栽培技研, **13**, 29-35.
- 6) 鳥羽光晴・早川美恵 (2002) アサリ稚貝のアップウエリング飼育での適正密度と流量. 千葉水研研報, **No 1**, 63-65.
- 7) 水産庁・独立行政法人水産総合研究センター・(社) 全国豊かな海づくり推進協会 (2010) 平成 20 年度 栽培漁業種苗生産 入手・放流実績 (全国) ~資料編~,
- 8) 沼口勝之 (2001) 潮汐に伴うアサリ漁場底層水中の植物色素量と懸濁粒子量の変化. 日水誌, **67** (2), 209-216.
- 9) 田中崇之・菅本裕介・宮崎郁美・伊藤裕太・浜口昌巳・野田泰一・小林達明 (2004) 東京湾におけるアサリ (*Ruditapes philippinarum* A.adames et reeve.) の個体群動態. 日緑工誌, **30** (1), 193-198.
- 10) 増殖場造成計画指針編集委員会 (1997) アサリ増殖場造成手法, 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, (社) 全国沿岸漁業振興開発協会, 123-146.