

原著論文

小型水槽を使用したアカアマダイの種苗生産

清川智之^{*1}・堀 玲子^{*2}・佐藤利夫^{*3}

Seed Production of Red Tilefish *Branchiostegus japonicus* in a Small Culturing Tank

Tomoyuki KIYOKAWA, Reiko HORI and Toshio SATO

Shimane Prefectural Fisheries Technology Center has been conducting seed production trials of red tilefish *Branchiostegus japonicus* with small culturing tanks (3-5 kL). In 2011, the survival rate was improved from 2-3% to 10% by reconsidering rearing conditions, including feed and methods of water change and aeration, although the proportion of morphological deformities was the highest ever, 75% on average. In 2012, improvement of methods of aeration and of oil film removal led to success in swim bladder inflation at an early point of time of the early larval stage and resulted in not only improvement of the survival rate to 20% but also lowering of the proportion of morphological deformities to 2%, which was the lowest ever. However, death and debility probably caused by bacterial diseases were observed in the cultured fish in the latter half of the seed production trials in both years. Control of such bacterial infections is a future challenge in improving the survival rate further.

2013年7月9日受付, 2013年10月29日受理

アカアマダイ *Branchiostegus japonicus* は漁獲量、生産金額の面から鳥根県内沿岸漁業における位置付けが高く、特に県東部の出雲市小伊津で水揚げされる「小伊津のアマダイ」は高鮮度なブランド魚として京阪神を中心に高い評価を受けている¹⁾。しかし近年、本種の漁獲量は年々減少し、それに伴い生産金額も減少している。こうした状況から、本種の栽培漁業に対する強い要望が地元から県に寄せられ、鳥根県では第5次栽培漁業基本計画において新規栽培漁業対象種に選定した。2006年からは水産技術センター内水面浅海部浅海科において、将来の量産化を目指して、小型水槽(3~5kL)を使用した種苗生産技術開発事業を開始した。種苗生産開始当初はエピテリオシスチス類症、ウイルス性神経壊死症(以下VNN)など重篤な疾病の発生がみられたが、市販の紫外線殺菌装置(フロンライザー、千代田工販)(2011

年からは、鳥根大学と東芝ライテック(株)が共同開発した高出力低圧ランプ搭載殺菌装置(GLQ)を使用、未市販)による飼育水の殺菌により、2008年以降は重篤な疾病の発生はみられなくなった。しかし、2010年まで、ふ化から種苗生産終了までの約2か月間の生残率は平均2~3%と低迷した。また種苗生産終了時の形態異常魚の割合も2009年が3~96%、2010年が7~45%と安定せず、比較的高く推移していた。

本種の種苗生産技術開発に関して(独)水産総合研究センター日本海区水産研究所資源生産部(旧日本栽培漁業協会宮津事業場)を中心に積極的な情報交換が行われており、種苗生産の基本的な部分の本藤ら²⁾によりとりまとめがなされている。しかしながら、現在でもふ化仔魚から取り上げまでの生残率が10%に満たないことがあり、また形態異常についても、数十パーセントにもお

*1 鳥根県水産技術センター内水面浅海部浅海科

〒690-0322 鳥根県松江市鹿島町恵曇 530-10

Senkai Branch, Shimane Prefectural Fisheries Technology Center, 530-10 Emoto, Kashima, Matsue, Shimane 690-0322, Japan

kiyokawa-tomoyuk@pref.shimane.lg.jp

*2 鳥根県松江水産事務所

*3 鳥根大学生物資源科学部

よぶこともあり、本藤らの報告以後、技術が大きくは改善されていないのが現状である。このことは、種苗生産期間中に発生する大量死の要因や形態異常の防止に有効な鰾への空気の取り込み（開鰾）に必要な諸条件が明確にされてないことに起因すると考えられる。またアカアマダイの場合、成熟魚であっても雌親魚の生殖腺熟度指数（GSI：GSI = GW（生殖腺重量）/BW（魚体重）×100）の平均値が最大でも2.31（8月）と小さいため³⁾、得られる卵数が少ない。さらに大型水槽を用いて種苗生産を行う場合、2～3日分の受精卵を同じ水槽に収容する必要が生じるが、成長差が生じ共食いの原因になることが考えられることから、容量の小さい水槽による種苗生産技術の開発が必要である。しかし、小型水槽を用いた種苗生産試験で高い生残率が得られた報告はみあたらない。

本研究では2010年までの種苗生産試験状況を踏まえ、2011年に基本的な飼育方法の見直しを、2012年に形態異常魚の割合を低下させる種苗生産を行い、2011年には5kL以下の小型水槽では初めて1,000尾/kL以上のアカアマダイ稚魚を生産、さらに2012年には1,500尾/kL以上のアカアマダイ稚魚を生産し、さらに形態異常魚の割合を平均2.2%、最低0.5%まで低下させることに成功した。そこで本稿では小型水槽を用いた種苗生産における飼育方法の概要と飼育技術上の要点を報告し、さらに生残率を向上させる効率的な飼育条件を確立するために解決すべき課題について考察した。

材料及び方法

採卵とふ化 種苗生産試験には、2011年9月27～28日、2012年10月4～5日にJFしまね平田支所管内の延縄と一本釣りの漁業者が釣獲した漁獲物の中から、肛門からの内臓の飛び出しや眼球突出のない300～600gの生きた雌親魚を約30尾と1kgを超える高鮮度な雄死亡魚5尾を入手し、水産技術センター内水面浅海部浅海科に搬入し、人工授精によって得た卵を用いた。採卵及び人工授精については本藤ら²⁾の方法に従った。得られた受精卵は、0.2kLポリカーボネート製アルテミアふ化槽（SBF-200、田中三次郎商店）に収容し、紫外線処理海水をかけ流しながら、微通気で一晚管理した。翌日胚体形成に達した卵をオキシダント海水（HSE-100、(株)東和電機製作所）で生成）と紫外線処理海水を混合し、オキシダント濃度0.5ppmに調整した海水で30秒間消毒した後、容量3または5kLの飼育水槽に収容した。ただし、2012年は試験に十分な受精卵が確保できなかったため、不足分は山口県外海栽培漁業センターで採卵し、胚体形成後にオキシダント海水で消毒した受精卵を、酸素封入したビニール袋に入れ、当施設まで輸送して種苗生産試験に供した。

なお水槽に収容する受精卵数は、0.2kLアルテミアふ化槽に収容した卵のうち、飼育水槽収容直前に浮上していた受精卵をネットですくい取って10Lの容器に移し、その中の5～10mLを3回取り出して卵の個数を計測し、

表1. 2010年以前、2011年、2012年の基本的な飼育管理

内容	2010年以前	2011年	2012年
飼育水槽		容量3m ³ または5m ³	
換水		日齢1～12は止水、それ以後換水 (段階的に換水量を増加、2012年のオーバーフロー試験区のみ日齢3・4～6のみ20%/日流水)	
貝化石の散布		フィッシュクリーン ^{※2} を1m ³ 当たり10g×1回/日	
照明（連続点灯）		蛍光灯24時間点灯（日齢2～10）レフランプ（200W）＋ハロゲン投光器（500W） または蛍光灯を用いて夜間照度を500～2,000Luxになるように点灯	
加温の有無		チタンヒーターを用いて加温	
ワムシの給餌		日齢3からS型を5個体、以後10個/ccになるよう給餌	
アルテミアの給餌と強化剤		日齢21～25に給餌開始、強化剤はスーパーカプセルA-1 ^{※3}	
配合飼料の給餌		日齢20～27から給餌開始	
底掃除		配合給餌期以降に実施	
収容受精卵個数（1m ³ 当たり）	7,000（全水槽平均）	14,000～18,000	16,000～19,000
収容ふ化仔魚数（"）	3,864（全水槽平均）	10,500～15,500	9,500～12,000
酸素供給	しない	補助的に使用（各水槽1ヶ所から微通気）	
換水方法	水位を落とした後、元の水位まで注水	流水	
照明（薄暮時間点灯）	なし	日没時（16～19時）と日出時（5～8時）（水面照度5～20Lx）	
飼育水への微細藻類の添加	SV12（トン当たり10mL×2回）	ナンノクロロプシスを20～120万細胞/cc (2011年は一部の水槽でSV12を添加)	
飼育水の通気方法	小型ユニホースを水槽中央に設置、卵収容時から微通気	エアストーンにより水槽内4ヶ所から弱通気	エアストーンにより水槽内4ヶ所から微通気
飼育水の紫外線殺菌	実施（既存の装置による）	実施（既存の装置、およびGLQ ^{※1} による）	実施（GLQ ^{※1} による）
油膜除去装置の使用	日齢3～7	日齢3～20	日齢3～10
ワムシの強化剤	SV12	SV12（一部市販の濃縮ナノ）	市販の濃縮ナノ

