

## 奄美等水産資源利用開発推進事業 (沿岸域資源利用開発調査：スジアラ種苗生産技術開発)

仁部玄通，野元聡，矢野浩一，池田祐介，松元則男

### 【目的】

スジアラは奄美海域における重要な水産資源の一つであり地元からの放流要望が非常に強いため、当センターでは平成8年度から親魚養成試験を開始し、平成14年度に初めて自所養成親魚由来の受精卵からの種苗生産に成功した。平成23年度からは60kLコンクリート水槽を用いた量産試験に取り組み、その年に8.4万尾の生産に成功したものの、その後は1～5万尾の生産にとどまっており、未だ安定的な量産技術の確立には至っていない。本事業ではこれまでの成果を基に更なる技術開発を行い、安定した量産技術を確立することを目的とする。

### 【材料及び方法】

#### 1 親魚養成および採卵試験

当センター親魚棟のコンクリート製円形100kL水槽（ $\phi$ :8m, d:2m）1面を使用して採卵用親魚の養成を行った。

継続養成している親魚は、平成16年度から池入れし、令和元年度初めの時点で24尾（体重：1.8～10.5kg, 平均5.6kg）であった。飼育海水は紫外線処理ろ過海水を使用し、水温は、通年22℃を下回らないように6月～11月の期間を除きヒートポンプにより調温した。注水量は約10kL/時（換水率：約2.4回/日）とした。

餌料は、約5cmにカットした冷凍サバ（2～3kg/回）に栄養剤を添加したものを週3回給餌した。

採卵については、5月30日から飼育水槽の排水部（採卵槽）にネットを設置して、以後9月24日までの期間に、自然産卵による受精卵の回収と計数を行った。

#### 2 種苗生産試験

魚類棟コンクリート製円形60kL水槽（ $\phi$ :7m, d:1.45m）2面（60kL-①, 60kL-②）を使用し、種苗生産試験を行った。注水については仔魚の沈降死対策として底層注水を採用した。水槽底面に対し平行及び垂直方向の流れを作るため、底面の半径上に配置した1本の塩ビ管（ $\phi$ :25mm）の側面と上面にそれぞれ10cm間隔で直径2mmの穴を開け、飼育海水を時計回り方向と上方向へ吐出させた。令和元年度は平成30年度に引き続き水流を補強することを目的に、水中ポンプによる飼育水の攪拌を行った。水槽の半径上に配置した3本の塩ビ管（ $\phi$ :13mm）の側面と上面にそれぞれ10cm間隔で直径2mmの穴を開け、水中ポンプ（イワキ社製、RSD-10A）により飼育水を吐出させた（図1）。

種苗生産試験は4回実施し、6月24日～7月24日に採取された受精卵を1面当たり450～630千粒ずつ収容した。親魚棟で回収した受精卵は500アルテミアふ化槽に一時的に収容し、約5分間静置して沈下卵を取り除き、浮上卵のみを2000アルテミアふ化槽に収容後、紫外線処理ろ過海水で洗卵してから試験水槽へ収容した。

平成30年度はふ化直後の浮上斃死が観察されたことから、令和元年度は受精卵収容後、浮上死対策としてオイル（商品名：MT皮膜オイル、マリンテック社製）を7ml添加した。オイルは日齢1から

日齢6までは1日2回に分け8ml添加した。また、急激な照度変化も浮上死の原因と考えられたため、破損した天窓ブラインドからの直射日光照射を防ぐ目的で、水面から2.5mの高さに水槽全面を覆う寒冷紗（遮光率95%）を設置した。

飼育海水は紫外線処理ろ過海水を使用し、卵収容時の水温が28℃以下の場合は、1日1℃の割合でチタンコイルを用いて28℃まで段階的に昇温させた。28℃に達してからは、種苗の取り上げまでの水温が維持されるよう調温した。換水率は卵収容時から日齢1までは1回転/日とし、日齢2以降は水質や残餌の状況を見ながら0.3回転/日から4.0回転/日まで段階的に上げていった。なお、底層注水の配管及び水中ポンプによる攪拌配管については日齢33で撤去し、以後は水槽辺縁の水面付近1カ所からの注水とした。

