

原著論文

## 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

武部孝行<sup>\*1・\*2</sup>・小林真人<sup>\*1</sup>・浅見公雄<sup>\*3</sup>・佐藤 琢<sup>\*1</sup>・  
平井慈恵<sup>\*1</sup>・奥澤公一<sup>\*4</sup>・阪倉良孝<sup>\*5</sup>

### Sinking Syndrome of Larvae of the Leopard Coral Grouper, *Plectropomus leopardus*, and its Control for Large-scale Larviculture.

Takayuki TAKEBE, Masato KOBAYASHI, Kimio ASAMI, Taku SATO,  
Narisato HIRAI, Koichi OKUZAWA and Yoshitaka SAKAKURA

We investigated the sinking syndrome of larvae of the leopard coral grouper *Plectropomus leopardus* in a small-scale experiment, and designed and constructed a rearing system to prevent sinking syndrome in large-scale larviculture, using a water pump to agitate the water at the bottom of the rearing tank. Sinking syndrome was observed in 3 dph (days post hatching) larvae and the number of dead larvae, which sank to the tank bottom, increased during subsequent nights. After three mass scale production trials of the sinking prevention system, final survival rates ranged from 13.0 to 30.0% (mean 20.3%). A total of 340,000 juveniles of mean total length 30.0-31.2 mm were harvested at 55-60 dph. Application of this system to the rearing of leopard coral groupers dramatically improved productivity and stabilized survival rates compared to conventional methods.

2010年6月10日受付, 2010年10月10日受理

ハタ科魚類は太平洋, インド洋, アラビア海, 紅海および大西洋の温帯海域から熱帯・亜熱帯海域に広く分布しており, 日本のみならず東南アジア諸国においても高値で取引されている<sup>1,2)</sup>。そのため, 養殖が盛んに行われている種もあるが, 種苗生産技術が確立されたものは非常に少なく, 種苗を天然資源に依存せざるを得ない状

況にある<sup>3,5)</sup>。我が国では, 独立行政法人水産総合研究センターを始め, 都道府県の公設試験研究機関, 大学などで増養殖用ハタ科魚類の種苗生産技術開発が積極的に取り組まれた。すなわち, これまでにキジハタ *Epinephelus akaara*<sup>6)</sup>, クエ *E. bruneus*<sup>7)</sup>, スジアラ *Plectropomus leopardus*<sup>8)</sup>, マダラハタ *E. polyphkadion*<sup>9)</sup>, マハタ

\*1 独立行政法人水産総合研究センター 西海区水産研究所石垣支所 八重山栽培技術開発センター

〒907-0415 沖縄県石垣市椋海大田148

Yaeyama Station of the Stock Enhancement Technology Development Center, Seikai National Fisheries Research Institute, FRA 148 Fukaihohta, Ishigaki, Okinawa 907-0451, Japan

ttakebe@fra.affrc.go.jp

\*2 長崎大学大学院生産科学研究科

\*3 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 伯方島栽培技術開発センター

\*4 独立行政法人水産総合研究センター 養殖研究所

\*5 長崎大学水産学部

*E. septemfasciatus*<sup>10)</sup>, カンモンハタ *E. merra*<sup>11)</sup>, ナミハタ *E. ongus*<sup>12)</sup>, ヤイトハタ *E. malabaricus*<sup>13)</sup>, チャイロマルハタ *E. coioides*<sup>14)</sup>, アカハタ *E. fasciatus*<sup>15)</sup>, アカハタモドキ *E. octofasciatus*<sup>16)</sup>, ツチホゼリ *E. cyanopodus*<sup>17)</sup>, タマカイ *E. lanceolatus*<sup>1)</sup> の計 14 種類のハタ科魚類で、採卵・初期飼育に関する研究が報告されている。しかし、これらのうちで種苗が産業的に量産化されたものはマハタ、クエ、キジハタおよびヤイトハタの 4 種にすぎず<sup>10,18-20)</sup>, ハタ科魚類は種苗生産技術の難易度が高い魚種グループである。

ハタ科魚類の種苗生産が不安定な原因として仔魚期における飼育初期の減耗が激しいことが挙げられており<sup>18,21,22)</sup>, これまでの報告も初期減耗を解決するための初期飼育に関する研究が多い<sup>23-26)</sup>。特に、ハタ科魚類の仔魚は体表に粘液細胞が多く、飼育水の表面張力によって捕捉されて死亡する、いわゆる“浮上死”が大きな問題とされている<sup>27)</sup>。これらの諸問題を解決するために、通気、注水方法<sup>21,28)</sup>, 水槽の形状<sup>29)</sup>, 水面で波を形成する飼育方法<sup>30)</sup>, フィードオイルの添加<sup>24,27)</sup>などの効果が検討され、浮上死による大量減耗を軽減する試みがなされ、量産化に繋がる成果が挙げられてきている。しかし、それでもなお、多くのハタ類で未だに初期減耗率が高く、安定した種苗生産技術は確立されていない。その一因として、卵黄および油球消失後に仔魚の体比重が重くなることにより起こる、水槽底への沈降が知られている<sup>31)</sup>。

スジアラの種苗生産技術開発は、日本栽培漁業協会八重山事業場（現、独立行政法人水産総合研究センター八重山栽培技術開発センター）で 1984 年から実施され、1997 年に約 12 万尾の生産に成功しているものの、本種