^{※1}GLQ：高出力低圧UV殺菌装置、高出力がかつ高効率にUV（波長185nm、254nm）を放射するランプ

^{※2}フィッシュクリーン：貝化石、飼育水中の汚れを吸着し、病原菌の増殖を抑える等の効果があるとされる

^{※3}スーパーカプセルA-1：ω3高度不飽和脂肪酸含有のアルテミア栄養強化剤

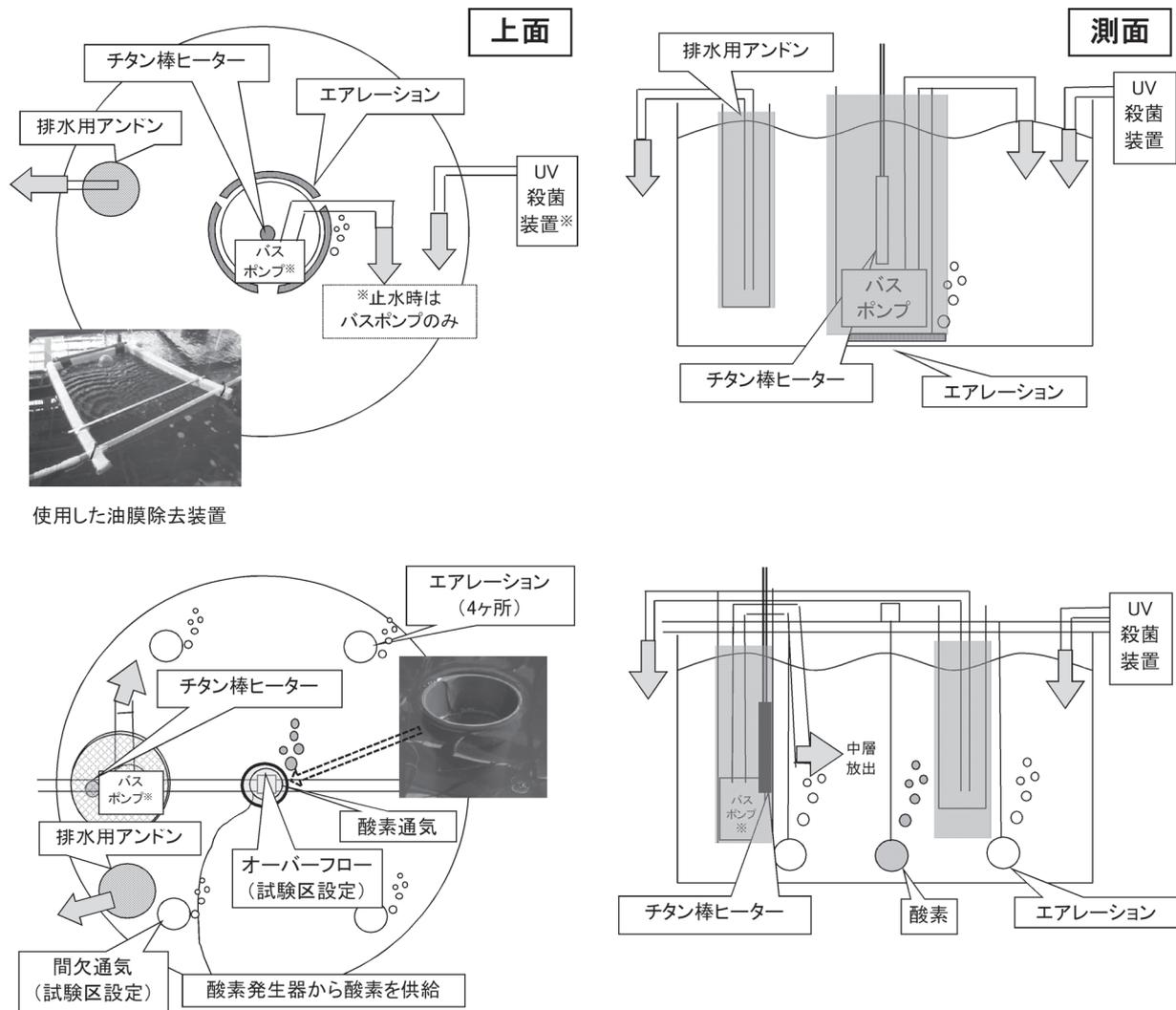


図1. 3kL及び5kL円形FRP水槽を用いた種苗生産における資材の配置
 上：2010年，下：2011年と2012年，網掛けの部分は仔稚魚が通過しない目合いのネット

その平均値を全体の容量で引き延ばした数とした。またふ化仔魚数は日齢3～5の夜間に分布が均一化した時点で、水槽全体を反映するような塩ビ製の筒により飼育水2Lを取り出してその中の仔魚を計数し、全体の容量で引き延ばした個体数とした。

基本的な飼育管理 2010年以前、及び2011年、2012年における基本的な飼育管理方法を表1に、飼育資材の配置を図1に示した。仔稚魚の飼育管理のうち、2011年の主な変更点は、①単位容積当たりの収容受精卵数を増加、②通気方法を直径10mmのユニホース（フレキストン、大和実業(株)）による中央部からの供給から直径23mm（長さ70mm）の棒状か、直径50mmの焼成エアストーン（AS-5またはAS-1、田中三次郎商店）による四方からの供給に変更し、2010年に発生した酸欠による減耗を防止するために通気と同じエアストーンによる酸素供給（微通気）も併用（図1）、③日齢0～30の間、

稼働時間30分に8～10分（2010年までは日齢3～25、稼働時間30分に5分）の間、小型バスポンプ（minipondy KP-103、(株)工進）による飼育水の攪拌を十分に行う、その際の飼育水の放出位置をそれまでの表層から中層に変更（図1）、④水位を落とした後、元の水位まで注水する換水方法から流水による連続換水（注水量を安定させる目的で、一旦容量1トンのタンクに入れてから、落差により注水）に変更、⑤飼育水の殺菌を、フィルター等によるろ過が推奨されている、これまでの紫外線殺菌装置（フロンライザー、千代田工販）から、フィルター等による前処理なしでも殺菌が可能とされる高出力低圧ランプ搭載殺菌装置（GLQ）に変更（2011年は一部の試験区で使用）、⑥薄暮時の低照度、斜光による蜻蛉、狂奔行動を抑制する目的で日没時（16～19時）、日出時（5～8時）に5～20Lx程度の光が水面全体を照らすよう電球型蛍光灯もしくはLEDランプ（LDA9N-H20ほか、OHM電機）を点灯、⑦飼育水に添

