

栽培漁業技術シリーズ

「シマアジ親魚養成 に関する技術開発成果」



「シマアジ親魚養成に関する技術開発成果」の刊行にあたって

独立行政法人水産総合研究センター（水研センター）は同センター法の改正を行い、平成15年10月1日付けで認可法人海洋水産資源開発センターおよび社団法人日本栽培漁業協会（日裁協）の業務を引き継いだ。これまで日裁協が実施してきた栽培漁業に関する業務等は、栽培漁業部門（栽培漁業部および栽培漁業センター）が引き続き担うこととなった。本書で取りまとめた「シマアジ親魚養成に関する技術開発成果」は、栽培漁業の推進を目的に、日裁協古満目事業場（現水研センター古満目栽培漁業センター）が1977年から、次いで、同五島事業場（現同五島栽培漁業センター）が1982年から着手した。1986年には古満目事業場が養成した親魚を用いて産卵誘発無処理による自然産卵に成功し、長期間にわたる良質卵の量的安定確保が可能となった。また、これまでに、本種の成熟促進手法、採卵手法および卵管理手法に関しても、基礎となる技術が開発された。さらに、卵の安定的確保が可能になったことに伴って、これらの卵を用いた種苗生産技術開発も進展し、1988年には約80万尾の人工種苗の生産に成功した。

一方、1989年頃から本種の種苗生産過程において、ウイルス性神経壊死症（VNN）の発生する事例が見られるようになり、1990年には一生産期に51回もの種苗生産試験を行ったにも関わらず、VNNの発生で種苗が全く生産できない事態に陥った。そのため、大学との共同研究に取り組み、まず、VNN原因ウイルスの感染経路が親魚からの垂直伝播であることを解明し、1994年には親魚養成過程における本種のVNN防除技術を開発した。そして、この技術は種苗生産過程における防除技術まで進展し、再び量産規模での健全な種苗の生産が可能となった。

本書は、これまでのVNNの防除技術開発も含めてシマアジ親魚養成の技術開発における成果を当時の担当者によって取りまとめられたものである。原稿を作成する上では、論文や報告書として公表された成果はもとより、公表されていなかった試験結果や知見についても可能な限り収集した。そのため、必ずしも学術的表現や解析結果になっていない箇所もあることをご了解願いたい。

本書が今後、関係各機関における大型回遊魚の親魚養成技術開発の参考になれば幸いである。

平成17年3月

独立行政法人水産総合研究センター

理事長 川 口 恭 一

「シマアジ親魚養成に関する技術開発成果」

原稿執筆者一覧

1 緒 論

虫 明 敬 一 現 水研センター栽培漁業部
前 同五島栽培漁業センター
元 同古満目栽培漁業センター

2 親魚養成

今 泉 均 現 水研センター奄美栽培漁業センター
前 同古満目栽培漁業センター
中 野 昌 次 現 水研センター上浦栽培漁業センター
前 同五島栽培漁業センター
虫 明 敬 一 前出

3 採 卵

虫 明 敬 一 前出
中 野 昌 次 前出

4 卵管理とふ化

虫 明 敬 一 前出

5 卵および仔魚の輸送

虫 明 敬 一 前出

6 疾病対策

有 元 操 現 水研センター栽培漁業部
元 同五島栽培漁業センター

7 残された課題

虫 明 敬 一 前出

全体取りまとめ

虫 明 敬 一 前出

～ 目 次 ～

<p>1 緒 論 1</p> <p> 1-1 分布と地方名 1</p> <p> 1-2 形態と形質 1</p> <p> 1-3 天然魚の生態 1</p> <p> 1-4 増養殖小史 2</p> <p> 1-5 生産量 2</p> <p>2 親魚養成 4</p> <p> 2-1 採卵用親魚 4</p> <p> 2-1-1 天然養成親魚 4</p> <p> 2-1-2 人工養成親魚 5</p> <p> 2-1-3 成熟と採卵時期 6</p> <p> 2-1-3-1 成熟時期 6</p> <p> 2-1-3-2 陸上水槽への収容と採卵時期 8</p> <p> 2-2 養成手法 8</p> <p> 2-2-1 養成施設 8</p> <p> 2-2-1-1 海面小割 9</p> <p> 2-2-1-2 陸上水槽 11</p> <p> 2-2-2 親魚の取り扱い 12</p> <p> 2-2-3 収容密度 12</p> <p> 2-3 養成飼餌料 13</p> <p> 2-3-1 混合生餌とモイストペレットの 給餌 13</p> <p> 2-3-1-1 古満目栽培センターにおける 給餌 13</p> <p> 2-3-1-2 五島栽培センターにおける 給餌 14</p> <p> 2-3-1-3 まとめ 15</p> <p> 2-3-2 配合飼料の給餌 15</p> <p> 2-3-3 自動給餌器を用いた給餌 18</p> <p>3 採 卵 20</p> <p> 3-1 成熟度調査 20</p> <p> 3-1-1 卵巣卵径の測定 20</p> <p> 3-1-1-1 卵巣卵の採取と測定 20</p> <p> 3-1-1-2 退行変性卵 21</p> <p> 3-2 血液性状 22</p> <p> 3-2-1 親魚からの採血 22</p> <p> 3-2-2 血液検査項目 22</p> <p> 3-2-3 親魚のトリグリセライド (TG) と 産卵数 23</p> <p> 3-2-4 産卵期間中の血液性状の変化 24</p> <p> 3-3 成熟促進手法とその採卵事例 24</p> <p> 3-3-1 ホルモン処理 24</p>	<p> 3-3-1-1 ヒト胎盤性生殖腺刺激ホルモン (HCG) 24</p> <p> 3-3-1-2 生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (GnRH) 25</p> <p> 3-3-2 水温の制御処理 25</p> <p> 3-3-2-1 加温処理 25</p> <p> 3-3-2-2 加温とホルモンの併用処理 26</p> <p> 3-3-2-3 水温上限制御処理 26</p> <p> 3-3-3 長日処理 27</p> <p> 3-3-4 無処理 27</p> <p>4 卵管理とふ化 29</p> <p> 4-1 卵の回収 29</p> <p> 4-2 卵の取り扱い 31</p> <p> 4-2-1 取り扱い方法 31</p> <p> 4-2-2 取り扱い時期 33</p> <p> 4-3 卵管理 33</p> <p> 4-3-1 ふ化容器 33</p> <p> 4-3-2 収容時の物理的条件 35</p> <p> 4-3-3 水温とふ化時間 36</p> <p> 4-3-3-1 発生過程の概要 36</p> <p> 4-3-3-2 ふ化時間 37</p> <p> 4-3-4 卵比重の変化 37</p> <p> 4-4 ふ化仔魚の評価 38</p> <p> 4-4-1 無給餌生残指数 (SAI) 39</p> <p> 4-4-2 SAIによる仔魚の活力評価の可能性 39</p> <p> 4-4-3 試験条件の検討 40</p> <p> 4-4-3-1 ハンドリングの影響 40</p> <p> 4-4-3-2 収容尾数の影響 40</p> <p> 4-4-3-3 試験水温の影響 40</p> <p> 4-4-3-4 親魚の産卵条件の影響 41</p> <p> 4-4-4 まとめ 41</p> <p>5 卵および仔魚の輸送 43</p> <p> 5-1 ふ化仔魚の輸送 43</p> <p> 5-1-1 輸送容器 43</p> <p> 5-1-2 輸送容器への収容 43</p> <p> 5-1-3 収容密度と生残率 45</p> <p> 5-1-4 輸送時間と到着時の生残率 45</p> <p> 5-2 受精卵の輸送 45</p> <p> 5-2-1 輸送時期と輸送容器 45</p> <p> 5-2-2 輸送容器への卵の収容 46</p> <p> 5-2-3 卵の収容密度と生残率 46</p>
---	---

6	疾病対策	47
6-1	細菌性疾病	47
6-2	寄生虫性疾病	47
6-3	ウイルス性疾病	48
6-3-1	VNN原因ウイルスと感染経路	50
6-3-2	診断方法	51
6-3-3	防除対策	52
6-3-3-1	垂直伝播の防除	52
6-3-3-2	水平伝播の防除	52
6-3-3-3	親魚の飼育管理	52
7	残された課題	54
7-1	遺伝子の多様性を考慮した採卵用親魚の 確保	54
7-2	ウイルスフリー親魚の養成技術の開発	54
7-3	親魚の個体別データ管理	54
7-4	親魚用配合飼料の開発	54
7-5	種苗生産コストの低減	55
8	謝 辞	56
9	引用文献	57

1 緒 論

1-1 分布と地方名

シマアジ（写真1-1）はアジ科に属し、アジ科魚類の中でも大型になる魚種の一つであり、全長で1m、体重は10kgに達する個体もある。本種は、わが国の岩手県以南の沿岸域から伊豆諸島、小笠原諸島にかけての主に黒潮流域の太平洋沿岸に広く分布している回遊魚である。アジ科魚類の中でも最も美味とされ、その市場価値もきわめて高いことから、養殖対象種として重要視されている魚種である。また、釣りの対象としても人気が高い魚種でもある。

本種の地方名は、九州地方でカツオアジ、ヒラアジ、シマイッサキ、アブラカマジ、メアカサゴ（幼魚）、四国地方ではコセアジ、和歌山ではコセ（幼魚）、ソイ、ソジ（大型魚）、東京ではオオカミなど全国で約20に及ぶ。なお、学名は従来 *Caranx delicatissimus* であったが、Gushiken（1993）が *Pseudocaranx dentex* (Bloch et Schneider) を提唱し、現在では国際的にもこの学名が定着している。英名は striped jack である。

1-2 形態と形質

アジ科魚類の中では体高が高く、体は側扁形で、体長は体高の約3倍ある。吻部は長くて広く、胸部に鱗がある。側線は、頭部から尾部に向けて強く曲がったのち直走し、直走部の大部分に26枚あまりの楕円鱗がある。

背鰭軟条24~25本で、体の中軸に幅広い1本の黄色縦走帯がある。

日本近海に棲息するシマアジは、遺伝学的特性が異なることが報告されている。すなわち、本州、四国および九州の太平洋沿岸に棲息するシマアジのほとんどが脊椎骨数25のAタイプと称される形態学的特徴を有するのに対して、小笠原周辺海域に棲息するシマアジは脊椎骨数24のBタイプと報告されている（Yamaoka *et al.*, 1992）。脊椎骨数以外の両タイプの違いについては、外見上Bタイプの方が背部の体色の青味が強く、成長が早い（益田ら、1993）点を除くとまだ十分には検討されておらず、今後の生態学的研究等が必要とされている。

1-3 天然魚の生態

天然魚の生態を各地の漁獲実態からまとめてみると、主産地では稚魚から成魚までの年級が周年にわたり出現し、時期を追って成長し漁獲される。当歳魚は、まず春先にブリ稚魚（モジャコ）とともに流れ藻に付いているものが採捕される。シマアジ稚魚については、九州・四国の太平洋側から紀伊半島までの黒潮沿岸域に順次南から接岸することが知られており、その稚魚の9割はAタイプであり、残りの1割がBタイプであったと報告されている（益田ら、1993）。晩春から夏にかけて10cm前後の天然稚魚が、内湾部のごく沿岸まで来遊し、小型定置網等によく入網する。また、養殖場の海面小割生



写真1-1. シマアジ *Pseudocaranx dentex* の親魚（体重4~6kg）

簀の周辺にも定着・滞留して、小割生簀網からこぼれ出る残餌を捕食しているのが観察されることがある。しかし、成魚以降では天然海域での摂餌や産卵に関する生態や行動特性に関しては、ほとんど知見がないのが現状である。