卵収容時の通気は、エアーストーンから0.5ℓ/分を6カ所、ユニホースから1.0ℓ/分を2カ所とした。その後、エアーストーンからの通気は、日齢26からは1.0ℓ/分、日齢31からは1.5ℓ/分、日齢34からは2.0ℓ/分、日齢36からは2.5ℓ/分と段階的に強め、日齢46以降は3.0ℓ/分とした。また、DOを6mg/L前後に維持するため、日齢1から酸素通気を施した。

照明は、水面上20cm付近に40w×2本の蛍光灯5基及びLEDライト（5,200lm）3基設置し、照明直下の水面照度を3,000lx程度となるようにした。点灯時間は日齢2から日齢13まで24時間とし、日齢14からは8:00から16:00までとした。

飼育海中には、日齢2から日齢3までナンノクロプシスを飼育水1mLあたり100万細胞、日齢4から日齢11までは75万細胞、日齢12から日齢36までは50万細胞となるよう添加した。また、水質改善のため、貝化石粉（商品名：フィッシュグリーン、グリーン・カルチャ社製）を日齢4から日齢6までは600g/日（10g/kL・日）、日齢7から日齢23までは700g/日（12g/kL・日）、日齢24から日齢62（取上）までは800g/日（13g/kL・日）散布した。

餌料については、S型ワムシ八重山株を日齢2から日齢37（平均全長：20.0mm）まで飼育水1mL当たり20個体となるよう給餌した。日齢19（平均全長：8.3mm）から日齢44（平均全長：25.5mm）までアルテミアを300～6,200万個体/日を併せて与えると同時に、日齢26（平均全長：13.0mm）からは配合飼料を給餌した（図2）。アルテミアの給餌量は、給餌後1時間以内に摂餌できる量を基準とし、1日の給餌量が2,000万個体を超える場合は午前と午後の2回に分けて給餌した。

第3回次の種苗生産試験では、飼育密度を調整するため、日齢37と日齢40でサイホンによる分槽を行った。移送元（60kL-①）の排水を移送先（60kL-③）の水槽に45分貯め、50mm径カナラインホース2本を用いて水位差を利用したサイホン方式により稚魚を移送した。日齢37の分槽では、正の走光性を利用し、サイホンの吸い込み口付近に稚魚を集めることを目的に、夜間にスポット照明（25Wクリプトン球）を照射した。日齢40の分槽では、移槽元の水槽内の水流を強めることにより、水流に流された稚魚を強制的にサイホンに吸わせることを試みた。

令和元年度は、例年と比較して降水量が多く、大雨の後に斃死が続いたことから、スジアラ仔魚の低塩分濃度耐性を確認するために、塩分濃度別の無給餌生残試験を行った。塩分濃度33の紫外線処理ろ過海水を対照区とし、これを水道水で希釈し塩分濃度30及び27の3区を設定した。500mlガラスビーカーにふ化当日の仔魚を30尾ずつ収容し、仔魚が全て斃死するまで無給餌で飼育した。各ビーカーには被膜オイルを添加し、各区3回繰り返した。試験は令和元年9月9日から開始し、期間中の平均水温は28.4℃で、換水及び通気は行わなかった。斃死魚については、毎日13時に除去し、累積死亡数を求め、次式により無給餌生残指数（SAI）を算出した。

$$SAI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (N - hi) \times i$$

- N : 試験開始時の仔魚数
- hi : i日目の累積死亡数
- k : 生残率が0になる日数

通気や注水及び餌料系列等の飼育条件は、1水槽当たりの生産尾数が過去最も多かった平成30年度（1回次）の再現を目的として設定した（表1）。

なお、飼育水への添加微細藻類であるナンノクロプシスは、当センターで保管・培養したものを濃縮して使用し、生物餌料であるS型ワムシ八重山株は、水産研究・教育機構 増養殖研究所が遺伝資源として管理している株の配布を受け、当センターで培養したものを使用した。アルテミアについては市販の乾燥卵を脱殻処理し、凍結保存したものをふ化させて使用した。