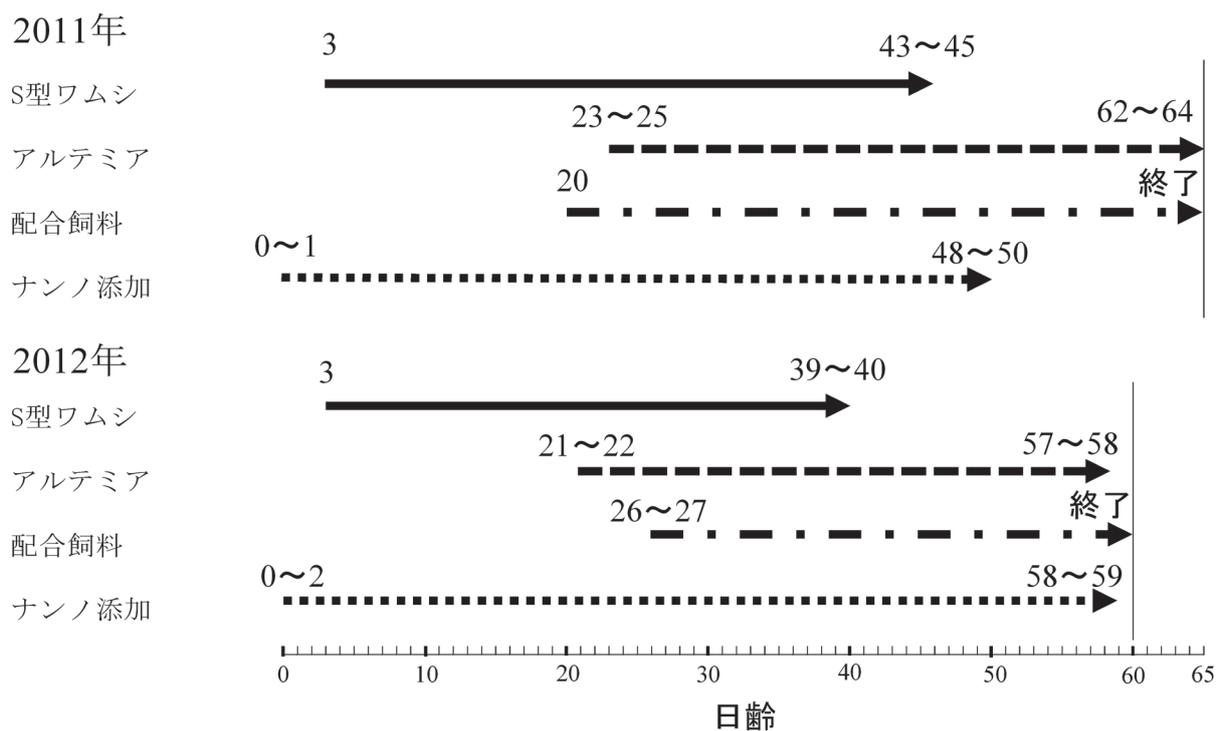


図2. 2011, 2012年におけるアカアマダイの種苗生産試験時の餌料系列
図表内の数字は日齢

表2. 飼育試験に用いた生物餌料の栄養強化方法

	ワムシ 通常培養	ワムシ 給餌前の 栄養強化	アルテミア	飼育水に 添加した 微細藻類
2010年以前				
生クロレラ-V12	○			
ナノクロロブシス (マリーナフレッシュ)				
スーパー生クロレラ-V12		○		○
スーパーカプセルA-1			○	
2011年				
生クロレラ-V12	○			
ナノクロロブシス (マリーナフレッシュ)		○ (一部)		○
スーパー生クロレラ-V12		○		○ (一部)
スーパーカプセルA-1			○	
2012年				
生クロレラ-V12	○			
ナノクロロブシス (マリーナフレッシュ)		○		○
スーパー生クロレラ-V12				
スーパーカプセルA-1			○	

加する微細藻類を高度不飽和脂肪酸が強化された淡水クロレラ（スーパー生クロレラ V12, クロレラ工業, 以下 SV12）から濃縮ナンノクロロプシス *Nannochloropsis oculata*（商品名：マリンフレッシュ, マリンテック株, 以下ナンノ）に変更, の7点である。

また 2012 年の主な変更点は, 仔魚の鰾形成に必要な水面からの空気取り込みに重要な油膜除去装置（図 1）の設置期間の短縮（2011 年：日齢 7 以降も開鰾率が低かったため日齢 20 まで使用）, 2012 年：日齢 3～10）と装置に供給する通気量を増加（約 4 倍）させた点, エアストーンによる通気量をおよそ 0.5L/分（以下, 弱通気とする）から 0.1～0.2L/分（以下, 微通気とする, ただし後述の間欠通気区（30 分につき 15 分間の通気停止を日齢 4～12 の間, 24 時間継続）については 2012 年も弱通気とする）に変更した点である。

餌料系列と餌料生物への栄養強化方法 2011 年と 2012 年における餌料系列を図 2 に, また飼育に用いた生物餌料の栄養強化方法を表 2 に示した。シオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex（クロレラ工業株, 以下ワムシ）の培養には粗放式連続培養法⁴⁾を用い, ワムシの通常の飼育には, 淡水クロレラ（生クロレラ V12, クロレラ工業, 以下 V12）を残餌が出ない程度に連続給餌した。また仔魚に給餌前のワムシの栄養強化には, 2010 年以前は SV12, 2011 年は SV12 または油膜の発生が少

ないとされるナンノ, 2012 年はナンノのみとし, 1 日に 1～2 回, 開口直後の日齢 3 以降, 10 個体 /mL を目安に給餌した。アルテミア *Artemia* sp. については, 高度不飽和脂肪酸強化餌料（スーパーカプセル A-1, クロレラ工業）で栄養強化を行ったものを, 1 日に 1 回, 残餌が出ない程度に給餌した。配合飼料については日齢 20～27 以降, 残餌を確認しながら 1 日数回の頻度で適量給餌した。

飼育試験 2011 年, 2012 年の飼育試験方法の概要を表 3 に示した。2011 年は飼育水の殺菌と加温, 給餌するワムシの栄養強化, 飼育水に添加する微細藻類の種類を変化させた, 試験区①～⑥を設定した。すなわち高出力低圧ランプ搭載殺菌装置（以下 GLQ）の効果を確認するため, 本装置を用いた試験区と既存の紫外線殺菌装置を用いた試験区を設け, 重篤な疾病の発生の有無等その効果を確認した。また 2010 年の試験で水温の急低下が起きた水槽で成長速度の低下や形態異常率の上昇がみられたことから加温の有無と, 飼育水に添加する微細藻類の種類をこれまでの SV12 からナンノに変更した試験区を設けた。

2012 年は 2011 年の試験結果を基に, UV 殺菌装置は GLQ, ワムシの栄養強化, 飼育水への添加微細藻類にはナンノを用いて加温飼育を行った。また, 2011 年に問題となった形態異常魚の出現の防止を目的とした試験

表 3. 2011 年と 2012 年の飼育試験の概要

試験区	水槽容量 (kl)	飼育水の殺菌	飼育水の加温	ワムシの栄養強化	微細藻類の添加	オーバーフロー換水 ^{*1}	間欠通気 ^{*2}
2011年							
①	5	高出力低圧 UVランプ (GLQ)	有	SV12	ナンノ ^{*3}	無	無
②							
③	3	UVランプ	無 ^{*4}	ナンノ ^{*3}	SV12	有	有
④							
⑤			有	SV12			
⑥			無	SV12			
2012年							
①	5	高出力低圧 UVランプ (GLQ)	有	ナンノ ^{*3}	ナンノ ^{*3}	無	有
②						有	有
③	3	UVランプ	有	ナンノ ^{*3}	ナンノ ^{*3}	有	有
④						無	有
⑤						有	無