はマハタ属魚類よりも初期減耗が極めて大きく、安定的な種苗生産には至っていない。これまでにスジアラ仔魚の初期飼育における至適飼育環境<sup>32,33)</sup>と餌料条件<sup>34,35)</sup>について様々な知見が得られている一方、スジアラ仔魚の沈降については検討されていなかった。そこで本研究は、先ず、本種の沈降現象の様態を小規模の水槽によって詳細に観察した。次に、ハタ科魚類の仔魚は通気の物理刺激に弱いこと<sup>21,28,30,36)</sup>を考慮に入れ、通気で水槽内の流動を制御するのではなく、クロマグロ *Thunnus orientalis* で行われている沈降防除方法である水中ポンプを用いた方法<sup>37)</sup>, さらに水中ポンプを用いた方法をスジアラ仔魚飼育用に改良したものとで、従来の飼育方法と比較を行い、その効果を検証した。また、その再現性を確認するために量産試験も実施した。

## 材料と方法

**親魚および卵管理** 実験には（独）水産総合研究センター西海区水産研究所石垣支所八重山栽培技術開発センター（以下、八重山栽培技術開発センター）で養成した親魚から、2009 年 4 月 22 日から 8 月 28 日までの期間に得られたふ化仔魚を用いた。親魚は雌 43 尾（体重 4.9 ~ 6.8 kg, 全長 61.0 ~ 67.4 cm）、雄 9 尾（6.8 ~ 7.4 kg, 67.0 ~ 73.4 cm）を 200 kℓコンクリート水槽 2 基にそれぞれ雌 21 ~ 22 尾、雄 4 ~ 5 尾の割合で収容した。これらの親魚から自然産卵によって得られた受精卵を産卵翌日に回収した。

回収した受精卵は紫外線処理海水で洗卵後、200 ℓアルテミアふ化水槽に一時的に収容した。収容後は約 5 分間静置し、水槽底面に沈下した卵を取り除いた。アルテ

表 1. 100 ℓ水槽におけるスジアラ仔魚の沈降死および浮上死の発生状況

供試仔魚日齢	試験区	PM 11 : 00		AM 10 : 00		平均生残率 (%)
		平均沈降死亡 個体数	平均浮上死亡 個体数	平均沈降死亡 個体数	平均浮上死亡 個体数	
3日齢	無通気区 (夜間照明無し・通気無し)	228	148	906	145	17.4
	全明区 (夜間照明有り・通気無し)	233	205	475	105	22.6
	通気区 (夜間照明無し・通気有り)	123	155	500	180	43.8
4日齢	無通気区	402	197	686	330	4.5
	全明区	314	345	515	189	14.3
	通気区	320	173	533	210	23.8
5日齢	無通気区	575	314	583	160	3.8
	全明区	359	444	529	144	10.1
	通気区	487	276	370	176	20.5

ミアふ化水槽には中央に2個のエアストーンを垂下して通気を施し、クーパー氏胞形成まで流水（1.5～2.0 l / 分）で4～6時間の卵管理を行った。その後、それぞれの試験の条件に合わせて、試験水槽へ卵収容するか、別のふ化水槽でふ化させた後に試験水槽に収容した。

**実験Ⅰ．小型水槽の沈降死発生率に及ぼす通気および明暗周期の影響** スジアラ仔魚の死亡状況を調べるため、卵黄および油球を吸収した3日齢から5日齢までの各日齢で試験を行った。試験水槽には100 l容ポリカーボネイト製円形水槽6個を使用し、ウォーターバス（395 × 145 × 90 cm）内に設置した。このうち4個は自然日長とし、この4個中2個は無通気とし（以下、無通気区）、残り2個には通気（0.5 l / 分）を施した（以下、通気区）。最後の2個には水槽上部に蛍光灯1台（36 W）を設置し、24時間照明（恒明条件）かつ無通気とした区（以下、全明区）の合計3区を設定した（表1）。試験期間中の水温は24.9～25.1℃で、止水条件下でシオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex S型小浜株（以下、シオミズツボワムシS型小浜株）を10個体/mlとなるよう給餌したが、水質悪化の影響を考慮し、飼育水には植物プランクトンの添加は行わなかった。供試魚は量産水槽から各々の日齢の16:00に採取し、各試験の2水槽に約1500個体ずつ（1300～1700個体）移槽して試験を開始した。仔魚を収容後、PM 11:00に各水槽の底面付近からできるだけ沈降している魚を採取するためサイフォンで約2 l採水し、その中の生存個体と死亡個体の個体数をそれぞれ計数し、生存個体は水槽に戻した。同時に水面に浮上して死亡している個体も計数しながら取り除いた。さらに、翌日AM 10:00にも同様な作業を行った後、容積法により各試験水槽内の生存個体数