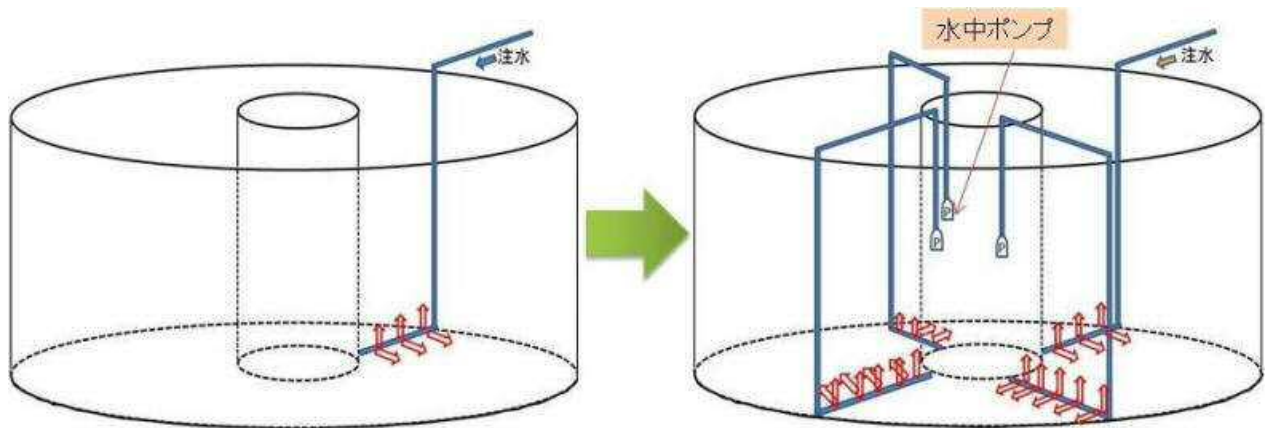


図1 60kL水槽の配管（左：H29年度まで、右：H30年度・R元年度）

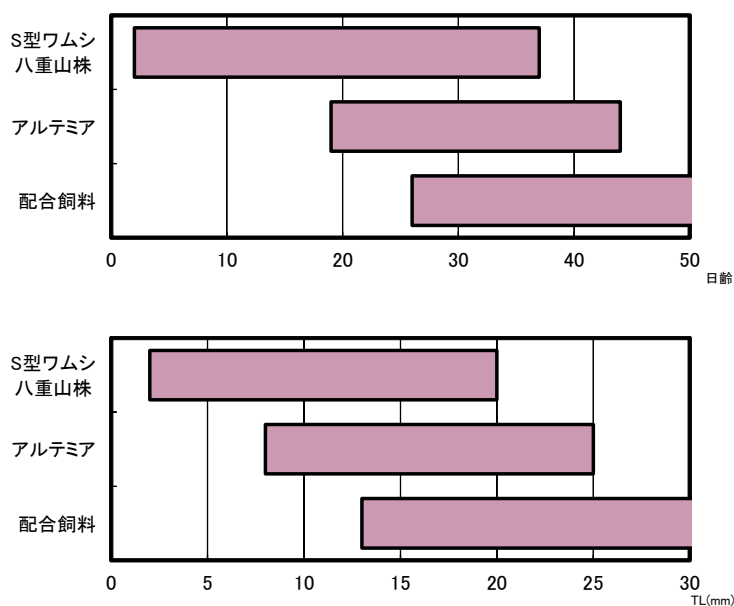


図2 餌料系列（上：日齢基準，下：全長基準）

表1 スジアラ種苗生産試験における飼育条件

| 項目       | 内容        |  |  |
|----------|-----------|--|--|
| 飼育水槽     | 大きさ       | 60kL (コンクリート製)   |  |
|          | 形         | 円形、中央に排水口  |  |
| 収容       | 方法        | 胚胎形成期の浮上卵  |  |
|          | 密度        | 1R-①   | 7,500粒/kL (1水槽当たり450千粒)                          |
|          |           | 1R-②   | 7,500粒/kL (1水槽当たり450千粒)                          |
|          |           | 2R   | 10,000粒/kL (1水槽当たり600千粒)                         |
| 3R       |           | 10,500粒/kL (1水槽当たり630千粒)   |  |
| 飼育海水     | 紫外線処理ろ過海水 |  |  |
| 水温       | 加温        | チタンコイル   |  |
|          | 飼育水温      | 28℃ (自然水温から設定水温に達するまで1℃/日で昇温)  |  |
| 注水       | 方法        | 底層注水方式：注水管を水槽底面まで延長し、底面の半径上に配した注水管から水平方向（時計回り）及び鉛直上方に吐出<br>底面注水管には10cm間隔で直径2mmの吐出口を開口<br>日齢33で配管を取り除き、以後は水槽辺縁の水面付近1カ所から注水<br>水中ポンプによる攪拌：底面の半径上に配した3本の塩ビ管と水中ポンプを連結し、水平方向（時計回り）及び鉛直上方に吐出<br>底面塩ビ管には10cm間隔で直径2mmの吐出口を開口 |  |
|          | 換水率       | 卵収容～日齢1：1.0回転<br>日齢2以降：0.3回転から4.0回転まで水質の状態を見ながら段階的に増量  |  |
| 通気       | エアーストーン   | 箇所数  | 卵収容～取り上げ：6カ所                                     |
|          |           | 通気量  | 卵収容～日齢25：0.5ℓ/分<br>日齢26以降：1.0ℓ/分から3.0ℓ/分まで段階的に増量 |
|          | ユニホース     | 箇所数  | 卵収容～取り上げ：2カ所                                     |
|          |           | 通気量  | 卵収容～取り上げ：1.0ℓ/分                                  |
| 酸素       | 方法        | 日齢1からエアーストーンを用い通気（液化酸素ガスを使用）   |  |