1-4 増養殖小史

本種の養殖の歴史はさほど古くなく、第二次大戦後に千葉県太海漁業共同組合で養殖（蓄養）されたのが始まりである（村井，1992）。その後、近畿大学や東京都、静岡県、徳島県、千葉県、宮崎県、大分県、長崎県等の各水産試験場や漁業共同組合で養殖試験が盛んに行われたが（谷本，1965，1969；原田，1986）、当時の養殖用種苗にはすべて天然稚魚が使用されていた。しかし、天然種苗の量的確保が困難であったため、増殖の発展には人工種苗の利用が不可欠となり、採卵用親魚の養成が開始されるようになった。採卵用親魚の養成技術に関しては、これまでに多くの報告がなされている（岩本，1981；原田ら，1984a，1984b；村井ら，1985a；松本・河野，1985；加藤，1986；長谷川，1986；虫明ら，1989；加藤ら，1990）。これらの報告が示すように漁獲された天然成魚を飼育した養成親魚から安定した大量採卵を行うことは比較的困難であったが、1984年に東京都小笠原水産センターにおいて産卵誘発処理を施さずに大量の採卵に初めて成功した（村井ら，1985b）。次いで、1986年に（社）日本栽培漁業協会古満目事業場（現独立行政法人水産総合研究センター古満目栽培漁業センター；以下、古満目栽培センター）において、「3 採卵」の項で後述するように、産卵誘発無処理での自然産卵に成功し、また、新たに飼育水温を20℃以下とする水温上限制御処理を組み合わせるにより、長期間に

わたる大量の良質卵の確保が可能となった（虫明ら，1989）。

日本栽培漁業協会では、1988年に約80万尾のシマアジ人工種苗の生産に成功したことを受けて、平成元年度から本種の飼付け型栽培漁業の技術開発への取り組みを開始した。ところが、取り組み当初にウイルス性神経壊死症（viral nervous necrosis：VNN）（Yoshikoshi and Inoue, 1990）が発生し大きな被害を受けた。しかし、その後、魚病の歴史にはかつてなかった急速なスピードで、数年のうちに種苗生産過程におけるVNN防除技術（6 疾病対策の項で詳述）が開発され、その後、人工種苗を用いた飼付け型栽培漁業の技術開発も進展した。この飼付け型栽培漁業技術開発に関するこれらの成果については、すでに特別研究報告として公表されている（日本栽培漁業協会，1991，1992，1993，1995，1996，1997，1998a，1998b，1999a）。

1-5 生産量

本種の養殖は、海面養殖が全国的に普及してきた1963年頃から始められ、1976年までは生産量も100トン未満の横這い状態であった（鳥島，1986）。その後、年間生産量は急速に増加し（図1-1）、現在では千葉、静岡、三重、和歌山、高知、大分、長崎、宮崎および鹿児島各県で本種の養殖が行われるようになった。漁業・養殖業生産統計年報によると、1997年に一時的に年間生産量が2200トンに落ち込んだが、その後、回復する傾向がみられ、2001年には3396トンにまで増加した。近年では、養殖対象種としてもトラフグに次ぎ第4位の高い位置を占めるに至っている。本種の場合、天然種苗を一度にまとまった数で確保することは困難なため、シマアジの養殖産業においては人工種苗の安定的供給に

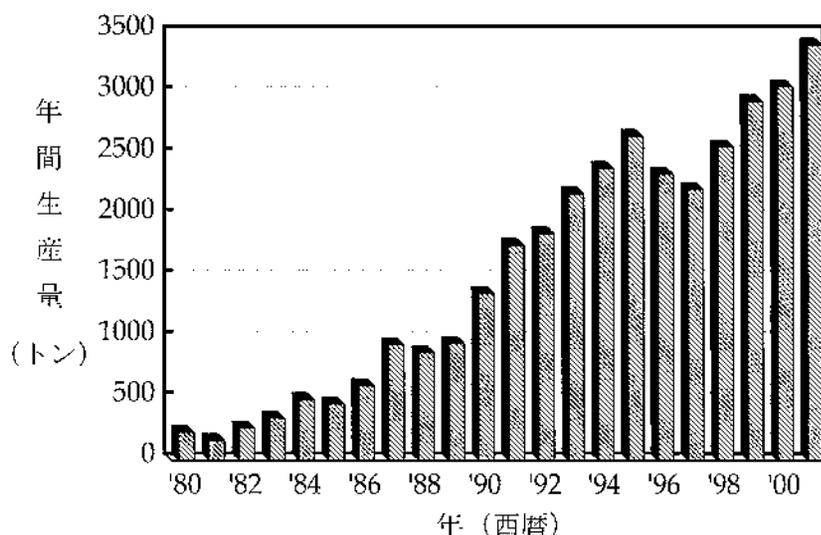


図1-1. わが国のシマアジ生産量（漁獲＋養殖）の推移

大きな期待が寄せられている。また、一方では、栽培漁業によるシマアジの資源造成の観点からも、健全な親魚

の養成技術の開発が強く期待されている。

2 親魚養成

種苗の量産を目的とした人工種苗生産を実施するに当たっては、種苗生産用水槽や生物餌料の培養水槽などの施設の制約上の問題、あるいは仔魚の活力や生物餌料そのものの培養条件などの技術的な問題もある。そのため、人工種苗の生産尾数を増やすためには、高い生残率での効率的な種苗生産技術を開発する必要があるとともに、生産回数の増加が必要である。このような条件を満たすためには、養成した親魚から長期間にわたり健全で良質な卵を計画的に、しかも安定して確保する必要がある。

本項では、そのような技術的開発を図るために、これまでに古満目栽培センターおよび日本栽培漁業協会五島事業場（現水産総合研究センター五島栽培漁業センター；以下、五島栽培センター）で開発されたシマアジの親魚養成技術と産卵誘発処理方法、効率的なふ化仔魚生産のための卵の取り扱い方法と卵管理方法、および得られたふ化仔魚の活力判定手法等について、以下に述べる。

2-1 採卵用親魚

古満目および五島栽培センターでは、それぞれ1977年および1982年に水産庁の委託を受けてシマアジの親魚養成技術開発に着手した。当初は、それぞれ異なる海域特性を有する古満目および五島の両栽培センターにおいて、産卵親魚としての役割を果たすまでの間の成長や成熟、あるいは生物学的最小形に関する情報等を把握する必要があった。そのため、由来の異なる未成魚を用いて親魚に成長するまでの長期間にわたる親魚養成に取り組んだ。

また、養成した親魚からの効率的な産卵を行うためには、人為的な産卵誘発処理技術を開発することも重要な課題の一つと考えられた。そのためには、シマアジの好適飼餌料や成熟開始時期の把握、産卵生態や産卵行動などの基礎的知見の収集も重要であると考えられた。

さらに、天然養成親魚^{*1}からの採卵と1万尾程度の種苗生産が可能になってからは、種苗生産した人工種苗を用いた人工養成親魚^{*2}の養成も行い、特に、成熟促進および産卵誘発に関する知見を収集することに努めた。

本項では、天然魚と人工生産魚の親魚候補について、産卵に至るまでの基本的な養成技術とそれぞれの利用状況について述べる。ちなみに、Aタイプのシマアジ天然

養成親魚および人工養成親魚を産卵試験に供した場合の初産年齢は、それぞれ6歳魚および7歳魚であったと報告されている（虫明，1996）。

2-1-1 天然養成親魚

シマアジは漁獲量が少なく、また、擦れに弱く活魚としての集荷が難しい魚種であるため、漁獲された成魚あるいは親魚を蓄養して産卵親魚として使用することは技術的にも極めて困難である。一方、シマアジの養殖業者では、人工種苗を利用できるようになるまでは春先に接岸する全長5cm前後のシマアジ稚魚を専門に漁獲している漁業者から天然種苗を購入し、あるいは一本釣りや定置網に入網する尾又長20cm程度までのシマアジ若魚を購入して海面生簀で養殖していた（椎原・稗田，1980）。

古満目および五島栽培センターにおけるシマアジ天然未成魚および成魚の搬入先を図2-1に示した。古満目栽



図2-1. 古満目および五島栽培センターへのシマアジ天然未成魚の搬入場所

培センターでは、稚魚が接岸する4月から5月に高知県大月町古満目沿岸海域および大分県蒲江町沿岸海域で漁獲された天然稚魚を主に搬入した。一方、五島栽培センターでは、五島列島沿岸海域および九州西岸海域への稚魚の接岸が少ないため、高知県や大分県で漁獲された

*1 天然養成親魚：漁獲された天然魚を一定期間養成した親魚。

*2 人工養成親魚：種苗生産された人工種苗を継続して飼育し養成した親魚。

天然稚魚を搬入した。また、これらの漁獲海域においては、AタイプとBタイプの稚魚が混在しており、約9割がAタイプであった。さらに、これらの海域で漁獲される天然シマアジの全長20cm以上の若魚でも、ほとんどがAタイプであった。このことから、古満目および五島栽培センターでは親魚候補にはAタイプの天然稚魚を用い、放流用種苗の生産には、天然養成親魚からの受精卵のみを使用した。しかし、1989年に種苗生産過程においてVNNが発生し、VNN原因ウイルスの主たる感染経路が親魚から卵を介した仔魚への垂直伝播と判明したため（「6 疾病対策」の項で後述）、図2-1に示すように千葉県、石川県、静岡県、和歌山県、宮崎県あるいは鹿児島県から天然成魚を搬入して養成した事例もあった（Mushiake *et al.*, 1992）。

搬入した稚魚や成魚は、古満目および五島栽培センターの地先の海面小割生簀および陸上水槽で養成した。1999年から2003年までの5年間の両栽培センターにおける月別平均水温を図2-2に示した。いずれも最低水温は2～3月で、古満目栽培センターでは16℃、五島栽培センターでは15℃であった。また、最高水温はいずれも8月に27～28℃に達した。古満目および五島栽培センターで本技術開発に着手した1980年頃の最低水温は、それぞれ14℃および13℃であったが、1997年頃から暖冬の影響が冬場の地先水温にも影響しており、両海域とも水温が15℃を下回ることが比較的少ない状況となっている。

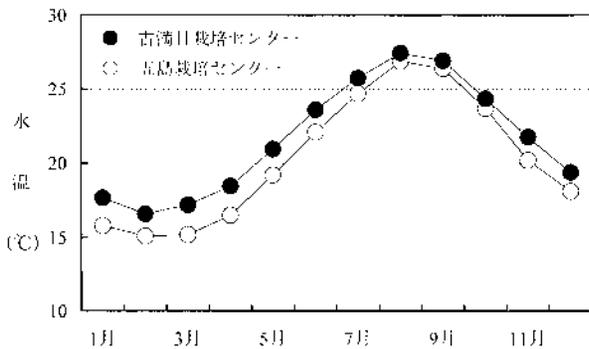


図2-2. 過去5年間（1999～2003年）における古満目および五島栽培センターの平均地先水温の変動

五島栽培センターの海上施設は、冬期に日本海性気候の影響を受けて北西の季節風による時化が続くため、1月～3月の間は週に1度程度しか給餌できない時もあった。また、古満目栽培センターの地先水温よりも低くなるため、シマアジ親魚の成長や成熟に少なからず影響があるものと考えられた。そのため、後述（2-2-4-3）するような自動給餌器を用いた冬期の餌不足の問題を解消する必要があると考えられた。