を調べ、その日齢での試験を終了した。算出して得られた試験区間の生残率の差は、 $\chi^2$ 検定により解析した。

**実験Ⅱ．大型水槽の生残率等に及ぼす水流発生法および明暗周期の影響**

**(1) 試験区の設定と試験施設** 容量60 klのコンクリー

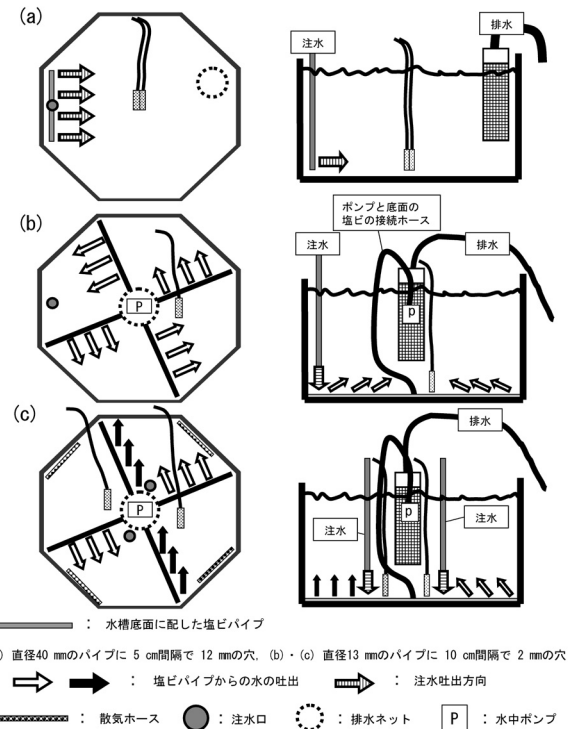


図1. 60 klコンクリート製量産水槽を用いた各飼育方法における飼育資材の配置  
(a) 従来方式, (b) クロマグロ方式, (c) 改良方式

表2. 各飼育方式における10日齢までの飼育管理

試験区	1	2	3
	従来方式	クロマグロ方式	改良方式
飼育水の攪拌方法	— 通気：1ヶ所 (酸素および空気通気を1ヶ所に集約)	水中ポンプ 通気：1ヶ所	水中ポンプ 通気：2ヶ所 (酸素通気を含み2ヶ所)
夜間照明	24h 1000 lx (7日齢まで)	—	24h 1000 lx (7日齢まで)
注水の有無	飼育当初より開始 (50%)	6日齢より開始 (50%)	飼育当初より開始 (50%)
注水方法	水槽壁面部・側面吹き付け	水槽壁面部・底面吹き付け	水槽中央部・底面吹き付け ポンプ吐出量 up 1.5kl/時 → 2.2kl/時 通気量 up 空気および酸素 0.5l/分 → 1.0l/分 エアブロック × 4ヶ所 稼働
消灯後の手当	無し	無し	
塩ビパイプの取り付け角度	—	45～50° × 4本	0° × 2本, 90° × 2本

ト製八角形水槽（底面積 25 m<sup>2</sup>、実効水量：50 kl）を用いて、飼育初期の減耗把握試験を行った。試験区には、八重山栽培技術開発センターにおけるこれまでの飼育管理方式（以下、従来方式）<sup>38)</sup>、クロマグロの沈降死抑制に実績のある飼育水を水中ポンプ（寺田ポンプ製作所、CSL-100）で攪拌する方式（以下、クロマグロ方式）<sup>37)</sup>、さらに、クロマグロ方式を改良した方式（以下、改良方式）の計3区を設定した（図1）。なお、3試験区の飼育管理手法の詳細を表2に記した。クロマグロ方式に対する改良方式の変更点は、Yoseda *et al.*<sup>33)</sup>にならって仔魚が7日齢に達するまで24時間の照明を施したことである。また、水槽底に直交させた2本の直径13 mmの塩化ビニル製パイプには10 cm間隔で直径2 mmの穴がうがっており、水の吐出方向が1本は水槽の底面から表面への垂直方向に設置され、残りの1本が水槽の底面と平行に向けられた点が異なる。水中ポンプからの水の吐出量を1.5 kl/時間とし、仔魚が排水ネットに接触するのを防ぐために、通気が排水ネットを挟むように隣接して設置した2個のエアストーンからの通気量は0.5 l/分とした。なお、2個の角形エアストーン（50 × 50 × 170 mm）のうち1個からは酸素通気を施した。また、改良方式では、24時間照明を止めた夜間にスジアラ仔魚の沈降現象が起きると想定し、消灯後に沈降現象を抑制する操作を加えるようにした。沈降現象抑制操作として、水中ポンプからの水の吐出量を1.5 kl/時間から2.2 kl/時間に増加させるとともに、散気ホース（直径13 mm × 長さ50 cm、以下エアブロック）によるエアブロック4箇所（0.5 l/分・箇所）を稼働させ、7日齢から0.5 l/分・日の割合で2.0 l分までに、またエアストーンからの通気量も、それぞれ0.5 l/分から1.0 l/分までに増加させた。なお、試験水温は収容から試験終了まで27.9～28.2℃の範囲であった。各々の量産水槽にスジアラふ化仔魚を20.3万尾ずつ収容し、10日齢まで成長、生残およびワムシ摂餌数を調べた。

**(2) 飼育方法** ふ化仔魚を各々の設定の水槽に収容し、2日齢より市販の冷蔵濃縮ナンノクロロプシス *Nannochloropsis oculata*（マリンフレッシュ：メルシャン株式会社）を飼育水中の密度が50万 cells/mlとなるように添加した。同じ2日齢（仔魚が開口し摂餌を始める前日）には、20:00よりシオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex SS型タイ株（以下、シオミズツボワムシ SS型タイ株）の給餌を開始し、5日齢まで飼育水中のワムシ密度が20個体/mlとなるよう調整した。また、5～25日齢にはシオミズツボワムシ S型小浜株を20個体/mlの密度で与えた。さらに、仔魚の平均全長が6 mmに達した15日齢から45日齢まではアルテミア *Artemia* sp. を与え、25日齢より取り上げまでは配合飼料を給与した。シオミズツボワムシはマリンフレッシュ（200 ml/億個体）で6時間の栄養強化後、DHA藻類（ハイパーグロス：日清マリンテック株式会

社）を200 ml/億個体の割合で添加し、16時間栄養強化した。アルテミアは、HUFA強化ユーグレナ（ドコサユーグレナ・ドライ：秋田十條化成社株式会社）を20 g/億個体となるよう添加し、16時間栄養強化した。