|          | 通気量       | 溶存酸素量を6mg/L前後に維持できるよう都度調整  |  |
| 照明       | 方法        | 蛍光灯（40W×2本）5基，LEDライト（5,200lm）3基  |  |
| 微細藻類     | 種類及び添加量   | 種類：ナンノクロロプシス<br>添加量：日齢2～3；100万細胞/mL(飼育水)<br>日齢4～11；75万細胞/mL(飼育水)<br>日齢12～36；50万細胞/mL(飼育水)  |  |
|          | 添加方法      | 50Lアルテミアふ化槽を用い、希釈して少量ずつ添加  |  |
| オイル      | 種類        | MT被膜オイル  |  |
|          | 量         | 卵収容～日齢6：7～8mL/槽・日  |  |
| 水質、底質改良剤 | 種類        | 貝化石粉（フィッシュグリーン：10～13g/kL・日）  |  |
|          | 散布方法      | 日齢4から取り上げまで、ジョロで海水に溶かして散布  |  |

|      |                              |                      |   |
|------|------------------------------|----------------------|---|
| 餌料   | 餌料系列                         | S型ワムシ八重山株→アルテミア→配合飼料 |   |
|      | 給餌基準                         | S型ワムシ八重山株            | 日齢2～37：20個体/mL                                |
|      |                              | アルテミア                | 日齢19～44：300～6,200万個体/日<br>給餌後1時間以内に摂餌できる量     |
|      |                              | 配合飼料                 | B社初期餌料（粒径200～800 μm）<br>日齢26から量及び粒径を増やしながらか給餌 |
| 栄養強化 | ワムシ：淡水産栄養強化クロレラ，アルテミア：マリングロス |                      |   |

## 【結果及び考察】

### 1 親魚養成および採卵試験

令和元年度の産卵前の親魚数は24尾であった。このうち3尾が6月から9月の間に斃死し、12月に奄美大島産を5尾追加したため、令和元年度末には26尾となった。

表2 令和元年度採卵結果

| 飼育水槽<br>(kl) | 産卵期間<br>自 至 (日数) | 産卵日数 | 総採卵数<br>(千粒) | 浮上卵数<br>(千粒) | 浮上卵率<br>(%) |
|--------------|------------------|------|--------------|--------------|-------------|
| 100          | 6/17 ~ 9/15 (91) | 86   | 78,858       | 76,567       | 97.1        |