*1：日齢3または4～6までの間, 20% /日流水

*2：30 分につき 15 分間の通気停止を日齢 4～12 の間 24 時間継続

*3：ナンノ：濃縮ナンノクロロプシス（商品名：マリンフレッシュ（マリンテック株式会社製））

*4：③は日齢55から, ④は日齢27から加温

表 4. アカアマダイ種苗生産結果の概要

試験区	飼育水槽 容量 (m ³)	受精卵収 容月日	収容				日 齢	取り上げ			生残率 (%)	形態異常率 (%)
			受精卵数 (個)	ふ化仔魚 数 (尾)	ふ化率 (%)	密度 (尾/m ²)		月 日	尾数 (尾)	平均全長 (mm)		
2011年												
①	5	9.29	90,000	52,500 ^{※1}	58.3	10,500	62	11.30	5,353	-	10.20	66.82
②	5	9.29	90,000	77,500 ^{※1}	86.1	15,500	63	12.1	8,402	-	10.84	79.49
③	3	9.28	46,000	46,000 ^{※1}	100.0 ^{※2}	15,333	64	12.1	5,134	-	11.16	85.66
④	3	9.29	41,000	41,000 ^{※1}	100.0 ^{※2}	13,667	66	12.5	6,687	-	16.31	65.23
⑤	3	9.28	46,000	46,000 ^{※1}	100.0 ^{※2}	15,333	64	12.1	2,764	-	6.01	87.55
⑥	3	9.30	41,000	41,000 ^{※1}	100.0 ^{※2}	13,667	52で廃棄	-	-	-	0	-
合計 (平均)	22	9.28-30	354,000	304,000 ^{※1}	85.9	13,818	-	-	28,340	-	10.78 ^{※3}	75.64 ^{※3}
2012年												
①	5	10.6	94,815	47,500 ^{※1}	50.1	9,500	16に全滅	-	-	-	-	-
②	5	10.6	94,815	47,500 ^{※1}	50.1	9,500	59	12.4	12,884	24.7(54)	27.12	2.60
③	3	10.4-5	46,600	36,000 ^{※1}	77.3	12,000	59・60	12.3	5,857	25.5(55・56)	16.27	0.48
④	3	10.6-7	52,375	28,500 ^{※1}	54.4	9,500	60・59	12.5	6,869	25.0(54・53)	24.10	2.36
⑤	3	10.6-7	52,375	36,000 ^{※1}	68.7	12,000	60・59	12.5	7,013	25.8(54・53)	19.48	2.54
合計 (平均)	19	10.4-7	340,980	195,500 ^{※1}	57.3	10,289	-	-	32,623	-	22.04 ^{※3}	2.15 ^{※3}

※1: 日齢3～5の尾数をふ化仔魚数とした

※2: 計数結果が受精卵数を超えたので100%とした

※3: 全滅した生産回次Iを除く



写真1. オーバーフローによる換水

区①～⑤を設定した。すなわち、2011年の試験において日齢15で半数程度、日齢25で大半の仔魚に鰾が形成されたにもかかわらず、種苗生産終了時の形態異常魚の割合が平均75%にも達したことから(表4)、形態異常魚の発現は仔魚前期の早い時期に鰾に空気を取り込み開鰾できるかどうかで決定すると考えられた。そこで、開口後の仔魚の開鰾に効果的な飼育方法を検討する目的

で、二つの試験を組み合わせた。一つは水面の油膜の除去、すなわち全試験区とも前項で示した給餌前のワムシの栄養強化をナンノのみで培養し、かつ油膜除去を徹底するため、油膜除去装置の通気量を増大させたが、さらに日齢3または4～6の間、1日20%の飼育水をオーバーフロー(写真1)により換水し水面の油膜除去を行う試験区(オーバーフロー換水区)を設けた。もう一つ

はその他の要因の除去，すなわち常時通気では水流により仔魚が流されてしまい水面に接触できにくく，またバスポンプの水流は横方向の流れしかないため，仔魚が水面付近へ移動し空気を取り込み開鰓する助けにはならないと考え，間欠的に通気を行う区（間欠通気区，30分につき15分間の通気停止を日齢4～12の間，24時間継続）を設けた。

鰓の観察と形態異常の確認 2011年は日齢6～27の間の2～3日おきに，2012年は日齢4～8までは毎日，それ以降はふ化から1ヶ月経過まで数回，各試験区から午前中に約10尾を抽出し，実体顕微鏡下で全長測定後，鰓内のガスの有無を観察した。形態異常の確認は，種苗生産終了時に全ての個体の数を計数しながら一尾ずつビーカーに入れて肉眼で観察し，脊椎骨に屈曲がみられる個体を形態異常魚とした。なお，鰓蓋に異常のある稚魚がわずかに確認されたが，今回の解析では形態異常魚に含めなかった。

GLQ装置の殺菌能力の確認 高出力低圧ランプ搭載殺菌装置（GLQ）の殺菌能力について，装置内をクエン酸で十分に洗浄，重曹で中和した後，マリンアガー2216培地（Marine Agar 2216, Difco）を用いて，処理前後の砂ろ過海水中の生菌数，及び過去に発生がみられたVNNやエピテリオシスチス症などの重篤な疾病等の発生の有無について確認した。

結 果

種苗生産結果 2011年及び2012年における種苗生産結果を表4に示した。2011年は5kL水槽2面，3kL水槽4面の計6面に受精卵354,000粒を収容し，得られたふ化仔魚304,000尾（ふ化仔魚時の飼育密度：平均13,818尾/kL）を用いて種苗生産を行い，約2ヶ月後に28,340尾（平均1,491尾/kL）を取り上げた。ふ化から取り上げまでの生残率は平均で10.8%（うち一面は日齢52に廃棄したため，生残率の算出には用いなかった），形態異常率は平均で75.6%であった。2012年は5kL水槽2面，3kL水槽3面の計5面に受精卵340,980粒を収容し，得られたふ化仔魚195,500尾（ふ化仔魚時の飼育密度：平均10,289尾/kL）を用いて種苗生産を行い，約2ヶ月後に32,623尾（平均2,330尾/kL）を取り上げた。ふ化から取り上げまでの生残率は平均で22.0%（うち一面は原因不明の斃死で日齢16に全て斃死したため，生残率の算出には用いなかった），形態異常率は平均で2.2%であった。2011年と2012年の結果を比較すると，生残率で2倍，形態異常率では1/35まで低下した。また2012年の試験区のうち，間欠通気とオーバーフロー換水を併用した飼育では，形態異常率が0.5%まで低下した。

飼育試験結果 2011年，2012年の飼育試験とも，飼育水の加温についてはヒーターの能力が低く，飼育水を1℃程度上昇させる程度の能力しか得られなかったため（図3），加温，無加温飼育水槽間において成長，生残及び形態異常率に違いは確認できなかった。ワムシの栄養強化については，ナンノを使用した試験区④の生残率が最も高く（16.3%），かつ形態異常率が低かった（65.2%）。しかし，形態異常率は平均の75.6%よりは低いものの，過去の種苗生産結果と比較すると高かった。生残率については平均で10.8（6.0-16.3）%であり，試験区により差がみられたが，これは種苗生産後半に発生した滑走細菌症及びそれに伴う沈降死が主な原因と推察され，種苗生産前半は各試験区間に差はみられなかった。

2012年の飼育試験では，オーバーフロー換水や間欠通気の有無で試験区を設け形態異常率の推移を調べたが，両方を行わなかった試験区②では2.6%（12,884尾中335尾），両方行った試験区③では0.5%（5,857尾中28尾），間欠通気のみ行った試験区④では2.4%（6,869尾中162尾），オーバーフローのみ行った試験区⑤では2.5%（7,013尾中178尾）であった。両方行わなかった試験区②と両方行った試験区③の間で χ^2 検定（有意水準1%）を行った結果，試験区②は5kL水槽，試験区③は3kL水槽を用いているため単純には比較できないものの有意差があると判断された。また同じ3kL水槽を用いた試験区③と，オーバーフロー換水または間欠通気のどちらか一方のみを行った試験区④及び⑤との間でも有意水準1%で有意差があった。しかし両方行わなかった試験区②と試験区④及び⑤の間には，有意差はなかった。