古満目および五島栽培センターにおける本種の成長の推移をそれぞれ図2-3および2-4に示した。古満目裁

培センターで養成した天然稚魚の平均魚体重は、1歳魚で0.4kg、2歳魚で0.9kg、3歳魚では2.1kgまで成長した。一方、五島栽培センターの養成では3歳魚で1.5kgと古満目栽培センターでの成長よりも劣った。宮崎県下で行われた養殖試験と比較すると、2歳魚の魚体重は1.2kg（毛利，1994）、また、大分県豊後水道域での養成では3歳魚の魚体重が2.0～2.5kgに達し（鳥島，1986）、古満目および五島栽培センターにおける本種の成長は、これら飼育事例よりも劣った。ただし、これらの養殖業では魚体重の増重を最も重要視した飼育であるため、生殖腺の発達等の繁殖生理学的な面の考慮はなされていない。すなわち、稚魚の段階から魚体重を増重させるために飽食量給餌を行い、成魚以降では性成熟の阻害要因となる腹部への脂肪蓄積をむしろ積極的に取り入れることにより、人為的に性成熟を抑制させるような飼育手法も導入されているとの情報もある。

2-1-2 人工養成親魚

シマアジの天然稚魚の入手は、新規加入群の資源変動や漁獲量の豊凶にも左右されるため不安定である。そのため、技術開発当初はシマアジ親魚の養成および採卵技術を開発するために種苗生産された種苗を養成し、情報の収集に努めた。本項では、それらの経緯について概要を述べる。

五島栽培センターでは、1981～1999年に人工種苗を養成して採卵用親魚とし、その間の成長、成熟および

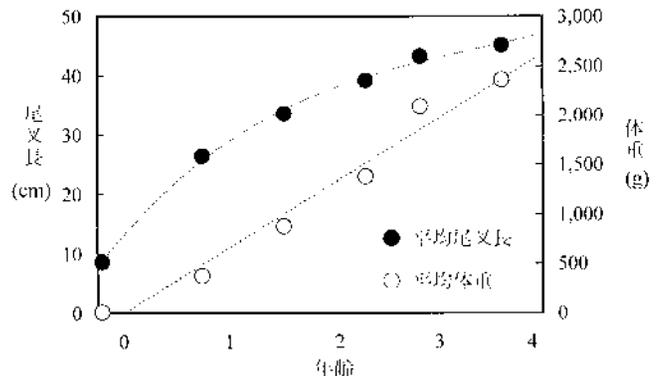


図2-3. シマアジ天然稚魚の成長（古満目栽培センター）

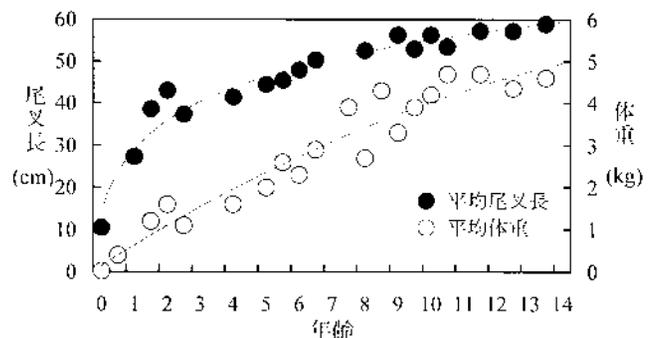


図2-4. シマアジ天然稚魚の成長（五島栽培センター）

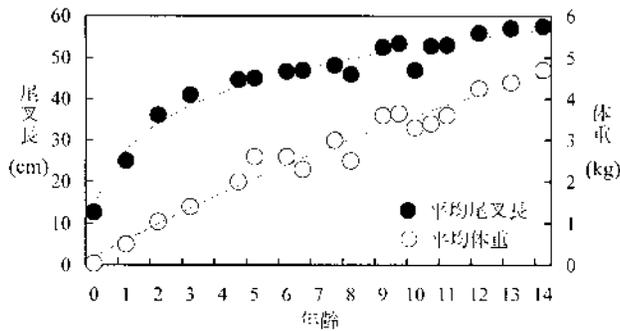


図2-5. シマアジ人工種苗の成長 (五島栽培センター)

採卵時期などについて調査した。図2-5に養成した人工種苗の平均尾叉長と体重の推移を示した。平均魚体重は1歳魚で0.4kg, 2歳魚で1.0kgに達し、古満目栽培センターで養成した天然魚(図2-3)とほぼ同程度の成長を示した。しかし、3歳魚以降の成長が悪く、7歳魚でも平均魚体重は3kg以下であり、魚体重が4kgを越えたのは12歳魚以降と天然養成親魚よりもかなり劣った。初産卵は天然養成親魚と同じ7歳魚で確認され、安定的に採卵できるようになったのは9歳魚以降であった。

人工養成親魚は、元来限られた親魚群由来の人工種苗を養成した親魚であることから、遺伝的多様性に偏りが生じる結果を招くことになる(谷口・木島, 1985; 谷口, 1994)。近年、放流用種苗の遺伝的多様性の保持に関する議論が盛んに行われており、人工養成親魚からの採卵は遺伝的多様性の観点からは問題がある。したがって、水研センターの栽培漁業センターでは、シマアジのみならず他の魚種においても、放流用種苗の生産には原則として天然養成親魚から得られた受精卵を使用している(虫明ら, 2003)。

2-1-3 成熟と採卵時期

養成した親魚から採卵するためには、その成熟時期を把握する必要がある。本項では、これまでに古満目および五島栽培センターで行われたシマアジ親魚の海上小割生簀での成熟と成熟時期について述べる。

2-1-3-1 成熟時期

古満目栽培センターにおいて、1986~1990年に天然養成親魚(Aタイプ)を用いて自然条件下でホルモンを使用しない誘発無処理の産卵試験を行った結果、いずれの年も採卵に成功し(表2-1)、4月初旬から6月上旬までの約2カ月間にわたって産卵が確認された(表2-2)。産卵水温は16.4~22.9℃であった(虫明, 1996)。一方、小笠原では天然養成親魚(Bタイプ)について周年にわたる生殖腺指数(gonad somatic index: GSI)と生殖腺の組織的観察から、11月からの卵成熟開始を確認し、GSIは1月に上昇がみられたことから12

表2-1. 古満目栽培漁業センターにおけるシマアジ親魚の産卵誘発手法(1985年~1993年)

年	産卵誘発方法*1				
	C	I	C+H	N	ULC
1985	0/3*2	ND*3	2/3	ND	ND
1986	ND	ND	3/4	1/1	ND
1987	1/1	ND	2/3	1/1	ND
1988	ND	ND	2/3	1/1	1/1
1989	ND	ND	2/3	1/1	1/1
1990	3/3	ND	3/4	1/1	ND
1991	2/4	ND	3/3	ND	ND
1992	ND	5/5	ND	ND	ND
1993	ND	4/5	ND	ND	ND
合計	6/11	9/10	17/23	5/5	2/2

*1 産卵誘発方法 C: 加温安定処理(22℃), I: 加温変動処理(20℃⇄22℃), C+H: 方法CとHCG注射との併用, N: 無処理, ULC: 水温上限制御処理(20℃以下)。

*2 採卵成功事例数/試験回数。

*3 ND: 未実施。

月~翌年2月を産卵時期と推測し、この間の水温が19~24℃であったと報告されている(村井ら, 1985b)。また、小笠原での自然水温条件下での産卵は水温18.6~22.7℃の間であったとの報告がある(加藤ら, 1990)。今回、古満目栽培センターで得られたAタイプのシマアジ親魚の産卵水温の範囲は、上限および下限とも小笠原でのBタイプ親魚の産卵水温を越える結果となり、Bタイプ親魚よりも広い水温帯で産卵可能であることが判明した。無処理で産卵させた雌親魚の1尾当たりの産卵数は266~662万粒であり(表2-2)、「3-3-2 水温の制御処理」で後述する加温安定処理、加温変動処理あるいは加温とホルモン併用処理を施した親魚の産卵数と比較すると、いずれも少ない結果となった。これは、飼育水温が自然水温の変動に委ねられているために親魚の産卵適水温が維持されにくく連続的な産卵誘発を受けにくいことに起因していると考えられた。そのため、大量の卵を確保するという観点から判断すると、無処理での産卵はむしろ非効率的な方法と言わざるを得ない。しかし、無処理条件下で飼育した親魚の産出卵の卵径は、加温とホルモンの併用処理を施した親魚から得られた卵径よりも産卵期間を通して常に約40μm程度大きい値を示した(図2-6)。このようなホルモン処理による産出卵の卵径への影響に関しては、カンパチにおいても報告されているが(立原ら, 1993)、ホルモンの作用機序と卵径との関係については現段階では不明である。村井ら(1985b)はシマアジ親魚の卵巣卵の組織学的検査を行った結果、本種の卵巣卵の発達は非同時型に属することを報告している。このような非同時発達型の卵巣卵を有する魚種としては、マダイ(松浦, 1972)、メダカ(Yamamoto and Yoshioka, 1964)およびアユ(松山・

表2-2. 古満目栽培センターにおけるシマアジ親魚の産卵結果 (1985年~1993年)