産卵期間は6月17日～9月15日（91日間）で、そのうち産卵を確認した日は86日であった（表2）。総採卵数は約78,858千粒で、そのうち浮上卵は約76,567千粒、浮上卵率は97.1%であった。

初採卵日は6月17日で、その後7月上旬から8月上旬にかけて産卵盛期を迎え、7月24日には産卵期間中最多の2,690千粒を確認した（図3）。1日に2,000千粒以上の産卵が確認された日数は9日間、1,000千粒以上は33日間であった。試験に必要な受精卵は十分に確保することができたものの、直近14年間の中では最低の産卵数となった。（図4）。これは年度当初時点の親魚24尾中8尾は1年以内に概ね2kgサイズで購入した若齢魚、2尾は購入から15年以上経過した老成魚であり、産卵に適した年齢の親魚が少なくなっていることが原因と推察された。年間100,000千粒程度の卵を安定的に入手するためには、定期的に一定数の親魚を更新する必要があると考えられた。

産卵期間中の水温は23℃から28℃で推移し、期間を通じて概ね上昇傾向であった（図5）。一方、卵径は徐々に小さくなる傾向があり、卵径と水温との間には負の相関がみられた（図6）。種苗生産試験には産卵初期の大きな卵を用いることが望ましいと考えられた。

ハタ類は月齢と同調した産卵を行うことが知られており、屋外飼育されたスジアラでも産卵のピークが新月の2～7日後に生じるという報告がある<sup>1)</sup>。当センターでは月齢と産卵数との間に相関は確認されず（図7）、これは、当センターでは屋内で長期間飼育していることが影響している可能性が示唆された。