**(3) 測定項目および方法** 仔魚の生残尾数を推定するため、直径50 mmの塩化ビニル製パイプを用いて、夜間に飼育水槽の7定点から20～30 lの飼育水を採取した。採水した飼育水中の仔魚数から容積法で水槽全体の生残尾数を算出した。また、ワムシ摂餌数と全長を測定するために、3～10日齢の仔魚を毎日14:00に各試験区水槽から30尾ずつ採取した。仔魚をm-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネート（ナカライテスク株式会社）で麻酔後、スライドグラスに乗せ、万能投影機（V12-A：Nikon）で20～50倍に拡大し、デジタルノギス（Absolute DIGIMATIC：Mitutoyo）を用いて全長を0.1 mm単位で測定した。ワムシ摂餌数の確認は、スライドグラス上で仔魚を軽く押し潰し、仔魚の消化管内のワムシの口器の数を光学顕微鏡（YS2-H：Nikon）下で計数した。なお、試験区間の成長およびワムシ摂餌数の差は、二元配置の分散分析後、*Tukey-Kramer post-hoc test* で検定した。

**実験Ⅲ．改良方式による量産化の試み** 上述した初期減耗把握試験内容をもとに、60 klコンクリート製八角形水槽を用いて、スジアラふ化仔魚を1.0～1.5万個体/klの密度で収容し、改良方式において種苗量産試験を3事例（以下、量産-1～3）実施した。10日齢までの飼育管理条件については改良方式に準じ、11日齢以降の飼育管理条件については、水質状況および溶存酸素量（Dissolved Oxygen、以下DO）の観測値を見ながら、注水量および通気量を徐々に増加させた。

なお、量産飼育試験の開始水温が24℃台であったため、0.5℃/日の割合で飼育適正水温といわれている28℃まで昇温させた<sup>39)</sup>。また、平均全長20 mmに達した42～47日齢に分槽を行った。

## 結 果

**実験Ⅰ．小型水槽の沈降死発生率に及ぼす通気および明暗周期の影響** いずれの区も日齢を重ねると、PM 11:00に水槽底面に沈んでいる死亡個体数が増加する傾向を示した（表1）。特に無通気区は他の2区と比べて沈降死亡個体が多く、その一方、同じ明暗条件である通気区では少なかった。また、全明区は他の2区と比べてPM 11:00の浮上死個体数が最も多かった。また、翌日AM 10:00の生残率は、いずれの日齢においても無通気区の生残率（3日齢平均17.4%、4日齢平均4.5%、5日齢平均3.8%）が低く推移し、次いで全明区（3日齢平均22.6%、4日齢平均14.3%、5日齢平均10.1%）、そして通気区（3日齢平均43.8%、4日齢平均23.8%、

5日齢平均20.5%)が最も高い値を示した。なお、無通気区の生残率は他の2区が生残率よりも有意に低く、通気区の生残率は他の2区よりも有意に高かった ( $p < 0.05$ )。

**実験Ⅱ．大型水槽の生残率等に及ぼす水流発生法および明暗周期の影響** 試験終了時の生残率は、改良方式が20.6%、クロマグロ方式が6.4%、従来方式が3.1%であった(図2)。従来方式の生残率は、飼育期間を通じて減少する傾向を示したが、クロマグロ方式および改良方式のそれは計数を開始した7日齢から10日齢まで、ほぼ横ばいで推移した。

成長についてみると、実験区間 ( $F_{2,88}=5.268, p < 0.01$ ) と日齢 ( $F_{6,624}=1026.929, p < 0.0001$ ) それぞれで有意差が検出され、交互作用も見られた ( $F_{12,708}=2.878, p < 0.001$ )。また、試験期間を通じて改良方式の全長は他の2区よりも大きかった ( $p < 0.05$ )。

仔魚の消化管内のワムシ数についてみると、実験区間 ( $F_{2,88}=20.279, p < 0.0001$ ) と日齢 ( $F_{7,713}=1194.926, p < 0.0001$ ) それぞれで有意差が検出されたが、交互作用は見られなかった。試験期間を通じて消化管内のワムシ数は改良方式が最も多く、次いでクロマグロ方式、従来方式の順であった ( $p < 0.05$ )。

**実験Ⅲ．改良方式による量産化の試み** 各量産試験の10日齢における推定生残率は、それぞれ41.4%、45.0%および46.5%といずれも高かったため飼育を継続し、全長20mm(42~47日齢)で分槽を行った。その結果、量産-1は55日齢に平均全長30.1mm(25.7~40.5mm)の稚魚9.0万尾(生残率18.0%)を、量産-2で56日齢に平均全長30.0mm(26.0~36.6mm)の稚魚15.0万尾(生残率30.0%)を、量産-3では60日齢に平均全長31.2mm(22.5~38.6mm)の稚魚10.0万尾(生残率13.0%)をそれぞれ取り上げた(図3、表3)。

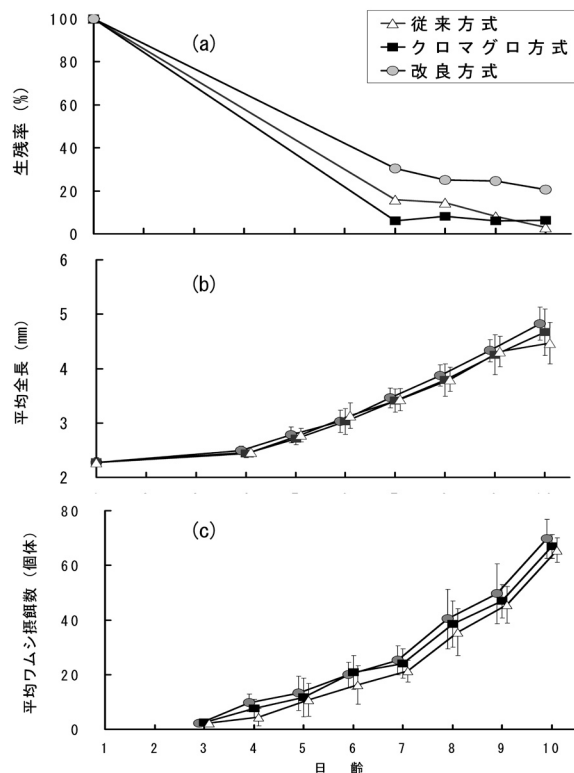


図2. 60ℓコンクリート製量産水槽を用いた異なる飼育方法におけるスジアラ仔魚の生残率、成長およびワムシ摂餌数の推移(平均値 ± 標準偏差)