年	No.	親魚群			産卵誘発方法*3	産卵水温(°C)	産卵期間(月日)	雌1尾当りの産卵結果(×10 ⁴)				ふ化率*4 (%)
		由来*1	年齢	尾数(F:M)*2				総採卵数	浮上卵数	受精卵数	ふ化仔魚数	
1985	1	天	7	19(10:9)	C+H	21.7-22.1	3.9~4.14	354.9	224.8	209.3	165.2	46.5
	2	天	7	18(12:6)	C+H	21.8-22.2	3.8~5.3	521.3	335.0	295.6	240.6	46.2
1986	1	天	8	24(15:9)	C+H	19.1-22.1	3.5~4.20	406.1	214.8	198.7	127.5	31.4
	2	天	8	24(16:8)	C+H	20.3-22.4	3.14~5.2	558.5	248.8	221.6	133.6	23.9
	3	天	8	22(8:14)	N	17.0-20.8	4.10~5.30	265.6	88.6	65.6	49.8	18.8
	4	天	6	25(18:7)	C+H	22.0-22.1	5.5~5.13	10.8	0.9	0.2	0.2	1.9
1987	1	天	9	21(11:10)	C+H	21.9-22.4	3.7~5.2	809.3	381.0	340.2	238.8	29.5
	2	天	10	28(14:14)	C+H	19.5-22.3	3.12~5.8	861.5	384.5	336.9	207.0	24.0
	3	天	9	22(11:11)	C	21.7-22.0	3.23~5.10	736.4	371.7	354.1	239.3	32.5
	4	天	9	18(9:9)	N	16.4-22.9	4.5~6.1	407.0	110.3	99.0	64.6	15.9
1988	1	天	11	26(16:10)	C+H	21.7-22.2	3.9~5.8	1211.4	893.8	788.3	677.3	55.9
	2	天	10	20(10:10)	C+H	21.9-22.5	3.19~5.16	1136.8	943.7	833.3	742.3	65.3
	3	天	10	20(10:10)	ULC	17.5-20.5	4.10~6.17	690.2	639.0	536.6	445.6	64.6
	4	天	10	19(10:9)	N	17.5-22.5	4.10~5.29	328.3	295.3	238.3	174.4	53.1
1989	1	天	12	24(12:12)	C+H	21.6-22.1	3.8~6.6	1166.6	1104.7	1009.8	863.2	74.0
	2	天	11	20(10:10)	C+H	21.5-22.1	3.16~4.24	844.0	778.2	746.8	638.3	75.6
	3	天	11	19(10:9)	N	17.7-22.6	4.4~6.12	661.6	631.7	616.1	567.5	85.8
	4	天	11	20(10:10)	ULC	17.7-20.8	4.9~6.7	924.7	875.1	832.7	749.0	81.0
1990	1	天	12	8(4:4)	C	21.6-21.8	1.10~3.22	1013.5	941.3	916.8	777.3	76.7
	2	天	12	10(6:4)	C	21.7-22.4	2.28~4.29	1181.5	1117.2	1083.2	979.0	82.9
	3	天	13	21(15:6)	C+H	21.5-22.4	2.23~6.4	1413.5	1349.7	1256.5	1101.8	77.9
	4	人	9	24(12:12)	C+H	21.8-22.3	4.3~4.11	15.8	9.0	3.4	1.2	9.6
	5	天	12	19(10:9)	N	17.4-22.3	3.30~6.4	490.7	461.2	426.9	332.9	67.8
	6	天	12	19(12:7)	C	21.6-22.5	3.28~6.4	1117.6	1078.7	1033.1	936.9	83.8
	7	人	9	24(12:12)	C+H	21.9-22.4	4.16~5.10	105.1	96.3	93.8	81.8	77.8
1991	1	人	6	21(6:15)	C+H	21.7-22.3	1.13~1.18	21.3	16.8	12.5	6.7	31.3
	2	天	13	16(9:7)	C	19.7-22.1	3.8~3.14	1212.6	1130.1	1016.0	938.8	77.4
	3	天	13	17(6:11)	C	19.8-22.2	3.8~5.8	1392.7	1223.8	1101.8	994.0	71.4
	4	人,天	10,7	25(13:12)	C+H	19.2-22.2	3.7~4.17	61.8	47.9	38.6	27.2	44.1
	5	人	10	18(8:10)	C+H	21.8-22.1	4.1~4.13	25.6	17.3	16.1	11.0	42.9
1992	1	人,天	11,8	21(7:14)	I	21.9-22.2	1.9~3.3	103.3	84.0	65.3	58.0	56.2
	2	天	14	9(6:3)	I	20.1-22.3	1.16~4.23	1124.7	1043.8	911.8	852.0	75.8
	3	天	14	14(6:8)	I	19.8-22.0	1.25~4.19	1036.3	923.8	780.7	716.5	69.1
	4	人	11	13(6:7)	I	21.8-22.1	1.28~4.11	23.5	13.7	9.5	5.7	24.1
	5	人,天	7,8	12(7:5)	I	21.7-22.0	2.20~4.10	39.4	23.1	16.4	11.6	29.3
1993	1	人	12	13(6:7)	I	21.8-22.1	1.16~2.8	54.0	46.2	42.7	39.2	72.6
	2	人,天	8,9	16(10:6)	I	21.6-22.0	1.31~4.12	333.4	306.8	284.7	269.5	80.8
	3	天	15	12(6:6)	I	20.1-22.2	1.31~4.5	765.0	728.5	684.5	664.8	86.9
	4	天	15	12(6:6)	I	19.8-22.0	2.27~5.17	1068.7	992.0	930.7	854.7	80.0

*1 天:天然養成親魚, 人:人工養成親魚.

*2 F:雌, M:雄.

*3 表2-1の脚注1を参照.

*4 ふ化率(%) = [ふ化仔魚数] ÷ [総採卵数] × 100.

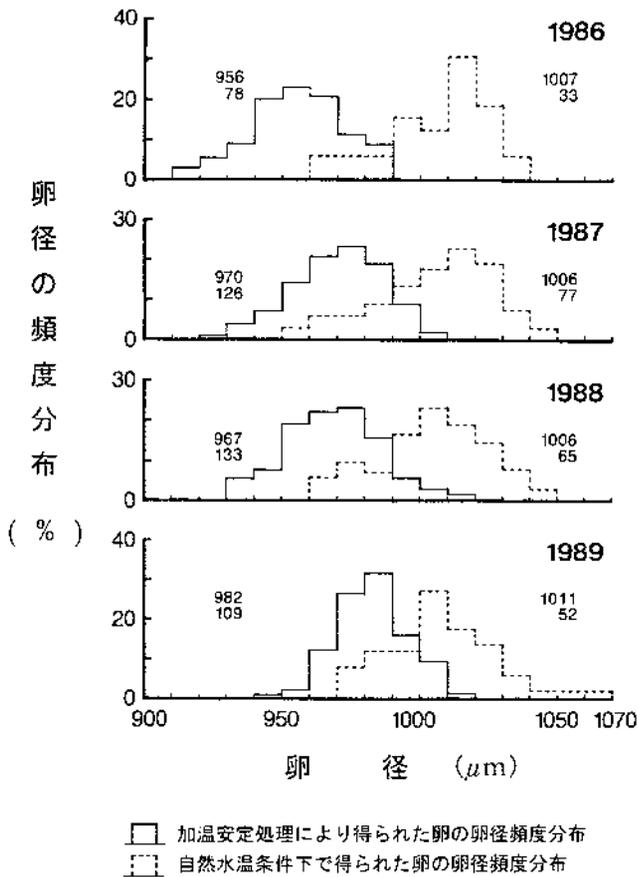


図2-6. 異なる産卵誘発方法で得られたシマアジの卵径頻度分布
 図中の各数字は平均卵径（上段）と測定卵数（下段）を示す。

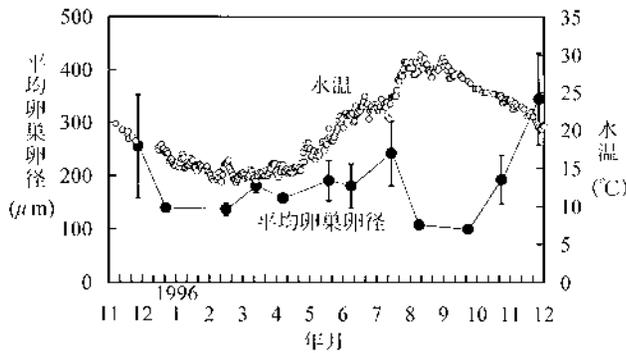


図2-7. 五島栽培センターで養成された人工養成親魚(7~8歳魚)の平均卵巣卵径の経時的変化

松浦, 1984) などが良く知られている。これらの魚種は多回産卵型魚種であり、一般に産卵期は長く、その間に未発達な卵母細胞から卵黄形成期への補充が起ると報告されている(高野, 1989)。シマアジの場合にも全く同様の可能性が示唆され、村井ら(1985b)の組織学的検査結果は、本種が多回産卵型の魚種であることを裏付けている。したがって、上述したような無処理と加温・ホルモン併用処理とによる卵径の違いは次のように推察された。すなわち、加温・ホルモン併用処理の場合には飼育環境水温が常に産卵適水温である22℃に保たれる

ことにより、体内の成熟ホルモン等による排卵作用が促進されるため卵巣内での未成熟卵もホルモン処理により排卵される可能性が高くなり、結果的に小型の卵径を有する卵も産卵されるのに対して、無処理の場合には自然水温の変動に合わせて親魚の体内リズムが変化し、産卵至適条件に達するまでに十分な卵黄蓄積等がなされた後に完熟卵を排卵するため、産出卵の卵径が現象的に大きいのではないかと考えられた。

五島栽培センターにおいて、成熟年齢に達した人工養成親魚(7歳魚)について、約1年間にわたって雌親魚の成熟状況をカニューレで調査した結果、11月~12月と7月~8月の年に2回平均卵巣卵径が増大する傾向がみられた(図2-7)。しかし、いずれの時期でも最終成熟個体の出現は認められなかった。水温の推移をみると18~24℃の範囲で成熟する傾向がみられ、この水温範囲外では成熟しないか、または、卵巣卵の退化変性が起こっているものと推察された。五島栽培センターの冬期の最低水温は13℃まで下がることもあり、順調な成熟が遅滞し、最終成熟までに到達できない可能性も示唆された。

2-1-3-2 陸上水槽への収容と採卵時期

古満目栽培センターでは、海面小割で養成した親魚が産卵誘発無処理の条件下でも4月初旬から採卵できる親魚養成技術が開発された(虫明, 1996)。これらの親魚では、2月上旬には既に第3次卵黄球期に相当する卵巣卵径600 μm以上の第2次卵黄球期以降の卵を有する個体が発見するため、採卵時期を早めるためにはこの時期に陸上水槽に収容し、「3-3-2 水温の制御処理」の項で後述するように加温処理や場合によってはホルモン処理を行うことにより、十分な数の採卵を行うことができる。

五島栽培センターにおいては、「2-1-3-1 成熟時期」の項で前述したように11月から12月にかけて卵巣卵径500 μm以上の卵を有する個体が発見する。このような海域特性を有する環境で養成された親魚では、10月から11月あるいは遅くとも12月中旬までに陸上水槽に収容し、後述する長日処理と加温処理を併用することにより成熟を促進させる必要があるものと考えられる。

2-2 養成手法

本項では、天然養成親魚あるいは人工養成親魚を養成する施設、親魚の取り扱いおよび収容密度について、これまでに得られた知見について述べる。

2-2-1 養成施設

一般に親魚養成を行う施設には、大きく分けて海面小割と陸上水槽の2種類に分けられる。本項では、これまでシマアジの親魚養成に用いてきた施設の形状と大き

さ（表2-3）について経験的に得られた知見や実施してきた事例を中心に述べる。なお、これらの養成施設に関する長所と短所を表2-4に示した。

2-2-1-1 海面小割

形状 遊泳力の強いブリの親魚養成では、群れとしての遊泳に適した円形（直径10m）あるいは六角形（一辺5 m）の海面小割が使用されている（日本栽培漁業協会，1999b）。しかし、シマアジの場合には、ブリよりも平穏時の遊泳速度は遅く、また、定期的な網替えやウイルス性疾病対策上の親魚選別のハンドリング操作等の作業面から、長方形の形状をした海面小割（写真2-1）を用いた事例がほとんどである。

大きさ 古満目および五島栽培センターともに、他魚種の親魚養成でも汎用可能な5×10mの海面小割が主に使用されている。

材質 現在使用されている海面小割の材質は、ほとんどが亜鉛溶融メッキした鋼管製である。鋼管製の海面小割は、長年使用すると波浪や塩害により断裂や腐食の危険性がある。海面小割の耐用年数は、設置される海域の波浪条件や日頃の保守点検頻度により異なるが、両センタ

ーでは平均的に5～7年程度である。古満目栽培センターのように台風時には波高が10mに達するような海域では、海面小割が老朽化した場合には、波浪による海面小割の亀裂や断裂などの突発的な被害への対応には特に十分な配慮が必要である。

近年、古満目栽培センターで導入した海面小割は、亜鉛溶融メッキした鋼管表面へFRPを吹きつけ、特に台風時の波浪あるいは強風等による塩害による腐食に対処している。FRPだけで製作された海面小割もあるが、鋼管製の海面小割よりも耐久性には優れているが、うねりなどの波浪の影響を受けて大きく揺れるため、作業がしづらい等の欠点がある。

小割網 海面小割に設置する小割網は、ポリエチレン製の材質の網が多く使用されており、大きさは収容する親魚のサイズや尾数により5×5×深さ5mあるいは5×10×深さ5mが主体である。また、一部では金網（5×5×5m）（写真2-2）が使用されている事例もある。ポリエチレン製の小割網は、親魚の取り揚げ等の作業性に優れているが、その反面、網地への付着生物や寄生虫の卵の付着防止のため定期的な網替えが必要であ