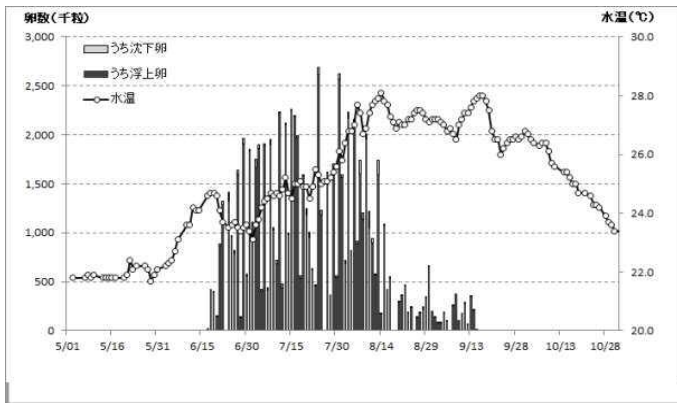


図3 R元年度の採卵数と飼育水温の推移



図4 過去の産卵数及び親魚数の推移

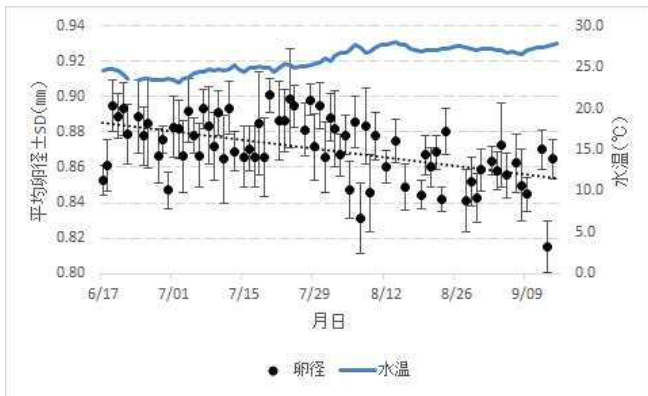


図5 産卵期間中の水温と卵径の推移

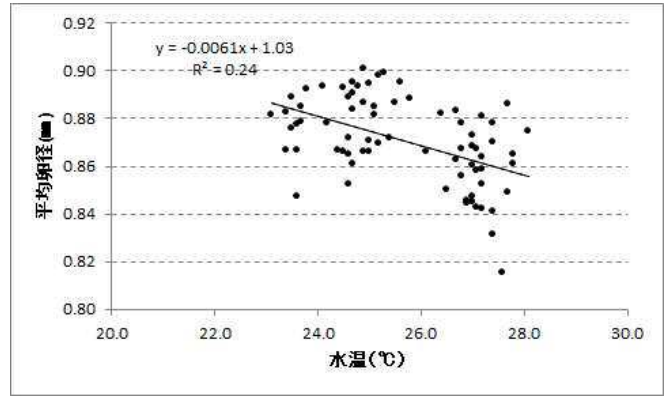


図6 水温と卵径との関係

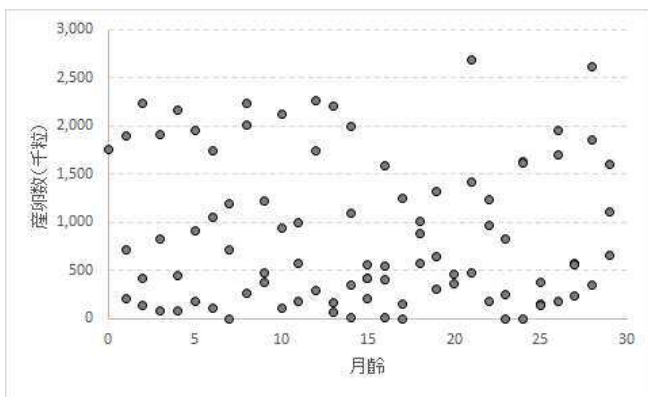


図7 月齢と産卵数との関係

## 2 種苗生産試験

生産尾数は合計で22,436尾（平均全長43.2mm）となった（表3）。

表3 令和元年度種苗生産実績

| 水槽 | 収容卵数<br>(粒) | ふ化尾数<br>(尾) | ふ化率<br>(%) | 採卵日   | 取上日   | 飼育<br>日数 | 取上全長<br>(mm) | 取上<br>尾数 | 生残率<br>(%) | 採卵時<br>水温 | 卵径<br>(mm) | kl当たり<br>生産尾数 |     |
|----|-------------|-------------|------------|-------|-------|----------|--------------|----------|------------|-----------|------------|---------------|-----|
| 1R | 60kl-①      | 450,000     | 348,000    | 77.3  | 6月24日 | -        | 22           | -        | 0          | 0.0       | 23.5       | 0.89          | 0   |
|    | 60kl-②      | 450,000     | 400,000    | 88.9  |       | -        | 16           | -        | 0          | 0.0       |            |               | 0   |
| 2R | 60kl-②      | 600,000     | 652,000    | 108.7 | 7月15日 | -        | 23           | -        | 0          | 0.0       | 24.5       | 0.87          | 0   |
| 3R | 60kl-①      | 630,000     | 527,000    | 83.7  | 7月24日 | 9月24日    | 62           | 43.2     | 22,436     | 4.3       | 25.3       | 0.90          | 374 |
| 合計 | 2,130,000   | 1,927,000   | 90.5       |       |       |          |              | 22,436   | 1.2        |           |            |               |     |

### (1) 初期生残

令和元年度における日齢7の生残率は10～26%であり、平成29年度の日齢8時点の生残率（26～35%）と比較すると低かったものの、ふ化直後の浮上斃死が発生した平成30年度よりは高かった（図8）。これは令和元年度は卵収容時からオイルを添加し、浮上斃死を抑えられたことが原因と考えられた。一方、武部ら<sup>2)</sup>の結果（日齢10で41.4～46.5%）と比較すると、初期生残率は著しく低いため、沈降死が発生している可能性が示唆された。次年度以降、照度環境や水流環境の見直しを行う必要があると考えられた。