生残率については平均で22.0（範囲：16.3-27.1）%であり，試験区による差は比較的小さかったが，2011年と同様に種苗生産前半よりも後半に多く斃死がみられた。図4に試験区②～⑤における日齢30から取り上げまでの生残率の推移を示した（生残率100%は日齢3の計測値，それ以外は取り上げ尾数から死亡尾数を減じた数値）。疾病については，2011年及び2012年とも種苗生産後期に滑走細菌症様の斃死及び蝟集，狂奔行動に関係すると思われる斃死が発生した。いずれの試験区においても日齢30以降は毎日少量の斃死が継続し，日齢30から取り上げまでに2/3程度の稚魚が斃死した。斃死魚を観察すると尾鰭等にただれや欠損がみられ，その付近を顕微鏡で観察すると滑走細菌様のコロニーや運動性のある細菌が認められた。また斃死の多い水槽では尾が白くなり衰弱した仔稚魚がふらふらと遊泳する様子が観察されることもあった。しかし2011年に回収された衰弱魚及び斃死魚には形態異常がみられたが，2012年に回収されたそれらには形態異常がほとんど確認されなかった（写真2）。

薄暮時の点灯については，水面全体を弱い光で照らすことで狂奔行動が抑制された。また消灯，点灯時に発生

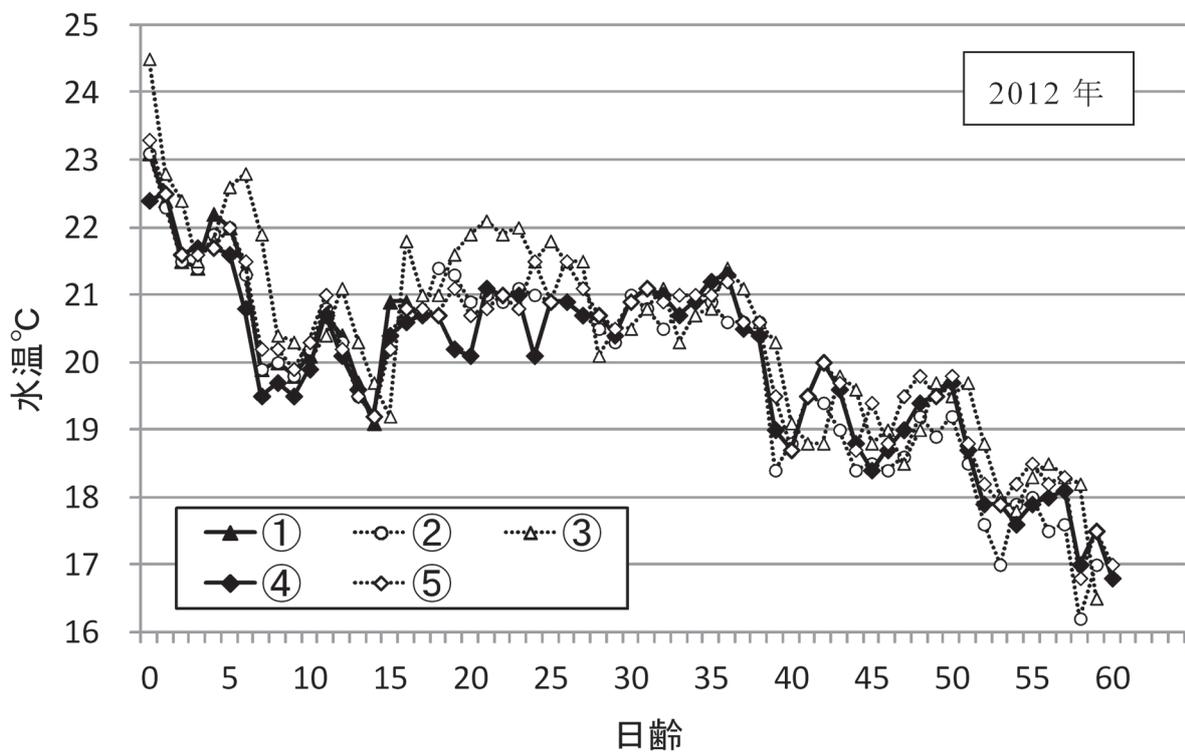
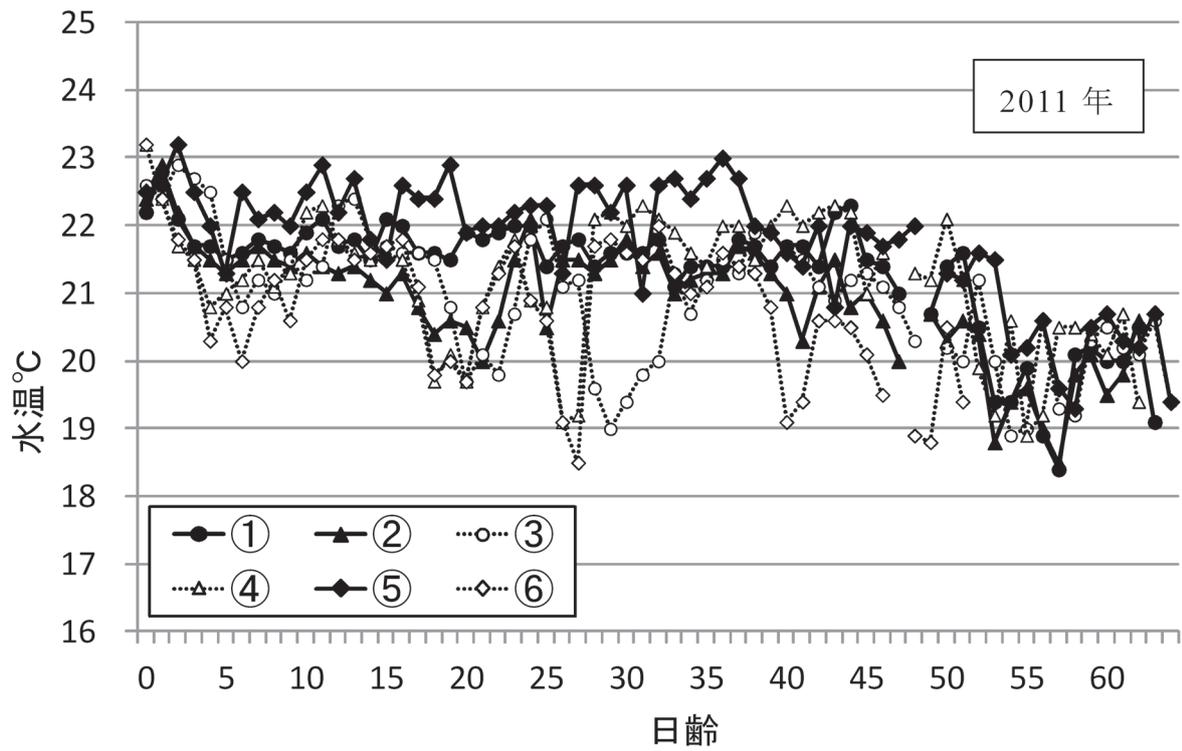


図3. 各水槽の水温変化
 2011年の①～⑥、2012年の①～⑤は表3、4の試験区に対応
 2011年：③は日齢55、④は日齢27から加温、⑥は日齢52で廃棄
 2012年：①は日齢16で廃棄