表2-3. シマアジの親魚養成で使用されている海面小割および陸上水槽

名称	形状	大きさ	材質	備考
海面小割	長方形	5 m×10 m ^{*1}	鋼管 ^{*2}	写真2-1
小割網	立方体	5 m×5 m×深さ5 m	ポリエチレン	写真2-2
	立方体	5 m×5 m×深さ5 m	金網	
	直方体	5 m×10 m×深さ5 m	ポリエチレン	
陸上水槽	四角形	8 m×8 m×深さ2 m（実容量120 kl）	コンクリート	写真2-3
	四角形	7 m×7 m×深さ2 m（実容量90 kl）	コンクリート	
	八角形	6 m×6 m×深さ2 m（実容量65 kl）	コンクリート	写真2-4

*1 小割網の設置に有効な大きさを示し、作業スペースを含まない。

*2 亜鉛溶融メッキ製。

表2-4. シマアジの親魚養成施設の長所と短所

名称	形状	長所	短所
海面小割	長方形	<ul style="list-style-type: none"> 親魚の取り揚げが比較的容易 収容尾数が多い 	<ul style="list-style-type: none"> 死角ができる 小割網の交換に労力を要す 波浪等による被害を受けやすい 病原体が水平感染する可能性が高い
陸上水槽	四角形	<ul style="list-style-type: none"> 有効容積が大きい 環境制御が可能 疾病対策に有効 	<ul style="list-style-type: none"> 親魚の遊泳に適さない 死角ができる 卵の回収効率が悪い 機械のトラブルにより死亡する可能性が高い
	八角形	<ul style="list-style-type: none"> 水流が作りやすい 卵の回収効率が良い 環境制御が可能 疾病対策に有効 	<ul style="list-style-type: none"> 同じ土地面積に対し、有効な容積が少ない 機械のトラブルにより死亡する可能性が高い

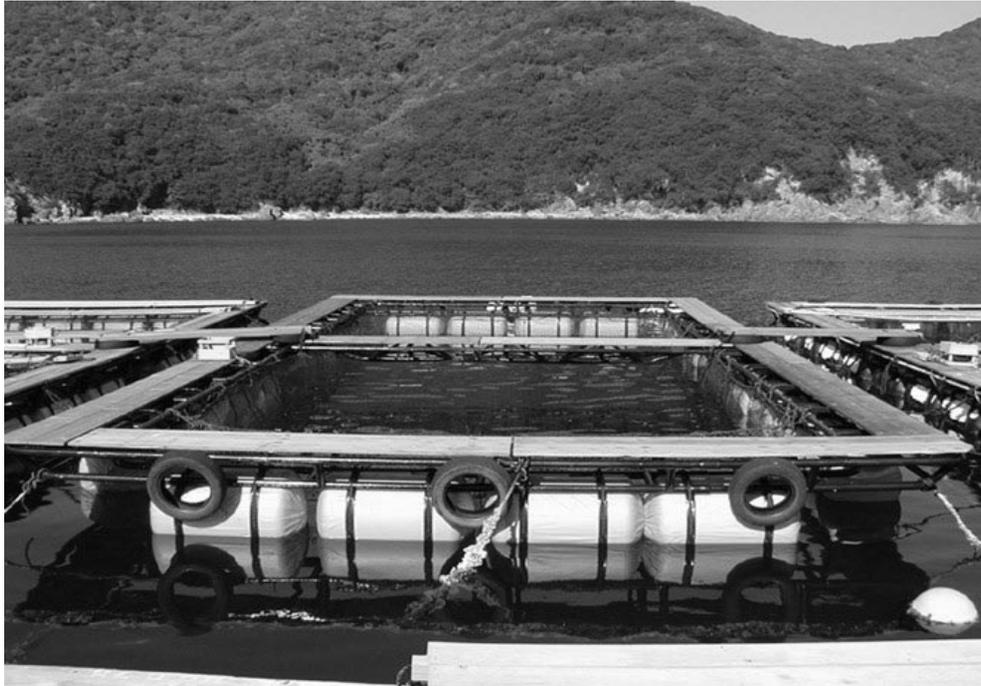


写真2-1. シマアジの親魚養成に使用されている海面小割
(5m × 10m, 古満目栽培センター)



写真2-2. シマアジの親魚養成に使用されている金網小割生簀
(5m × 5m, 古満目栽培センター)

ることや波浪や潮流による網地の吹き寄せが生じる場合もある。網の吹き寄せが生じると、親魚は狭い容積に閉じ込められてしまうため、肌が擦れ病原微生物が浸入する可能性も高くなる。このため、網替えに要する労力の軽減策と吹き寄せの防止策もかねて金網生簀を導入して養殖業者もある。金網生簀の利点は、金網から溶出する亜鉛の影響により寄生虫の卵や環境生物の付着を軽減させ、定期的な網替えが不要であることが挙げられる。しかし、金網生簀自体が高価（通常ポリエチレン製小割網の3倍の価格）であること、最低年に1回は付着生物

の除去するためのダイバーによる清掃作業を行う必要があること、親魚の取り揚げの際には掬い網に追い込むことによる過度の負荷をかけること、およびその取り揚げ作業に多大な労力を要することなどが欠点とされる。最近では、ポリエチレン製網地への付着生物や寄生虫の卵の付着防止策として、無機銅系の網染め剤が使用されている事例もあるが、これらの網染め剤が親魚の成熟や産卵、ひいては卵質に及ぼす影響についての検討が必要である。

2-2-1-2 陸上水槽

規模 陸上水槽は、海面小割で養成された親魚を用いた産卵試験や、「3-3-3 長日処理」で後述するように採卵時期を早期化するために長日処理で親魚の成熟促進を図るために、約2～3カ月間の長期にわたって親魚を養成する試験に使用されている。古満目および五島栽培センターで使用されている陸上水槽は、65～120kℓ容量

のコンクリート製水槽が主体である（表2-3）。水槽の深さは2.0～2.5mで、シマアジの場合にはこの水深を保つことで親魚群の摂餌行動や産卵行動等には悪影響はないと考えられる。

形状 現在使用されている陸上水槽の形状は、四角形（写真2-3）および八角形（写真2-4）が一般的である。これらの水槽の長所と短所を表2-4に示した。四角形



写真2-3. シマアジ親魚の産卵水槽
（四角形、実容量120kℓ、古満目栽培センター）



写真2-4. シマアジ親魚の産卵水槽
（八角形、実容量65kℓ、古満目栽培センター）

は、親魚群が遊泳するための有効容積を大きく取ることができ、施設の面積を有効に活用できる反面、水槽内に水流の死角ができ、残餌や排泄物の滞留、あるいは卵の回収効率が悪いことなどが欠点として挙げられる。一方、八角形では親魚群の遊泳に適した水流が作りやすく、飼育水の循環効率が良いため、卵の回収効率も高い。しかし、四角形的水槽と比較して、同じ敷地面積に対して有効面積が少ない点が欠点として挙げられる。

2-2-2 親魚の取り扱い

シマアジは非常に皮膚が糜爛しやすく、親魚を取り扱う際のハンドリングには細心の注意を必要とする。古満目および五島栽培センターでは、親魚を取り扱う時には、タモ網の最深部に直径約1cmの水抜き用の穴を約10箇所開けた厚手のビニールシート（直径約40cm）を取り付け、親魚が多少暴れても体表面への物理的外傷が低減されるように工夫した。また、海面小割と陸上水槽間の移動、魚体測定や成熟調査時などの長時間を要する作業では、2-フェノキシエタノール（250mg/l）で約3～5分間麻酔した上で取り扱った。さらに、魚体測定や成熟調査の際には、親魚を黒色のビニールシートで包んで落ち着かせて、スポンジマットの上で作業を行った。親魚に触れる場合は、外科手術用の使い捨て手袋を着用した。これら以外にも、夏期の高水温時には水中の溶存酸素が低下することや親魚の酸素消費量が増加するために、親魚のハンドリング自体が危険となることが経験的に知られているため、夏期には可能な限り親魚を取り扱うことは避けた。また、親魚に直接触れる場合には、夏期は氷で水温を27℃前後に調整した海水で親魚を取り扱う直前まで作業する人の手を冷やし、冬期は自然海水と同程度の温度となるように海水で手を温めた。これは、変温動物である親魚の体温（＝海水温）と作業する人間の手の温度（約37℃）との差を極力小さくすることで、親魚の皮膚が糜爛することを避けるためである。このように、シマアジ親魚の取り扱いには、十分な配慮が必要であるとともに、作業者自身の熟練が必要である。

2-2-3 収容密度

1996～2000年の古満目および五島栽培センターの海面小割および陸上水槽におけるシマアジ親魚の収容密度は、それぞれ0.76～1.43kg/kℓおよび0.63～1.21kg/kℓであった（表2-5）。両栽培センターとも1歳魚以降の養成は5×5×5mの海面小割で行い、収容密度が2kg/kℓを超えないように尾数調整を行った。産卵試験等を実施した陸上水槽には、海面小割で養成した親魚群をそのまま収容するようにしたが、後述（「6 疾病対策」）するウイルス性疾病対策上、親魚の選別を行った際には必ずしも実施できない事例もあった。これら親魚の収容密度と産卵数との関係については、具体的な比較試験を設定して実施していないので不明であるが、0.63～1.21 kg/kℓの範囲であれば、産卵行動や産卵数等に悪影響はなかった。

一般に、宿主（魚類）が外部から強い刺激を受けることにより血液中のコルチゾール、コルチゾンあるいはカテコールアミンなどのステロイド系ホルモン濃度の上昇が認められ、これがストレスの一次反応と定義されている（Mazeaud *et al.*, 1977）。これに引き続く二次反応として、液性および細胞性免疫能の低下などの免疫抑制現象が生じる。その結果、ストレスの三次反応として宿主の病原微生物に対する感受性が高くなる、すなわち、病原微生物に対する抵抗力が低下するため、感染症を誘発しやすいと考えられている（Mazeaud *et al.*, 1977）。虫明（2000）は、陸上水槽における親魚の収容密度とストレスとの関係について、高密度収容が親魚にストレス状態をもたらすことを報告している。すなわち、高密度収容（1.76kg/kℓ）では低密度収容（0.59kg/kℓ）の場合よりも、ストレスの指標となる一次反応としての血液中コルチゾールと二次反応としてのグルコースの有意な上昇により、親魚がストレス状態にあることが報告されている（図2-8）。陸上水槽での親魚の高密度収容が産卵に悪影響を及ぼすことはほとんどないと考えられるが、ウイルス性疾病対策（「6 疾病対策」の項で詳述）を講じる飼育管理上からは極めて重要な意味を持つことが知られている（虫明, 2000；虫明・有元, 2000）。

表2-5. 古満目および五島栽培センターにおけるシマアジ親魚の養成密度

年度	古満目栽培センター		五島栽培センター	
	海面小割 (kg/kℓ)	陸上水槽 (kg/kℓ)	海面小割 (kg/kℓ)	陸上水槽 (kg/kℓ)
1996	0.79 (0.53～1.04)	0.94 (0.66～1.42)	0.94 (0.63～1.50)	0.63 (0.56～0.74)
1997	0.86 (0.43～0.91)	1.03 (0.49～2.13)	0.90 (0.48～1.50)	0.70 (0.61～0.79)
1998	0.81 (0.47～1.10)	1.21 (0.49～2.32)	1.43 (0.68～1.86)	0.74 (0.67～0.84)
1999	0.82 (0.57～1.11)	0.66 (0.52～1.09)	0.76 (0.15～1.07)	1.07 (0.82～1.31)
2000	0.78 (0.51～1.08)	0.85 (0.69～1.28)	*	—