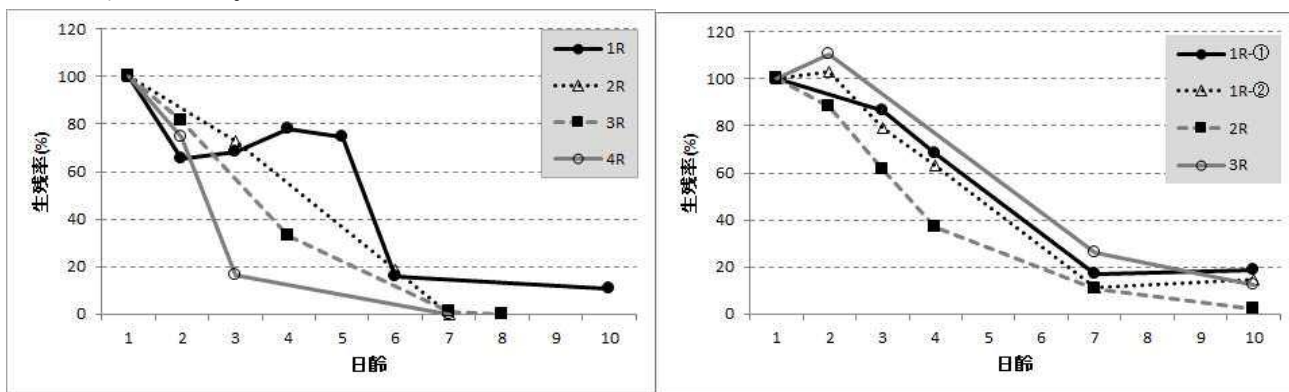


図8 日齢10までの生残率（左：H30年度，右：R1年度）

### (2) 1回次及び2回次

1回次及び2回次ともオイル添加による浮上死対策により、平成30年度よりはふ化直後の生残率は良かったものの、1回次では日齢10（7月4日）以降、2回次では日齢4（7月19日）以降に原因不明の減耗が続く、それぞれ日齢20日程度で飼育を中止した。1回次の斃死が始まった前日（7月3日）には、鹿児島湾\*で2,000mmを超える降水があり、これは7月平年（1981～2010年）の0.9ヶ月分であった。また、7月上旬の鹿児島湾の降水量は平年の約4倍であった（図9）。斃死時の塩分濃度を測定していなかったため、斃死の原因は不明であるが、降雨が何らかの影響を与えた可能性が示唆された。

※ 鹿児島湾の降水量は、気象庁のHPから、7カ所の観測地点（指宿、喜入、鹿児島、牧之原、輝北、鹿屋、田代）の降水量を合算して求めた。



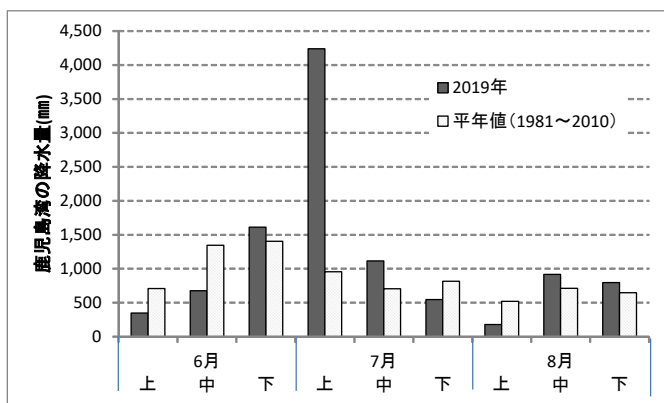


図9 6～8月の旬毎の降水量

### (3) 3回次

3回次は7月24日に採卵した卵を用いて62日間飼育し、22,436尾（生残率4.3%）の種苗を取り上げた。生産中に大雨は降らず、塩分濃度は32～34で推移した。

今後、初期生残が向上した場合、飼育後期に飼育密度が高くなることが予想されるため、分槽により密度管理を行う必要がある。そこでスパインが吸収された日齢37（全長20mm）でサイホンによる分槽を試みた。サイホンの吸い込み口付近に稚魚を集めることを目的に、日没後の19:00からスポット照明を照射したところ、20:00頃までは稚魚が光りに蝟集したものの、その後は蝟集しない稚魚が相当数観察された。19:00から23:00までの4時間で目視により1/4程度の稚魚が移槽できたと推察された。これらの結果から、全長20mmでは正の走光性は強くなく、光による蝟集は限定的で、分槽には利用できないと考えられた。