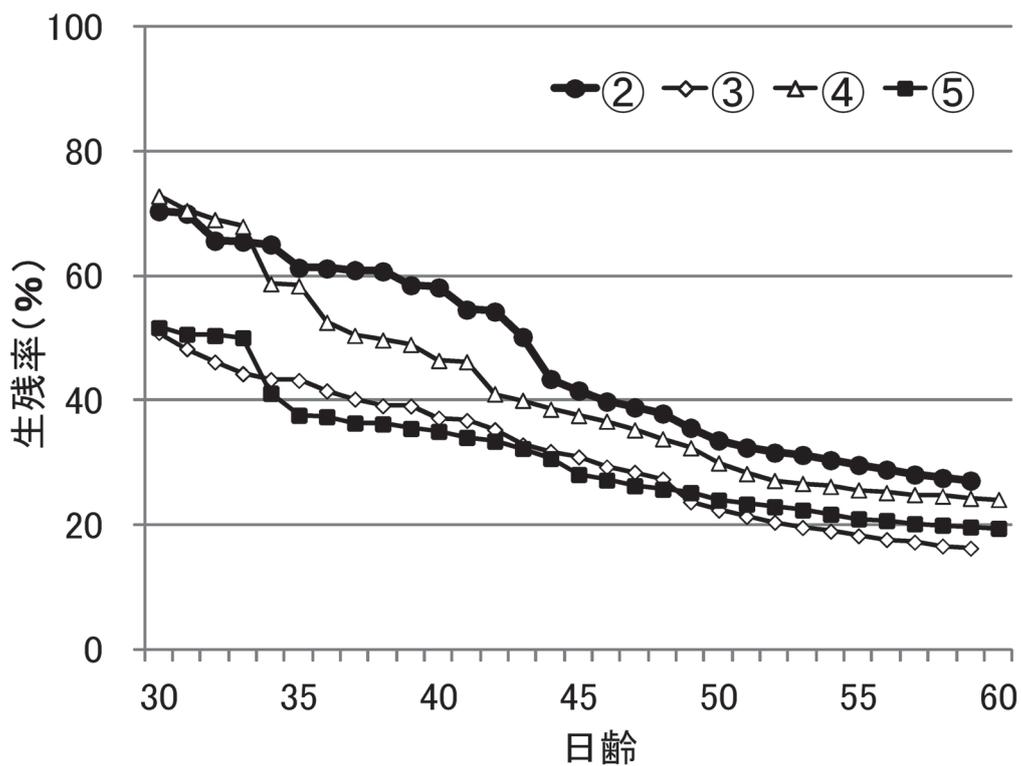


図4. 2012年の試験区②～⑤（表3, 4の試験区に対応）における日齢30から取り上げまでのアカアマダイ生残率の推移
 生残率100%は日齢3の計測値，それ以外は取り上げ尾数から死亡尾数を減じた数値



2011年に回収された稚魚
 (ほとんどが形態異常魚)



2012年に回収された稚魚
 (形態異常魚はほとんどみられない)

写真2. 底掃除時に回収される衰弱・斃死魚

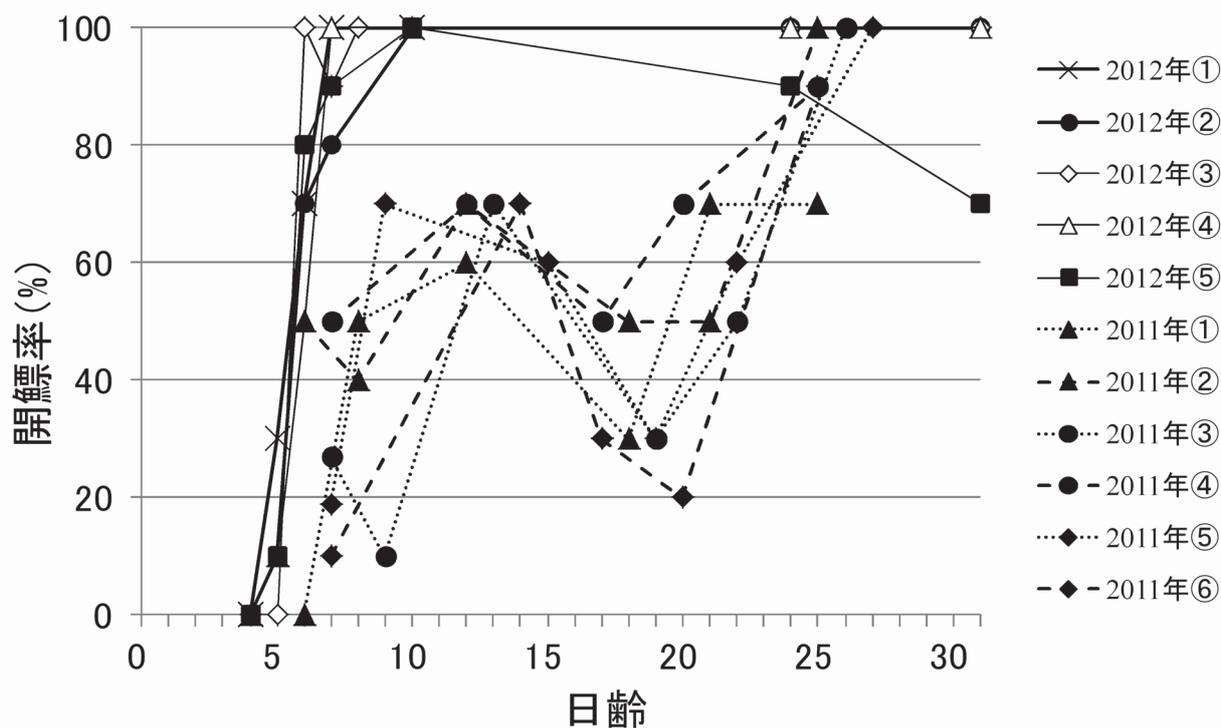


図5. 各試験区におけるアカアマダイの開鰓率の推移
2011年：点線，2012年：実線，2011年①～⑥，2012年①～⑤は表3，4の試験区に対応

する狂奔行動については比較的短時間で終息し、斃死との関係は認められなかった。さらに昼間の蝸集は、ナンノを添加することにより抑制された。

開鰓率と成長 図5に2011年の各水槽及び2012年の各試験区におけるアカアマダイ仔魚の開鰓率の推移を示した。2011年では日齢25～30には開鰓率がほぼ100%に達したものの、それまではおよそ50%で推移していた。それに対し2012年ではすべての試験区で、日齢4以降急激に開鰓が進行し、日齢7から遅くとも日齢10には観察したすべての仔魚が開鰓していた。図6に2011年及び2012年の各試験区における仔魚の成長を示したが、2012年では日齢40から55の成長速度はすべての試験区でほぼ同等（12～13mm）であった。

GLQ装置の殺菌能力 2011年に試験的に用いた高出力低圧ランプ搭載殺菌装置（GLQ）と既存の紫外線殺菌装置を用いた試験区を設けたが、過去に発生がみられたVNNやエピテリオシス症などの重篤な疾病は、いずれの試験区においても発生しなかった。なお、GLQの殺菌能力については、処理前の海水では1mL当たり 10^7 /mLオーダーの細菌が検出されたが、処理後の海水からは検出されなかった。

考 察

アカアマダイの種苗生産を進めていく上での主な問題点は大きく分けて2つ存在する。一つは形態異常の出現、もう一つは浮上死、沈降死及び蝸集や狂奔、疾病による死亡である。

形態異常については、2011年に生産した稚魚のおよそ75%にみられたが、2012年の稚魚ではわずか2%にまで減少した（表4）。また2012年の試験区において日齢4以降、特に日齢4～6の間に急激な開鰓率の上昇がみられ、日齢10では観察した仔魚すべてが開鰓していた（図5）。その後一部の試験区で開鰓していない仔魚が確認されたものの、ほぼすべての仔魚が日齢10までに開鰓したと推測された。北島らは、マダイにおいて摂餌開始期から始まる空気呑み込み（開鰓）及び未開鰓と脊柱前彎症との関連を報告し、マダイ鰓は気管が閉塞後も開腔（開鰓）するが、これは空気呑み込みによるものではなく、循環系によるガス交換能の発達によるとしている。さらにふ化後40日以降で開鰓した稚魚では高い前彎症が発生したことを報告している⁵⁾。アカアマダイでも、気管が機能する段階で空気を呑み込めなかった個体は、マダイと同様な機能により、最終的には開鰓したとしても大部分の個体は形態異常を発生すると想像される。またマダイの場合、気管が機能する段階は全長3.5～4.5mm（ふ化後3～15日）の間と、比較的長期にわ