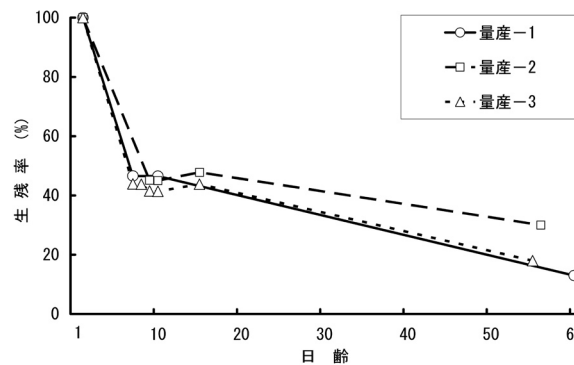


図3. 60ℓコンクリート製量産水槽を用いたスジアラ種苗量産飼育試験における生残率の推移

表3. スジアラ種苗量産試験結果

水槽 No.	最終結果				飼育状態 (平均値 ± 標準偏差)		
	日齢	生産率 (%)	取り上げ個体数 (万個体)	平均全長 (mm)	水温 (°C)	DO (mg/l)	pH
1	60	13.0	10.0	31.2 (22.5 ~ 38.6)	27.9 ± 0.38	9.87 ± 0.93	8.23 ± 0.10
2	56	30.0	15.0	30.0 (26.0 ~ 36.6)	28.2 ± 0.56	7.87 ± 1.07	8.12 ± 0.11
3	55	18.0	9.0	30.1 (25.7 ~ 40.5)	28.2 ± 0.48	8.29 ± 1.26	8.14 ± 0.10

## 考 察

**小型水槽の沈降死発生率に及ぼす通気および明暗周期の影響** スジアラ仔魚の夜間における沈降死は3日齢には観察され、いずれの試験区においても、日齢を重ねる毎に顕著になった。仔魚期の沈降現象については、マハタなど他のハタ類<sup>10,19,40)</sup>でも確認されている。また、クロマグロ<sup>41)</sup>、カンパチ *Seriola dumerili*<sup>42)</sup>、マハタ<sup>31)</sup>、クエ<sup>31)</sup>、マダイ *Pagrus major*<sup>43)</sup> およびクロダイ *Acanthopagrus schlegelii*<sup>44)</sup>では、日齢とともに仔魚の体密度が増加することにより海水の比重より大きくなり沈みやすくなること、そして、この時期の浮力の調整は卵黄および油球の消失状況<sup>45)</sup>、さらに鰾の開腔状況で異なることが報告されている<sup>41,46,47)</sup>。スジアラの油球は3日齢には消失すること<sup>22)</sup>から、本種仔魚でも他魚種と同様に、3日齢には卵黄や油球の消失による仔魚の沈降現象が起こったと考えられた。特に無通気区では、夜間に仔魚が遊泳を停止したため、沈降死が起こりやすい状況になったと考えられた。一方、全明区ではPM 11:00の観察で浮上死個体が多く観察されたが、これはスジアラが照度変化に対して敏感であること<sup>22)</sup>に起因すると考えられた。キジハタでは水面照度が高いと浮上死を誘発させやすいことが報告されている<sup>27,48)</sup>。全明区は、試験水槽の直上に蛍光灯を設置したため、この照明の影響により浮上死が誘発されたものと考えられた。生残率は通気区より低かった。

また、通気区は無通気区と同じ照明条件であるにも関わらず、生残率が高かった。これは、通気によって飼育水が攪拌され、水槽底面に仔魚が沈降するのを抑制した結果であると考えられた。水槽底への沈降による仔魚の死亡原因は、必ずしも明らかにされていないが、水槽底との接触で生じる外傷や病原細菌の感染<sup>41,48)</sup>あるいは水槽底の水流が弱い環境で仔魚のガス交換の効率が著しく劣ること<sup>49)</sup>などが原因として考えられている。また、仔魚は沈降状態から回復するために遊泳行動をとることになるが、その頻繁な上下移動が過剰な運動となり、これが初期減耗の大きな要因になっていることも考えられている<sup>45)</sup>。しかし、通気量の調節により仔魚の沈降を抑制することでクエでは生残率の向上が認められており<sup>18)</sup>、他魚種でも沈降の防止から生残率向上が見られる<sup>49,51)</sup>。以上のことから、本実験結果において通気区では仔魚の沈降を抑制できたことにより、翌日の生残率が高くなったものと考えられた。

これらのことから、スジアラ仔魚の沈降現象は卵黄を吸収し摂餌を開始する3日齢には発生し、沈降による減耗は、水槽内の流動の制御で抑制が可能であることが分かった。

**大型水槽の生残率等に及ぼす水流発生法および明暗周期の影響および改良方式による量産化の試み** 実験Ⅱ終了時の改良方式の生残率(20.6%)は、クロマグロ方式の約3倍、従来方式の約7倍高かった。また、成長およびワムシ摂餌数については、試験期間を通して試験区間に有意差が認められた。仔魚の初期の生き残りが高い場合、密度効果により成長が遅くなる事例<sup>29)</sup>も報告されているが、本試験では報告にあるほど高い密度ではなく、このような負の密度効果による影響はなかったと判断された。さらに、試験区間の成長と摂餌状況に有意差が認められたが、仔魚の生残率に大きな差が生じた主な原因は、小型水槽試験で確認された沈降による死亡が起こったことによるものと考えられた。