日齢40では平成30年度と同様に、移槽元の水流を強めて強制的に稚魚をサイホンに吸わせる方法で分槽を試みた。日没から翌朝までサイホンを設置したところ、移槽元に9,000尾残ったのに対し、17,000尾が移槽された。（尾数は取上尾数から斃死尾数を差し引き算出した）これらのことから、全長20mmではこの方法により分槽が可能であることが明らかになった。ただし、今回のように移り過ぎを防ぐため、分槽時には移槽尾数の確認を行う必要があると考えられた。

### (4) 塩分濃度別の無給餌生残試験

1回次及び2回次では、降雨後に原因不明の斃死が確認されたことから、ふ化仔魚の低塩分耐性を確認するために、塩分濃度別の無給餌生残試験を行った。その結果、塩分濃度33, 30, 27ではいずれも同様の減耗を示し（図10）、無給餌生産指数にも有意差は確認されなかった（Kruskal-Wallis test,  $P < 0.05$ , 図11）。このことから、ふ化直後の仔魚は塩分濃度が27まで低下しても生残に影響しないことが明らかになった。

なお、今回の試験は日齢1のふ化仔魚であり、1回次及び2回次で斃死が確認された日齢と異なることから、日齢により低塩分耐性が異なる可能性は残されている。また、雨水の影響により塩分濃度だけではなく、栄養塩の濃度も変化した可能性があり、それにより飼育水槽内の細菌叢が変化した可能性もある。今後は飼育水の塩分濃度を把握するとともに、大雨が予想される場合には、事前に別水槽に貯水し、塩分濃度の低下が確認されたらここから給水する等の対応が必要と思われた。



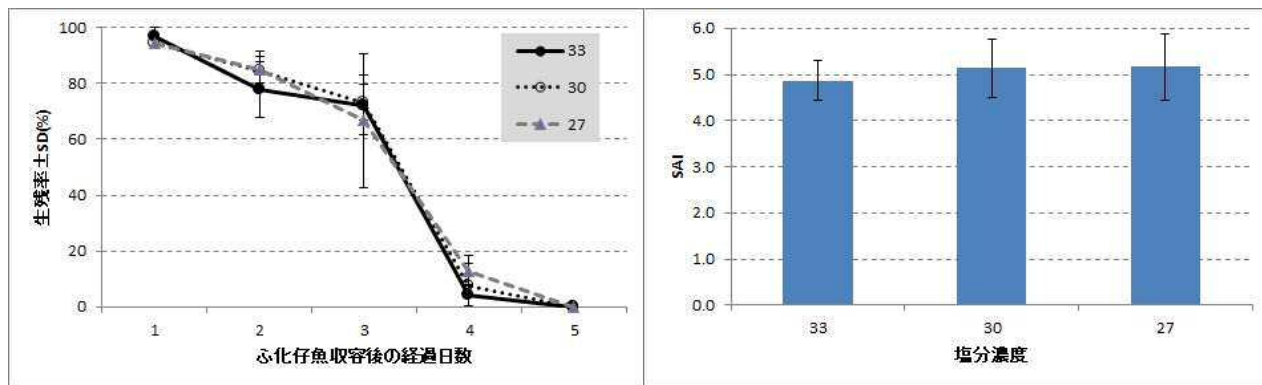


図10 無給餌飼育における塩分濃度別の生残率

図11 塩分濃度別の無給餌生残指数

なお、今年度生産した種苗については、9月27日に22,171尾を公益財団法人かごしま豊かな海づくり協会に出荷した。

### 【参考文献】

- 1) 山本和久・與世田兼三(2005), 飼育条件下におけるスジアラの産卵生態について, 栽培漁業センター技報, 4, 9-13
- 2) 武部孝行ら (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生産試験, 水産技術, 3(2), 107-114