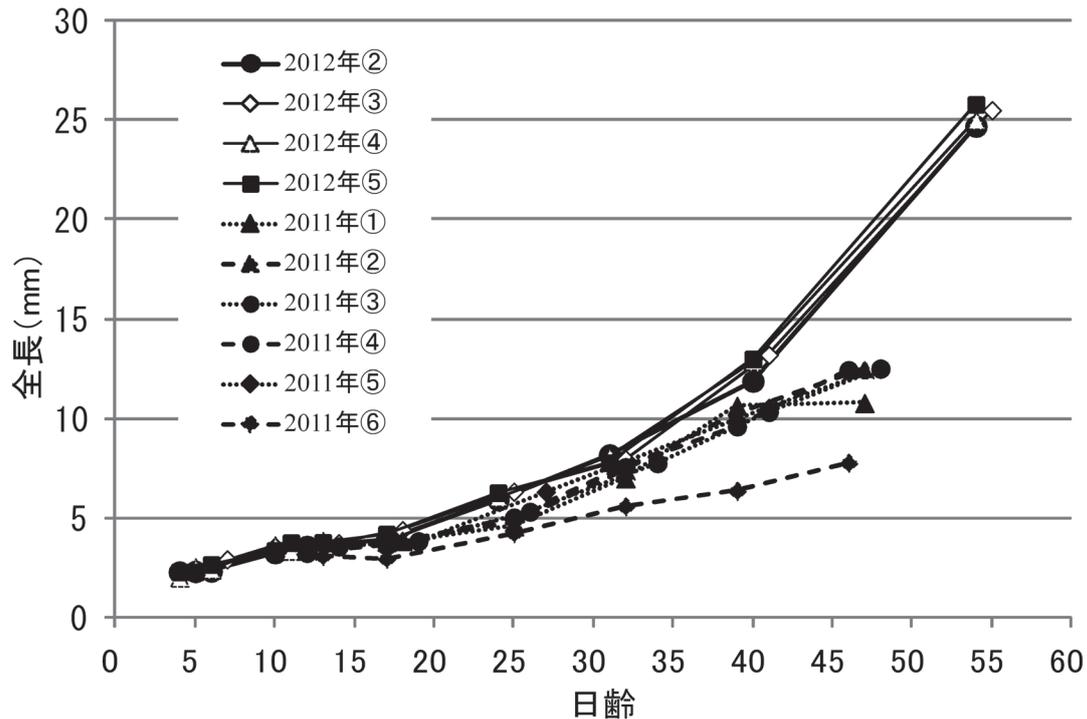


図 6. 各試験区におけるアカアマダイ仔稚魚の成長
2011年：点線，2012年：実線，2011年①～⑥，2012年①～⑤は表3，4の試験区に対応

たるが、アカアマダイの場合は形態異常魚の割合の高さから考えて、気管が機能する期間がマダイと比較して短い、取り込むタイミングがマダイとは異なっており、例えば早い時点で取り込まないと形態異常が生じるなどマダイとは異なる可能性が考えられるが、これについては今後検討が必要である。

さらに開鰓には水面の油膜除去が重要で、小型水槽であっても油膜回収器の設置により鰓開鰓（開腔）率は大きく上昇することが指摘されている⁶⁾。当所でも油膜除去装置を設置し、積極的に油膜除去を行ったにもかかわらず2011年の開鰓率は2012年よりも低かった（図5）。この要因として、小型水槽ではわずかな油膜の残存のほかエアレーション等により水面に流れが起きやすいため、大型水槽よりも仔魚が安定的に空気を取り込むのが難しいとの仮説を基に、対策として油膜の発生しにくいナンノの活用や油膜の除去と同時に、通気量を少なくすることや間欠的に通気を行う飼育方法を2012年の飼育で試みた。なお、2012年にナンノのみとした理由は、2011年の結果からアカアマダイ仔魚はナンノのみによる栄養強化でも生残率は他の試験区と差がないかむしろ高く、仔魚の栄養要求を満たしていると判断されたこと、また2011年にナンノで栄養強化したしたワムシを用いた水槽は油膜や水面の汚れの発生が少なく、開鰓率の向上につながると考えられたことによる。その結果、日齢10までに、ほぼすべての仔魚が開鰓し（図5）、さらにオーバーフローと間欠通気をそれぞれ単独で実施し

た試験区よりも、両者を併用した試験区の方が形態異常率が有意に低かった（表4）。このことは、オーバーフロー換水による油膜除去と間欠通気による水面波の制御を併用することが、単に水面の流れが空気の取り込み行動を阻害するといった要因の他に、通気をしなかったことでオーバーフローによる油膜除去の効果をより高めたことが理由と推察している。しかし、今後、効果の再現と共に仮説の検証が必要である。

本研究では2011，2012年の種苗生産において浮上死を観察することはなかった。浮上死はふ化直後から数日間に発生する⁷⁾。山本ら⁷⁾は油膜除去し過ぎると仔魚が水面に張り付いて死亡するため、油膜除去には加減が必要であると指摘している。またアカアマダイ以外の魚種では、仔魚が通気のための気泡によって水面に運ばれる、あるいは照度の上昇にともなって表層に移動し、粘液の分泌と水面の表面張力によって動けなくなることで死亡する現象が起り、特にハタ類で顕著であると指摘されている⁸⁾。日本海区水産研究所宮津庁舎によれば、水面と水中の照度と仔魚の分布状況を調査したところ、仔魚は1,000Lx以下の暗い環境では水面に蟄集しやすくなるが、2,000Lx以上の照度を保てば仔魚を水面下に分布させることができるとしている⁹⁾。島根県では2008年から水面に500Wレフランプや蛍光灯を設置し、500～2000Lxの高照度を維持していることから、顕著な浮上死が発生していないと推察される。浮上死については魚の浮力が高いふ化直後には特に注意が必要である

と考えられるが、本飼育試験で浮上死が発生する時期に仔魚の減耗が起きていないことから、光の調節、通気量の削減、通気不足を補うための酸素供給、バスポンプの稼働等によって、ある程度解決できているものと考えられる。

後期の沈降死については滑走細菌によることが知られているが、通常日齢7までに観察される沈降死について¹⁰⁾、この間に目立った斃死は認められなかった。沈降死については、主として仔魚が夜間に水槽底に沈降して死亡する現象であり、仔魚が沈降する原因及び死亡要因は明らかにされていないが、例えばクロマグロの場合、水槽底との接触で生じる外傷や病原細菌の侵入等が死亡の原因と推察されており¹¹⁾、これについては、水中ポンプを用いて沈降死を防止する方法¹⁰⁾や夜間通気¹¹⁾が考案されている。また、升間らは、アカアマダイの初期飼育時に24時間照明を行うことで1日のワムシ総摂餌数を増加させ、その結果初期の成長を早めると共に沈降防止による初期の大量死亡を防除する効果があることを指摘している¹²⁾。本研究では2011年及び2012年とも日齢10まで24時間照明及びバスポンプを用いた飼育水の攪拌を実施し、2011年、2012年共に大量死は発生せず、両飼育方法の併用の効果であったと推測している。

疾病のうち過去に発生のみられたVNNやエピテリオシスチス症などの重篤な疾病は兩年ともみられなかった。このことはGLQや紫外線殺菌装置が、これらの疾病の防除に対し有効に働いていることを示している。またGLQはフィルター処理を施さない砂ろ過処理のみの海水であっても十分に殺菌できる能力を有することが確認された。