従来方式は5日齢まで24時間照明を施したが、小型水槽試験の結果から全明条件下でも沈降による死亡が観察されている。小型水槽試験では通気(通気量:0.5ℓ/分)を施すことによって沈降による死亡が改善された。一方、量産水槽の従来方式では、設定した通気量(通気量:1.0ℓ/分)で十分な飼育水の攪拌が起らなかったため、仔魚の沈降による死亡を防除できなかったと考えられた。さらに24時間照明終了以降、沈降を抑制する操作を行っておらず、その結果として生残率が減少していったと考えられた。塩澤<sup>52)</sup>はスジアラ仔魚飼育に水槽内のエアストーンの数を増やした飼育方法や塩ビパイプに穴を開けた通気装置を用いたエアブロック方法を試行したが、逆に浮上死を誘発し大量減耗を引き起こしたことを報告している。この点からも、スジアラ仔魚が通気の物理的刺激に弱く、通気による飼育水の流動制御によってスジアラ仔魚の沈降を抑制することは難しいと思われる。

クロマグロ方式では改良方式と同様に水中ポンプを用いて飼育水を攪拌しているものの、24時間照明を施していないため、実験Ⅰの結果からも仔魚が遊泳を停止することにより夜間に沈降現象が発生しやすい状況であったと考えられる。このため、生残率の著しい低下が観察されたと推測される。

一方、改良方式では24時間照明終了以降、沈降が発生することを想定し、水中ポンプからの水の吐出量およびエアストーンからの通気量を増量し、さらにエアブロックを稼働させた。クエなど他魚種では仔魚の沈降を抑制するために、通気量の増大およびエア発生装置の配置の改善など、飼育水を効率よく攪拌することにより、生残率向上の報告がなされているが<sup>18,49,50,53,54)</sup>、本実験の結果からも生残率が横ばい状態で推移していることから、これら一連の操作によって仔魚の沈降が抑制されて好結果が得られたものと考えられる。

以上、スジアラの初期飼育では、通気の物理刺激を極力少なくして仔魚の水槽底への沈降現象を抑制することが肝要である。

そこで改良方式によるスジアラの種苗量産試験を実施

した。その結果、実施した3事例から平均全長30 mmサイズの稚魚を合計34万尾取り揚げることに成功し、平均生残率20.3% (13.0 ~ 30.0%) を記録した。また今回、同一の飼育方法を繰り返して好成績が得られたことから、スジアラの種苗飼育方法として再現性の高い飼育方法であることが明らかになった。

今後は、飼育事例を増やし、照度、換水、飼育水の流動などについて飼育条件を把握し、さらに安定した“種苗生産技術”として構築する必要があるものとする。また、この飼育手法が他の初期減耗の激しい魚種の種苗生産に応用が可能なかを調査していきたい。

## 謝 辞

本研究において改良方式を行うに当たり、奄美栽培漁業センターにおいて、水中ポンプを用いたクロマグロの飼育方式に関する礎を築き、当方に大きな道筋を示して頂くとともに、叱咤激励を頂いた升間主計博士（現宮津栽培漁業センター場長）、手塚信弘主任技術開発員（現能登島栽培漁業センター）に深謝いたします。また、第一著者が奄美栽培漁業センター在籍時に、この飼育方式の技術開発に共に携わった二階堂英城主任技術開発員ならびに当時の奄美栽培漁業センターのスタッフ一同にも謝意を表します。さらに、英文校閲を賜った長崎大学環東シナ海洋環境資源研究センターのGregory N. Nishihara博士に感謝いたします。なお、本稿で報告したスジアラの量産技術については現在特許出願中である（特願2010-038563号）。

## 文 献

- 1) LIAO, I.C., M.S. HUEI, and Y.C. EMILY (2001) Techniques in finfish larviculture in Taiwan. *Aquaculture*, **200**, 1-3.
- 2) SILVA, S.S., and M.J. PHILLIPS (2007) A review of cage aquaculture: Asia (excluding China). *FAO Fish. Tech. Paper.*, **498**, 21-48.
- 3) RHODES, K.L., and Y. SADOVY (2002) Temporal and spatial trends in spawning aggregation of camouflage grouper, *Epinephelus polyphkadion*, in Pohnpei, Micronesia. *Env. Biol. Fish.*, **63**, 27-39.
- 4) RHODES, K.L., R.I. LEWIS, R.W. CHAPMAN, and Y. SADOVY (2003) Genetic structure of camouflage grouper, *Epinephelus polyphkadion* (Pisces: Serranidae), 15 in the western central Pacific. *Mar. Biol.*, **142**, 771-776.
- 5) PEARS, R.J., J.H. CHOAT, B.D. MAPSTONE, and G.A. BEGG (2007) Reproductive biology of a large, aggregation-spawning serranid, *Epinephelus fuscoguttatus*: management implications. *J. Fish Biol.*, **71**, 795-817.
- 6) 鶴川正雄・樋口正毅・水戸 敏 (1966) キジハタの産卵習性と初期生活史. 魚類学雑誌, **13**, 156-161.
- 7) 日本栽培漁業協会 (2003) 日本栽培漁業協会40年史. 東京, 61-62pp.
- 8) 升間主計 (1990) III-3 種苗生産技術の開発. K 新しい栽培