* 養成試験を実施しなかった。

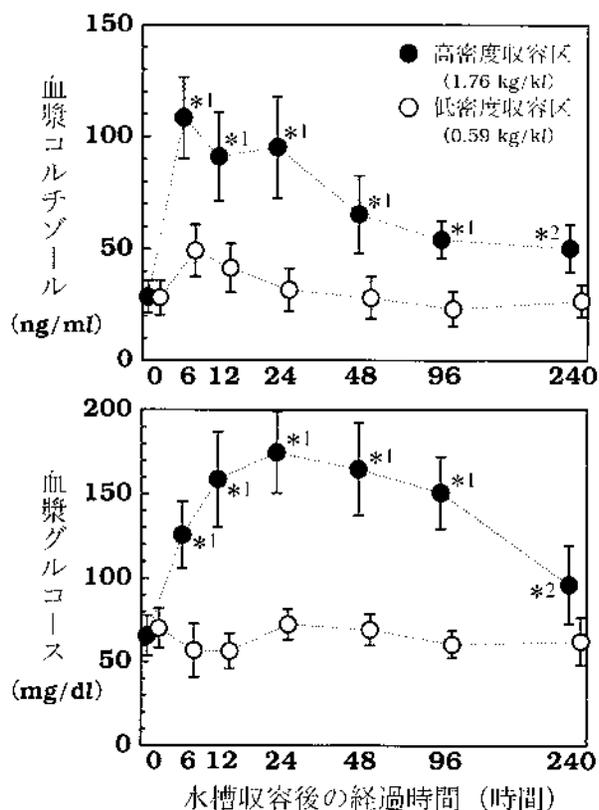


図2-8. シマアジ親魚の生理学的影響に及ぼす水槽収容密度の影響
 *1 低密度収容区 (0.59kg/kL, 対照区) に比較して有意差あり ($p < 0.01$)
 *2 低密度収容区 (対照区) と比較して有意差あり ($p < 0.05$)

2-3 養成飼餌料

すべての栽培漁業対象魚種において、親魚用の適正な飼餌料の開発は最も重要な課題の一つである。本来なら、対象魚種ごとに適正な飼餌料の開発なしに優良な産

卵親魚の養成は期待できない。栽培対象種の中では、ブリが最も技術開発が進んでおり、適正な生餌の把握、成熟および産卵に有効なモイストペレットや配合飼料など様々な形態の餌に関する技術開発がなされてきた (虫明ら, 1993 c; 虫明ら, 1995; 日本栽培漁業協会, 1999 b)。本項では、ブリでの親魚養成用飼餌料に関する技術開発成果を応用する形で実施されてきたシマアジでの技術開発結果について述べる。なお、親魚養成における飼餌料の長所と短所を表2-6に示した。

2-3-1 混合生餌とモイストペレットの給餌

古満目および五島栽培センターにおけるシマアジの親魚養成は、親魚の成熟過程に合わせて養成期 (6月~10月)、成熟期 (11月~翌年1月) および産卵期 (2月~5月) の3段階に分けた。養成期および成熟期における親魚養成は、海面小割に設置したポリエチレン製の生簀網 (5×5×5 m; 無結節網) を用いて行い、産卵期は陸上水槽 (実容量65または90kL; いずれもコンクリート製で八角形または四角形) で行った。古満目および五島栽培センターではシマアジ親魚養成の給餌メニューが若干異なるため、各栽培センターでの給餌方法等について以下に述べる。

2-3-1-1 古満目栽培センターにおける給餌

古満目栽培センターにおけるシマアジ親魚養成の概要を図2-9に示した。養成期の親魚にはハマチ用配合飼料 (丸紅飼料) と魚介肉ミンチ (マアジ:イカ:エビ=2:1:1) とを等量混合して造粒したモイストペレット (長さ30mm×直径1mm) を毎回魚体重の3.0%給餌した。モイストペレット1kgに対してNJフィードA (新日本飼料:外割5.0%) を添加した。NJフィードAは、ビタミンB₁, CおよびEをそれぞれ2.0%, 8.0%および2.0%含む。次いで成熟期には、マアジ, スルメイ

表2-6. 親魚養成における各種飼餌料の長所と短所

種類	長 所	短 所
生 餌	<ul style="list-style-type: none"> 嗜好性が高い 餌付きが良い 	<ul style="list-style-type: none"> 入手量が漁獲量に左右される 漁獲時期により餌の品質が不安定 変質しやすい 飛散による餌料のロスが多い 残餌による漁場環境汚染 病原微生物侵入の懸念
モイストペレット	<ul style="list-style-type: none"> 組成の改変が自由 各種栄養物質の添加が容易 各種薬剤の添加が容易 	<ul style="list-style-type: none"> 餌の品質がやや不安定 脱餌作業が煩雑
配合飼料	<ul style="list-style-type: none"> 長期品質が安定 環境汚染の可能性が低い 脱餌作業に労力を要しない 病原微生物侵入の可能性が低い 	<ul style="list-style-type: none"> 餌付きが悪い 各種薬剤等の添加が比較的困難

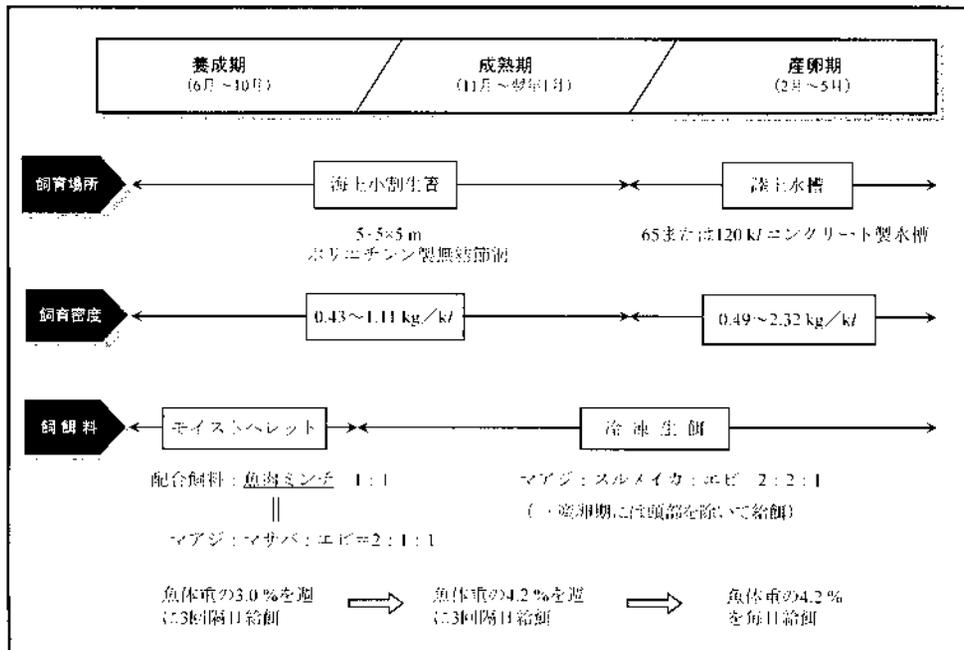


図2-9. 古満目栽培センターにおけるシマアジ親魚養成の概要

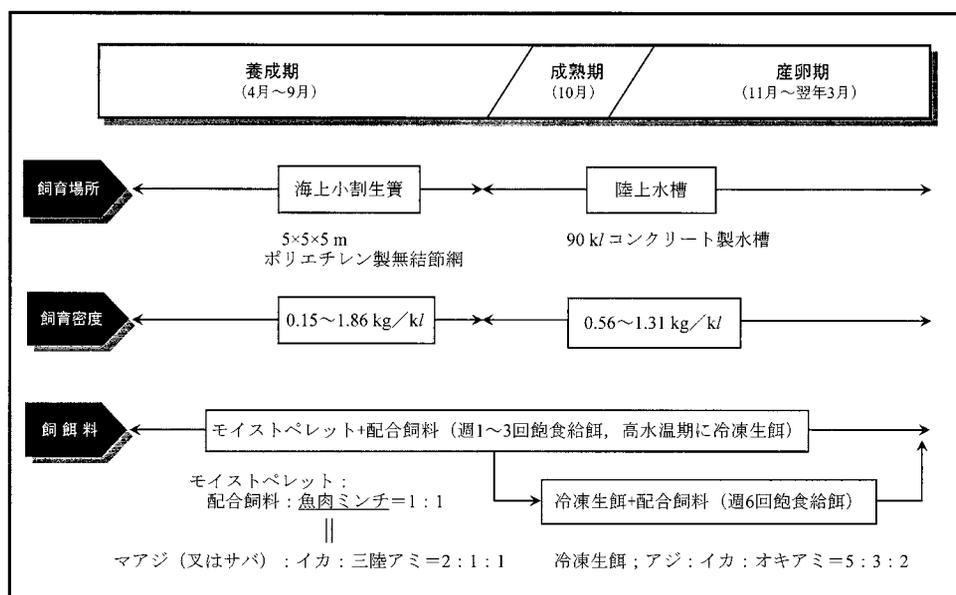


図2-10. 五島栽培センターにおけるシマアジ親魚養成の概要

カおよびエビをそれぞれ2：2：1の割合で混合した生餌に切り替えて給餌した(給餌率4.2%/魚体重/回)。成熟期に給餌した混合生餌には毎回NJフィードA(外割3.0%)のほか、フィードオイル(理研ビタミン：外割1.5%)およびビタミンEを強化したEフィードオイル(理研ビタミン：外割3.0%)を添加した。なお、養成期および成熟期における給餌はいずれの年も隔日給餌(3回/週)を原則とした。

産卵期には成熟期と同じ組成の混合生餌にNJフィードA(外割3.0%)、Eフィードオイル(外割3.0%)およびイカ肝油(理研ビタミン：外割3.0%)を添加して

与えた。産卵期における給餌は、1987年は最終成熟期における親魚の腹部への脂肪蓄積を抑えることと陸上水槽内の残餌処理作業の軽減化を目的として隔日給餌としたが、1988年以降は産卵期間中の親魚の体力消耗を考慮して毎日給餌(給餌率4.2%/魚体重/回)した。

2-3-1-2 五島栽培センターにおける給餌

五島栽培センターにおけるシマアジ親魚養成の概要を図2-10に示した。海面小割での養成では1歳魚未満と1歳魚以降で給餌方法を変えた。すなわち、1歳魚未満の育成では配合飼料を主体に給餌した。給餌回数は成長に応じて1日2回から2日に1回に調整し、1日

当りの給餌量は飽食量を与えた。1歳魚以降は週に3回給餌し、2回はモイストペレットを、1回は配合飼料をいずれも飽食量与えた。ただし、水温が25℃を越える7月下旬から9月上旬までの高水温期には、配合飼料に代えて冷凍生餌（マアジあるいはマサバ）を給餌した。また、12月から翌年3月までは、海面の施設が季節風の影響による時化となりやすいため、週に1～2回しか給餌できないことが多かった。一方、産卵試験を行うために成熟期後半に陸上水槽に収容した親魚には、主に冷凍生餌（アジ：イカ：オキアミ＝5：3：2）を給餌し、総合ビタミン剤（ハマチエードS A；タケダ製薬）1%とフィードオイル（フィードオイルS；理研ビタミン）4%をそれぞれ外割で添加したものを毎日あるいは隔日に飽食量給餌した。なお、採卵した卵を種苗生産に供する予定がある場合は、残餌等のゴミを卵の回収用水槽に入れられないために無給餌とした事例もあった。