滑走細菌症様の斃死については、オニオコゼの事例¹³⁾と同様に、特に細菌相や数の変化が激しいと思われる底掃除開始後に発生したため、発生後は換水率を高くし、底掃除の頻度を上げるなどで対応したが、少量の斃死が長期にわたって継続した(図4)。清川ら¹³⁾はオニオコゼの種苗生産においてニフルスチレン酸ナトリウム製剤による薬浴や養殖環境改善剤の添加により、ピブリオ属細菌数を減少させて生残率を高めることができたとしている。また、ナンノまたはナンノの培養水は飼育水の細菌叢に影響を及ぼすとされている¹⁴⁾。アカアマダイ種苗生産でも2012年の日齢30前後の斃死発生時にいくつかの水槽においてナンノの添加量を増やすことにより、わずかながら斃死が減少したケースがみられたことから、ナンノの添加により、仔稚魚に有害な細菌の増殖が抑制されている可能性があると考えられるが、その後も斃死は続いて発生したことから、養殖環境改善剤の添加など、さらなる防除方法の検討が必要である。

このように本研究において観察された、日齢30頃から発生する長期間継続する斃死については防除することができなかった。マダイ、ヒラメなどの海産仔稚魚では

DHAが不足すると活力の低下が起こるとされている¹⁵⁾。ナンノにはDHAが含まれていないためアカアマダイ仔魚の活力が低下していた可能性も考えられる。そこで、日齢30からの斃死を防止するため、開鰓後はDHA等のn-3HUFAを多く含む植物プランクトンを給餌したワムシを供給することで、健苗性を高めることが必要であると考えられる。

なお日没時や日出時の自然光の差し込みにより発生する蝟集、狂奔行動に関係すると思われる斃死が発生した際は水面全体を弱い光で照らすことにより狂奔行動を抑えることが可能であった。さらに、昼間に発生する蝟集の場合はナンノの添加により、蝟集行動が抑制されたが、これは照度や透明度の低下が原因と想像された。

これらの各種取り組みにより、これまで小型水槽での種苗生産が難しいと考えられたアカアマダイでも容量1kL当たり一千尾以上の生産と、形態異常魚の割合を2%まで下げることに成功した。

始めに述べた紫外線殺菌装置等の活用やオキシダント海水による受精卵の洗卵等の2010年までの諸点改良のほか、2011年、2012年に試験を実施した、①通気は微通気、もしくは間欠通気にして水槽の四方に配置し、酸素通気を併用、②飼育水の攪拌を十分に行うため、バスポンプの放出位置に配慮、③水位を落とした後、元の水位まで注水する換水方法ではなく流水による連続換水、④蝟集、狂奔の抑制のため日没、日出時に低照度の光を水面に照射、⑤仔魚給餌前のワムシの栄養強化と飼育水に添加する植物プランクトンにはナンノを使用、⑥油膜除去装置の通気量に配慮、等が飼育技術のポイントとなると考えられる。

形態異常については、引き起こす可能性がある要因をできる限り排除することで、形態異常率を大幅に低下させることができたが、実施した試験の中でどの要因が最も効果的であったかについては特定できず、また、飼育後期の連続した斃死の防除についても今後の課題として残されている。本研究の結果を踏まえ、さらに最適な飼育方法を確立させていくことがアカアマダイ種苗生産を安定的に進めるために重要である。

本研究において2011年に基本的な飼育方法の見直し、すなわち通気方法、飼育水の攪拌方法、換水方法等を変更し、2012年に形態異常魚の割合を低下させる取り組みを行った結果、生残率と形態異常魚の割合といった観点から、小型水槽による種苗生産で基本となる飼育技法を開発できた。この成果は、容量の小さい水槽での種苗生産を可能とし、さらに、各種飼育条件を明らかにするための飼育条件への応用が期待できる。

謝 辞

本試験をすすめるにあたり、親魚の確保にご協力いただいたJFしまね平田支所、及び管内の漁業者の皆様、

また親魚の搬入にご協力いただいた出雲市水産振興課及び松江水産事務所の皆様、また島根大学の佐藤利夫教授との共同研究を通して高出力低圧ランプ搭載殺菌装置 (GLQ) を長期にわたり提供頂いた東芝ライテック株式会社、島根大学・佐藤研究室からインターンシップで来所され、仔魚の飼育や測定など多岐にわたって積極的にご協力いただいた土江麻代さん、尾ノ上真人さん、福井惇さん、高橋慶行さんに心よりお礼申し上げます。

また稿を終えるに当たり、種苗生産に協力いただいた、加藤栄子さん、形岡靖子さん、平塚寛子さん、山本トキ子さんほか職員各位に深謝いたします。

なお、本研究は日本海ブロック水産業関係研究開発推進会議「アカアマダイ分科会」における飼育技術についての情報交換が可能であったことにより遂行できたと考えます。終始ご指導、ご助言をいただいた近畿大学水産研究所升間主計博士（元独立行政法人水産総合研究センター日本海区水産研究所資源生産部長）、をはじめ、山口県水産研究センター山本健也、南部智秀両専門研究員、また分科会に参加されていたメンバーの皆様がこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 石田健次 (2003) しまねの魚 (アカアマダイ). 山陰中央新報社, 島根, 16-17pp.
- 2) 本藤 靖・村上直人・渡辺 税・竹内宏行・藤浪祐一郎・津崎龍雄 (2001) 人工授精によるアカアマダイの種苗生産. 栽培技研, **28** (2), 73-79.
- 3) 河野光久・天野千絵 (2008) 日本海南西部海域におけるアカアマダイの産卵期・産卵場及び死魚の出現. 山口県水産研究センター研究報告, **6**, 31-36.
- 4) 日野明德 (2000) 新しく開発された連続培養法. 海産ワムシ類の培養ガイドブック, 栽培漁業技術シリーズNo.6, (社)日本栽培漁業協会, 東京, 80-81pp.
- 5) 北島 力・塚島康生・藤田矢郎・渡辺 武・米 康夫 (1981) マダイ仔魚の空気呑み込みと鰾の開腔及び脊柱前彎症との関連. 日本水産学会誌, **47** (10), 1289-1294.
- 6) 川辺勝俊・木村ジョンソン (2008) 油膜回収装置によるアカハタ仔魚の鰾開腔率改善. 水産増殖, **56** (4), 613-617.
- 7) 山本健也・南部智秀・安成 淳・原川泰弘 (2009) 新規栽培魚種開発事業, アカアマダイの種苗生産・放流技術開発, 山口県水産研究センター事業報告, 39-46pp.
- 8) 平田喜郎・浜崎活幸・照屋和久・虫明敬一 (2009) マハタおよびクエ仔稚魚の成長にともなう体密度の変化. 日本水産学会誌, **75** (4), 652-660.
- 9) 水産総合研究センター栽培漁業センター (2004). アカアマダイの初期生残率の向上～形態異常率も軽減～トピックスNo.048. http://ncse.fra.affrc.go.jp/00kenkyu/001topics/060topics_048.html.
- 10) 武部孝行・小林真人・浅見公雄・佐藤 琢・平井慈恵・奥澤公一・阪倉良孝 (2011) スジアラ仔魚の沈降死とその防除方法を取り入れた種苗量産試験. 水産技術, **3** (2), 107-114.
- 11) 宮下 盛 (2006) 種苗生産における浮上および沈降死. 日本水産学会誌, **72** (5), 947-948.
- 12) 升間主計・町田雅春・竹内宏行・中川 享 (2010). 日本海リサーチ&トピックス, **7**, 10-11.
- 13) 清川智之・佐々木 正 (2005) オニオコゼ仔稚魚飼育における大量斃死軽減のための2, 3の試み. 栽培技研, **32** (1), 5-13.
- 14) 佐藤利夫・山本倫久・勢村 均 (2000) イワガキ浮遊幼生飼育水の細菌叢に及ぼす *Nannochloropsis* sp. 培養液の影響. 日本海水学会誌, **54** (2), 102-110.
- 15) 竹内俊郎 (2001) 栄養要求に関する基礎理論, 栽培漁業技術体系化事業, 基礎理論コース テキスト集XIV - 魚介類幼生の栄養要求と餌料の栄養強化 -. (社)日本栽培漁業協会, 東京, 1-32pp.