- 培種として期待される魚種, 5 はた類 (3) スジアラ. 日本栽培漁業協会事業年報 (昭和63年度). 日本栽培漁業協会, 東京, 204-207 pp.
- 9) 升間主計 (1990) III-3 種苗生産技術の開発. K 新しい栽培種として期待される魚種, 5 はた類 (4) マダラハタ. 日本栽培漁業協会事業年報 (昭和63年度). 日本栽培漁業協会, 東京, 207 p.
  - 10) 照屋和久 (2004) マハタの親魚養成におけるVNN抑制技術と健苗生産技術開発. 栽培漁業センター技報, **1**, 67-70.
  - 11) 多和田真周・下地和幸 (1984) 熱帯系重要海産魚の種苗生産技術研究. 沖縄県水産試験場事業報告書 (昭和60年度). 沖縄県水産試験場, 沖縄, 273-280 pp.
  - 12) 山本隆司・呉屋秀夫・仲本光男 (1991) 海産魚類増養殖試験. 沖縄県水産試験場事業報告書 (平成3年度). 沖縄県水産試験場, 沖縄, 155-159 pp.
  - 13) 金城清昭・中村博幸・仲本光男・呉屋秀夫 (1999) ヤイトハタの種苗生産-I. 沖縄県水産試験場事業報告書 (平成8年度). 沖縄県水産試験場, 沖縄, 120-125 pp.
  - 14) 木村基文・狩俣洋文・岩井憲司・仲盛 淳・金城清昭 (2008) チャイロマルハタの種苗生産・二次飼育. 沖縄県水産海洋センター事業報告書. **69**, 116-119 pp.
  - 15) 東京都水産試験場 (1987) 小笠原養殖漁業技術開発試験. 3. アカハタ. 小笠原水産センター事業報告 (平成62年度). 東京, 212 p.
  - 16) 東京都水産試験場 (2006) 小笠原養殖漁業技術開発試験. C-1 種苗生産技術の開発と養殖技術改良試験 I. アカハタモドキの親魚養成と採卵. 平成16年度小笠原水産センター事業報告. 東京都水産試験場事業報告 (平成16年度). 東京都島しょ農林水産総合センター, 東京, 64 p.
  - 17) 東京都水産試験場 (2006) 小笠原養殖漁業技術開発試験. C-1 種苗生産技術の開発と養殖技術改良試験 I. ツチホゼリの親魚養成と採卵. 平成16年度小笠原水産センター事業報告. 東京都水産試験場事業報告 (平成16年度). 東京都島しょ農林水産総合センター, 東京, 68 p.
  - 18) 照屋和久・與世田兼三 (2006) クエ仔魚の成長と生残に適した初期飼育条件と大量種苗量産試験. 水産増殖, **54**, 187-194.
  - 19) 南部智秀・山本健也・道中和彦・原川泰弘 (2006) キジハタの種苗生産・放流技術開発. 山口県水産研究センター事業報告, 35-40 pp.
  - 20) 金城清昭・中村博幸 (2009) 沖縄県におけるヤイトハタの養殖技術開発と養殖の現状. 月刊養殖, **5**, 24-26 pp.
  - 21) SAKAKURA, Y., S. SHIOTANI, H. CHUDA, and A. HAGIWARA (2006) Improvement of the survival in the seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus* larvae by optimizing aeration and water inlet in the mass-scale rearing tank. *Fish. Sci.*, **72**, 939-947.
  - 22) 與世田兼三 (2008) ハタ類3種 (ヤイトハタ *Epinephelus malabaricus*, キジハタ *Epinephelus akaara*, スジアラ *Plectropomus leopardus*) の初期減耗要因の解明に関する研究. 水研センター研報, **23**, 91-144.
  - 23) KOHNO, H., R.S. ORDONIO-AGUOLAR, A. OHNO, and Y. TAKI (1997) Why is grouper larval rearing difficult? : an approach from the development of the feeding apparatus in early life stage larvae of the grouper, *Epinephelus coioides*. *Ichthyol. Res.*, **44**, 67-274.
  - 24) 土橋靖史・栗山 功・黒宮香美・柏木正章・吉岡 基 (2003) マハタの種苗生産過程における仔魚の活力とその生残に及ぼす水温、照明およびフィードオイルの影響. 水産増殖, **51**,