2-3-1-3 まとめ

これまで行ってきたシマアジの産卵試験の結果から判断すると、親魚の成熟過程に合わせて養成時期を設定し、その時期ごとにモイストペレットと生餌とを給餌し分ける混合型の給餌が、本種の親魚養成ならびに安定した大量採卵を行うための有効な方法と考えられた。シマアジが養殖魚種として注目され始めた頃の親魚養成には、年間を通してマサバあるいはマイワシだけの単一生餌、あるいはモイストペレットにおいてもマイワシのミンチを主としたタイプの餌が多く用いられていた。しかし、生餌を長期間にわたって単独給餌することは、ビタミンB₁欠乏を引き起こし、時には大量の死亡を招くことがブリでは報告されている（石原ら、1974a, 1974b）。また、ブリではビタミンC欠乏により高い死亡率を示すことや酸化したオイルを餌料に添加することによる栄養性疾患の発生も報告されている（坂口ら、1969；坂口・浜口、1969）。シマアジ親魚では、脂質含量の高い生餌を長期間継続して給餌すると、腹部への脂肪蓄積が著しく、生殖腺の正常な発達を阻害するため、大量の産卵には結びつかないことが推定される。このほかにも生餌給餌による親魚養成には、資源量の変動に伴

い生餌餌料そのものが漁獲量に左右されやすいこと、購入する生餌のロットにより品質が不安定であること、および栄養的バランスに偏りがあることなどが考えられる（表2-6参照）。一方、混合生餌あるいはモイストペレットが有利な点は、比較的各種栄養素のバランスが保たれること、成熟および産卵に有効な各種成分の組成が自由に改変できること、餌に添加した各種有効成分が生餌に比較して海水中で溶出しにくく確実に魚体内に取り込まれることにある。これまで述べたように、親魚の産卵期に高度不飽和脂肪酸等の強化を目的として各種オイルを外割で3.0%添加したが、この量的割合が適正であったかどうかについても、今後さらに検討を要する。なお、シマアジの親魚用飼餌料の単価は、混合生餌が約121円/kg、モイストペレットは295円/kgと算出された（表2-7）。

表2-7. シマアジ親魚養成における各種飼餌料のキログラム単価

種類	単価* (円/kg)	
生 餌	ア ジ	62
	イ カ	115
	エ ビ	246
	混合生餌	121
モイストペレット	モイストペレット	295
配合飼料	配合飼料	162～235

* 生餌の単価は、古満目栽培センターにおいて平成10年から5年間の購入金額の平均値を算出した。また、配合飼料は製造メーカーにより単価が異なるため、市販配合飼料の単価の範囲を示した。

2-3-2 配合飼料の給餌

ブリでは育成用飼料の配合飼料（ドライペレット、市販単価162円/kg）が開発され、成長等に有効であると報告されている（Watanabe *et al.*, 1991b；Viyakarn *et al.*, 1992；虫明ら、1995）。配合飼料は、生餌やモイストペレットに比べて漁場環境汚染の可能性が低いこと、品質が安定していること、各種栄養素の添加が容易なこ

表2-8. 古満目栽培センターで使用した親魚用飼餌料の略号

略号	飼餌料の内容と組成
RF	混合生餌（アジ：イカ：エビ＝2：2：1）
SDP	市販のハマチ用ソフトドライペレット
SP	市販のマダイ用スチームペレット
a-SP	アスタキサンチンを10 ppm添加したSP
fs-SP	フィッシュミールとイカミールが等量混合されたSP
fsk-SP	フィッシュミール、イカミールおよびオキアミミールが等量混合されたSP
afs-SP	fs-SPにアスタキサンチンを10 ppm添加したSP

と、餌由来の病原微生物感染の可能性がきわめて低いことおよび調餌作業の軽減化等の多くの利点を有する（表2-6参照）。これらのことを考慮すると、シマアジにおいても今後配合飼料の給餌による親魚養成の可能性について検討する必要があると考えられる。さらに、n3系高度不飽和脂肪酸が欠乏した産卵親魚から得られた仔魚では、疾病に対する感受性増大の可能性も懸念される。本項では、配合飼料の利点を生かした上で、さらに上述した混合生餌やモイストペレットを給餌した親魚群の産卵成績に匹敵するような配合飼料による親魚養成技術の開発を目的として、古満目栽培センターが東京水産大学（現東京海洋大学）との共同研究で得られた知見を以下に述べる。なお、共同研究では、成熟・産卵に有効と考えられるいくつかの物質を添加・強化した配合飼料を用いて試験を行った。表2-8に試験に用いた配合飼料の略号を示した。各試験の対照区には混合生餌（RF；表2-8参照）を使用した。

まず、配合飼料の給餌により、産卵親魚の養成の可能性を調べるため、産卵時期の4ヶ月前から同一親魚群を2群（RF区とSDP区）に分けて、RF区ではアジ、イカおよびエビを2:2:1の割合で、また、SDP区では市販のハマチ用配合飼料（ソフトドライペレット；坂本飼料）を給餌して産卵成績を比較した。その結果、産卵

期間を通しての総採卵数はRF区がSDP区の約2倍多い結果となった（表2-9）（Watanabe *et al.*, 1998）。また、産卵期間中の雌親魚1尾当りの受精卵数を1週間単位で経時的にみると、RF区では量的な変動は認められるものの産卵開始8週間後までは比較的多くの産卵数が認められたが、SDP区では受精卵が得られたのは産卵開始6週間後までであり、量的にも少なかった（図2-11）。これらの結果から、親魚1尾当りの産卵数（図2-11）や卵質（表2-9）向上のための品質改良の必要性は残されるが、市販のSDP給餌により採卵を目的としたシマアジの親魚養成が可能であることが明らかとなった。

次に、市販のハマチ用配合飼料（SDP；同上）と市販のマダイ用配合飼料（SP；スチームドライペレット）による産卵成績を比較した（表2-10）。その結果、産卵数、受精率およびふ化率ともにSP区が上回った（表2-11）。脂肪含量の高いSDPはシマアジの腹腔内に脂肪の過剰蓄積をおこすことが観察され、これが間接的に生殖腺の成熟および産卵に悪影響を及ぼすことが推測された。マダイ（Watanabe *et al.*, 1985, 1991a）やブリ（Verakunpiriya *et al.*, 1997a, 1997b）では、産卵や卵質に対してアスタキサンチンの添加が有効であることが認められている。このことから、SPへのアスタキサ

表2-9. RFあるいはSDPを給餌したシマアジ親魚からの採卵結果

	RF	SDP
供試親魚 (♂:♀)	7:4	7:5
産卵日数	37	27
産卵期間 (日)	66	40
総採卵数 (万粒) *1	21.3	11.4
淨上卵率 (%)	83.2	71.0
受精卵数 (万粒) *1	14.1	6.3
受精率		
対 総採卵数 (%)	66.2	55.6
対 淨上卵数 (%)	79.6	78.2
平均卵径 (μm)	970±23*2	968±21
平均油球径 (μm)	256±8	256±8
ふ化仔魚数 (万尾)	13.2	5.4
正常ふ化仔魚数 (万尾)	12.9	5.2
ふ化率		
対 総採卵数 (%)	60.3	45.9

*1 雌親魚1尾の1日当りの採卵数。

*2 平均値±標準偏差。N=25

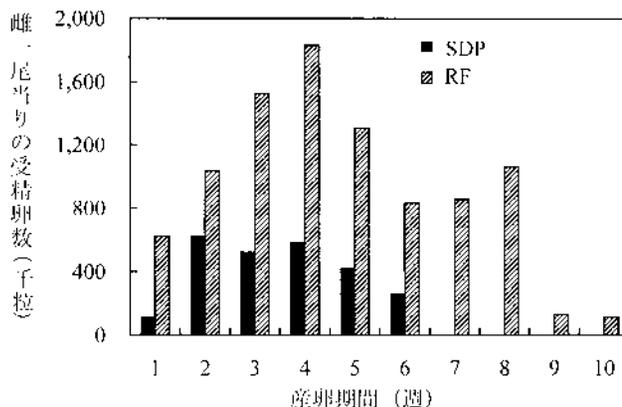


図2-11. RFとSDPを給餌したシマアジ雌親魚1尾当りの週ごとの受精卵数の変化

表2-10. 市販配合飼料による産卵比較試験の概要

給餌した配合飼料*	粗脂肪成分含量	供 試 親 魚				給餌期間
		由来	年齢	尾 数 (雄:雌)	平均体重 (kg)	
SDP	24% ≤	天然	7	10:12	3.6	1998年2月4日～4月27日
SP	12% ≤	天然	7	10:12	3.6	1998年2月4日～4月27日

* 給餌した配合飼料は、表2-8を参照。

表2-11. 異なる市販配合飼料を給餌したシマアジ親魚群からの採卵結果

給餌した配合飼料*	採卵期間	雌親魚1尾当たりの		受精率 (%)	ふ化率 (%)	SAI
		採卵数 (千粒)	受精卵数 (千粒)			
SDP	1998年5月1日～5月11日	312	91	29.0	21.9	3.3
SP	1998年5月1日～5月11日	695	453	65.2	56.2	8.9

* 給餌した配合飼料は、表2-8を参照。

表2-12. シマアジ親魚飼料へのアスタキサンチンの添加効果把握試験の概要

給餌した飼餌料*	試験飼餌料の給餌期間	供試親魚				
		由来	年齢	尾数 (雄:雌)	平均体重 (kg)	肥満度
RF	1998年10月14日～	天然	8	5:5	3.4	22.9
SP	1999年3月5日	天然	8	5:5	3.4	23.0
a-SP	(週3回飽食量)	天然	8	5:5	3.5	22.7

* 給餌した飼餌料は、表2-8を参照。

表2-13. 配合飼料へのアスタキサンチン添加効果把握試験における採卵結果

給餌した飼餌料 ¹⁾	採卵期間	総採卵数 (千粒)	浮上卵率 ²⁾ (%)	受精率 ²⁾ (%)	正常ふ化率 ²⁾ (%)	雌親魚1尾当たりの		
						産卵数 (千粒)	受精卵数 (千粒)	ふ化仔魚数 (千尾)
RF	1999年3月10日～4月11日	18,270	84.5	75.6	63.5	3,654	2,762	2,322
SP		5,095	85.6	75.7	63.5	1,019	771	647
a-SP		16,655	78.8	64.5	55.3	3,331	2,149	1,842

*1 給餌した飼餌料は、表2-8を参照。

*2 浮上卵率、受精率および正常ふ化率は、いずれも総採卵数に対する割合を示す。

表2-14. タンパク組成の異なる配合飼料の比較試験の概要

給餌した飼餌料*	試験飼餌料の給餌期間	供試親魚				
		由来	年齢	尾数 (雄:雌)	平均体重 (kg)	肥満度
RF	1998年11月11日～	天然	8	5:5	3.4	23.2
fs-SP	1999年4月19日	天然	8	5:5	3.6	23.6
fsk-SP	(週3回飽食量)	天然	8	5:5	3.6	24.4