- 49-53.
- 25) TOLEDO, J.D., N.B. CABEROY, G.P. QUINITIO, C.H. CHORESCA, and H. NAGASAWA (2002) Effects of salinity, aeration and light intensity on oil globule absorption, feeding incidence, growth and survival of early-stage grouper *Epinephelus coioides* larvae. *Fish. Sci.*, **68**, 478-483.
- 26) 照屋和久・與世田兼三・岡 雅一・西岡豊弘・中野昌次・森 広一郎・菅谷琢磨・浜崎活幸 (2008) 光周期がマハタ仔魚の生残、成長および摂餌に及ぼす影響. *日水誌*, **74**, 645-652.
- 27) Yamaoka, K., T. NANBU, M. MIYAGAWA, T. ISSHIKI, and A. KUSAKA (2000) Water surface tension-related deaths in prelarval red-spotted grouper. *Aquaculture*, **189**, 165-176.
- 28) SAKAKURA, Y., S. SHIOTANI, H. CHUDA, and A. HAGIWARA (2007) Flow field control for larviculture of the seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus*. *Aquaculture*, **268**, 209-215.
- 29) RUTTANAPORNVAREESAKUL, Y., Y. SAKAKURA, and A. HAGIWARA (2007) Effect of tank proportions on survival of seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus* (Thunberg) and devil stinger *Inimicus japonicus* (Cuvier) larvae. *Aquacult. Res.*, **38**, 193-200.
- 30) SAKAKURA, Y., S. SHIOTANI, and A. HAGIWARA (2007) Larval rearing without aeration: a case of the seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus* using a wave maker. *Fish. Sci.*, **73**, 1199-1201.
- 31) 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. *日水誌*, **75**, 652-660.
- 32) 與世田兼三・團 重樹・藤井あや・黒川優子・川合真一郎 (2003) 異なった日周条件がスジアラ仔魚の初期摂餌、初期生残および消化酵素活性に及ぼす影響. *水産増殖*, **51**, 179-188.
- 33) YOSEDA, K., K. YAMAMOTO, K. ASAMI, M. CHIMURA, K. HASHIMOTO, and S. KOSAKA (2008) Influence of light intensity on feeding, growth and early survival of leopard coral grouper (*Plectropomus leopardus*) larvae under mass-scale rearing conditions. *Aquaculture*, **279**, 55-62.
- 34) 升間主計・竹内宏行 (2001) スジアラ仔魚の3タイプワムシに対する摂餌選択性. *栽培技研*, **28**, 69-72.
- 35) 與世田兼三・浅見公雄・福本麻衣子・高井良幸・黒川優子・川合真一郎 (2003) サイズの異なる2タイプのワムシがスジアラ仔魚の初期摂餌と初期生残に及ぼす影響. *水産増殖*, **51**, 101-108.
- 36) 岩谷芳自 (1999) キジハタのふ化およびふ化仔魚に与える通気の影響. *栽培技研*, **27**, 59-61.
- 37) MASUMA, S., T. TAKEBE, and Y. SAKAKURA (2011) A review of the broodstock management and larviculture of the Pacific northern bluefin tuna in Japan. *Aquaculture*. (In press).
- 38) 照屋和久 (1999) III-3 種苗生産技術の開発. K 新しい栽培種として期待される魚種, 5 はた類 (1) スジアラ. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成9年度). 日本栽培漁業協会, 東京, 184-186 pp.
- 39) 照屋和久 (1998) III-3 種苗生産技術の開発. K 新しい栽培種として期待される魚種, 5 はた類 (1) スジアラ. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成8年度). 日本栽培漁業協会, 東京, 174-176 pp.
- 40) 照屋和久 (2003) 日本栽培漁業協会におけるハタ類の種苗生産. 海洋水産資源の培養に関する研究者協議会論文集V, 163-167 pp.
- 41) TAKASHI, T., H. KOHNO, W. SAKAMOTO, S. MIYASHITA, O. MURATA, and Y. SAWADA (2006) Diel and ontogenetic body density change in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (TEMMINCK and SCHLEGEL), larvae. *Aquacult. Res.*, **37**, 1172-1179.
- 42) 照屋和久・浜崎活幸・橋本 博・片山俊之・平田喜郎・鶴岡廣哉・林 知宏・虫明敬一 (2009) カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化. *日水誌*, **75**, 54-63.
- 43) KITAJIMA, C., Y. YAMATE, S. MATSUI, Y. KIHARA, and M. FURUICHI (1993) Ontogenetic change in buoyancy in the early stage of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **89**, 209-216.
- 44) 北島 力・山根康幸・松井誠一 (1997) クロダイ仔稚魚の発育に伴う比重の変化. *日水誌*, **60**, 755-762.
- 45) 坂本 亘・岡本杏子・上土生起典・家戸敬太郎・村田 修 (2005) クロマグロ仔魚の成長に伴う比重変化. *日水誌*, **71**, 80-82.
- 46) TANAKA, Y., K. KUMON, A. NISHI, T. EBA, H. NIKAIKIDO, and S. SHIOZAWA (2009) Status of the sinking of hatchery-reared larval Pacific bluefin tuna on the bottom of the mass culture tank with different aeration design. *Aquacult. Sci.*, **57**, 587-593.
- 47) SETIADI, E., S. TSUMURA, and K. YAMAOKA (2002) Effect of water color and light intensity on water surface tension-related deaths in larval stage of the red-spotted grouper, *Epinephelus akaara*. *Suisanzoshoku*, **51**, 81-85.
- 48) 宮下 盛 (2006) 種苗生産における浮上および沈降死. *日水誌*, **72**, 947-948.
- 49) 萱場隆昭・杉本 卓・松田泰平 (2003) マツカワ種苗生産における仔魚の大量沈下減耗. *水産増殖*, **51**, 443-450.
- 50) 山崎英樹・塩澤 聡・藤本 宏 (2002) 日本栽培漁業協会におけるブリ種苗生産の現状. *水産増殖*, **72**, 1158-1160.
- 51) 木村伸吾, 中田英昭・D. MARGULINE・J. M. SUTER・S. L. HUNT (2004) 海洋乱流がキハダマグロ仔魚の生残に与える影響. *日水誌*, **70**, 175-178.
- 52) 塩澤 聡 (2000) III-3 種苗生産技術の開発. K 新しい栽培種として期待される魚種, 5 はた類 (1) スジアラ. 日本栽培漁業協会事業年報 (平成10年度). 日本栽培漁業協会, 東京, 191-193 pp.
- 53) 塩澤 聡 (2005) ブリ類の種苗生産の現状と今後の展望. *アクアネット*, **88**, 42-47.
- 54) PAPANROULAKIS, N., C. C. MYLONAS, E. MAINGOT, and P. DIVANACH (2005) First results of greater amberjack (*Seriola dumerrilli*) larval rearing in mesocosm. *Aquaculture*, **250**, 155-161.