* 給餌した飼餌料は、表2-8を参照。

ンチン添加効果について試験を行った。供試魚を3試験区(各区とも雄:雌=5:5)に分け、対照区にはRFを、試験区には10ppmのアスタキサンチンを添加した配合飼料(a-SP)と無添加配合飼料(SP)をそれぞれ産卵前の5ヵ月間給餌した(表2-12)。その結果、総産卵数はRF区とa-SP区で著しく高く、浮上卵率、受精率および正常ふ化率ではRF区とSP区が上回った(表2-13)。

さらに、卵質改善のため配合飼料のタンパク質組成に注目し、マダイ(Watanabe *et al.*, 1985, 1991a)で卵質改善に有効性が認められたイカミールおよびオキアミミールを添加して作製した配合飼料を用いて試験を

行った。供試魚を3試験区(各区とも雄:雌=5:5)に分け、対照区にはRFを、他の2試験区には、タンパク質としてフィッシュミールとイカミールを等量混合したfs-SPと、フィッシュミール、イカミールおよびオキアミミールをそれぞれ等量混合したfsk-SPをそれぞれ給餌した(表2-14)。その結果、RF区は他の2試験区に比べ産卵数が有意に高かったが、fs-SP区は受精率やふ化率などの卵質が最も優れていた。fsk-SP区は産卵数および卵質ともに劣っていた(表2-15)。フィッシュミールとイカミール併用の配合飼料は卵質の改善には有効であったが、産卵数の増加に対する効果は認められなかった。

表2-15. タンパク組成の異なる配合飼料の比較試験における採卵結果

給餌した飼料 ^{*1}	採卵期間	総採卵数 (千粒)	浮上卵率 ^{*2} (%)	受精率 ^{*2} (%)	正常ふ化率 ^{*2} (%)	雌親魚1尾当りの		
						産卵数 (千粒)	受精卵数 (千粒)	ふ化仔魚数 (千尾)
RF	1999年4月24日 ～5月26日	19,820	77.6	63.1	50.0	3,964	2,502	1,983
fs-SP		10,250	82.2	69.9	59.2	2,050	1,433	1,214
fsk-SP		6,105	73.5	60.9	49.1	1,221	743	600

*1 給餌した飼料は、表2-8を参照。

*2 浮上卵率、受精率および正常ふ化率は、いずれも総採卵数に対する割合を示す。

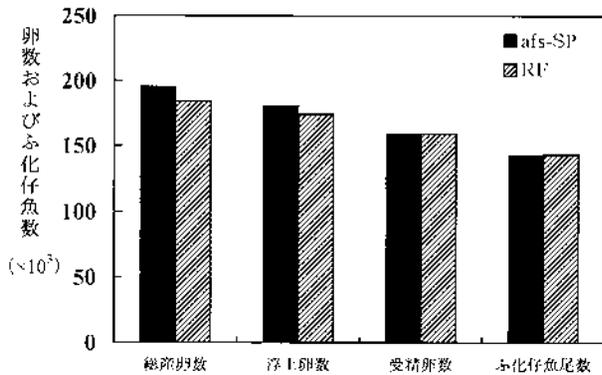


図2-12. RFとafs-SPをそれぞれ給餌したシマアジ親魚群における雌1尾当りの産卵結果の比較

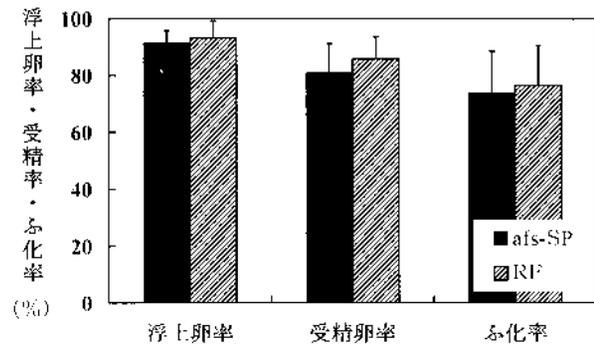


図2-13. RFとafs-SPをそれぞれ給餌したシマアジ親魚群から得られた卵質の比較

これらの結果に基づき、産卵数の改善に有効であったアスタキサンチンを10ppm添加し、イカミールとフィッシュミールをタンパク質源として等量混合して添加したafs-SPを作製し、従来の試験で産卵成績が最も良好であったRFを給餌した親魚群との比較試験を行った。その結果、afs-SP区では、総産卵数および卵質（浮上卵率、受精率およびふ化率）ともにRFとほぼ同じ産卵成績であった（図2-12および2-13）。このことから、配合飼料にアスタキサンチンおよびイカミールを併用して添加することが、シマアジ親魚の産卵成績および卵質の向上に有効であることが明らかになった。

これまでの試験の結果、生餌養成の場合と比較しても遜色のない採卵成績が得られるようなシマアジ親魚用の配合飼料が開発できた。その後の研究により、カロテノイド系色素であるゼアキサンチンを配合飼料に添加するため、スピルリナを2%（＝ゼアキサンチン濃度として7ppmに相当）添加した配合飼料を給餌することによっても、シマアジ親魚の産卵が確認できたことが報告されている（Vassallo-Agius *et al.*, 1999）。ただし、浮上卵率、受精率およびふ化率などの卵質は、対照区の手撒き給餌よりも劣る結果が得られている。

今後、実用化に向けては配合飼料のコストの問題を視野に入れながら、さらにシマアジ親魚用の配合飼料の性能を向上させるためには、配合飼料へのアスタキサンチンやイカミールの適正添加量、添加開始時期、添加期間等を把握するための試験研究が必要と考えられた。

2-3-3 自動給餌器を用いた給餌

五島栽培センターでは、前述したように12月から翌年3月の冬期に北西の季節風に伴う波浪と強風による大時化が続き、海面小割の親魚への給餌がほぼ不可能な事態となる。そのため、無給餌期間が長期化すると、成熟への悪影響や親魚候補群の成長の停滞等が問題となっている。

そこで、冬期の荒天時の給餌対策として、海面小割に自動給餌器を設置し、無給餌による親魚候補群の成長停滞の解消を目的とした試験を行った。試験には、天然魚由来の養成魚（平均体重0.34kg）を用いた。試験は、配合飼料（マダイ用EP飼料2～5号；マルハ株）を手撒き作業で給餌する対照区と自動給餌器（写真2-5；STF-F-60型，新日本ベンチャーズ）で1日に魚体重の約1%の配合飼料を与える試験区を設けた。その結果、試験を開始して4年後の平均尾叉長と平均体重は、対照区の親魚群がそれぞれ44.5cmおよび2.0kgであったのに対して、試験区ではそれぞれ49.7cmおよび3.2kgと有意な差が認められた（図2-14）。

いずれ魚種での親魚養成においても、給餌は手撒き作業が基本である。それは、親魚の摂餌状況に応じた給餌量や給餌パターンのコントロールに加えて、親魚の活力や体表への寄生虫の付着などの養成状況や健康状態を直接観察できる利点を有する。しかし、五島栽培センターのように冬期は手撒き給餌が不可能な海面小割では、自動給餌器の活用が有効と考えられる。なお、近年、魚類の自発摂餌能を利用した給餌器も試験的には開発されて

いるが（日高・神原, 2002；山本ら, 2002, 2003), 親魚養成に応用し実用化させるまでには, まだ改良が必要な段階にある。

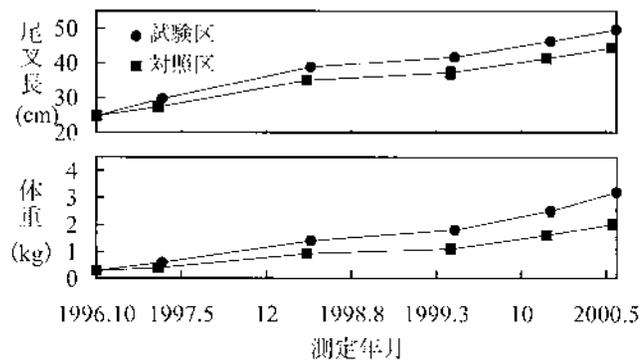


図2-14. 自動給餌器での給餌（試験区）と手撒き給餌（対照区）によるシマアジの成長の比較（五島栽培センター）

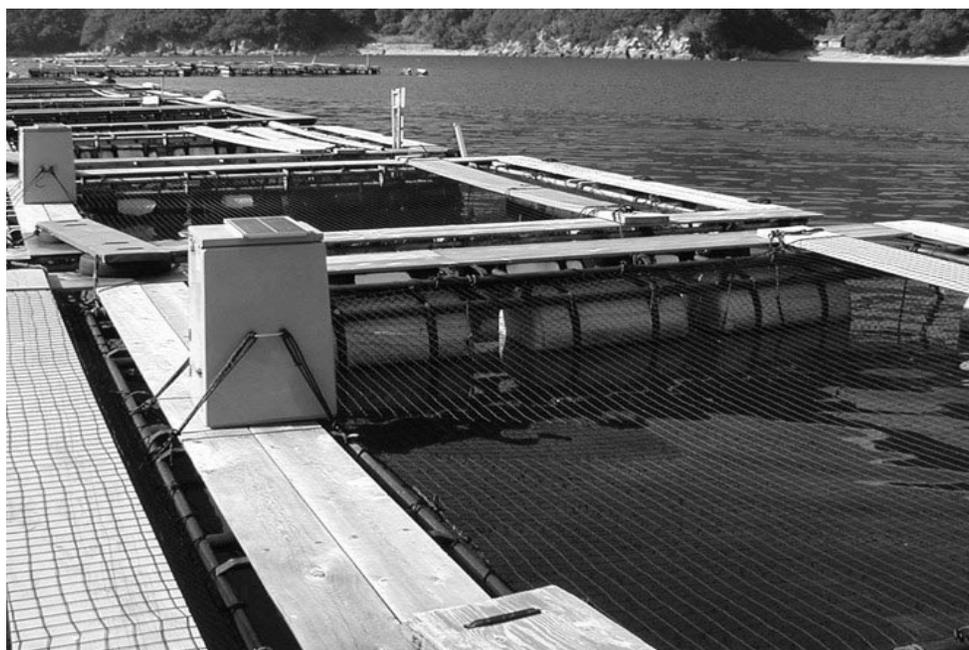


写真2-5. 海上小割に設置されたソーラー充電式の自動給餌器

3 採 卵

3-1 成熟度調査

親魚養成では、親魚の成熟発達度を的確に把握することは、産卵試験を実施する上で極めて重要である。しかし、シマアジの場合には、外観的な形態学的特徴等から親魚の雌雄判別を行うことは極めて困難である。本項では、雌親魚の成熟状況を把握するための手法について述べる。

3-1-1 卵巣卵径の測定

「3-3 成熟促進手法とその採卵事例」の項で後述するように、シマアジの卵巣卵の発達は非同時型に属し、本種が多回産卵型魚種であることを裏付けている。このような魚種では、親魚の卵巣中の卵径は数段階に区別され、小型の卵径を有する卵巣卵ほど産卵期の後期に産出される卵である。ここでは、卵巣中にみられるさまざまな卵径を有するすべての卵巣卵を示すのではなく、成熟度調査を行う時点の親魚の成熟状態を把握するために、採取される卵巣卵のうち、最大の卵径を有する卵巣卵を対象として調査を行うことを前提としている。本報では、これらの卵巣卵径を最大卵巣卵径と呼ぶこととし、通常はその最大卵巣卵径の平均値をその調査時点における成熟度の指標としている。

3-1-1-1 卵巣卵の採取と測定

産卵期直前の成熟の進んだ個体に対して、親魚に2-フェノキシエタノール (250mg/l) で約3～5分間の



写真3-1. 親魚の成熟度調査に使用したカニューレ

麻酔を施した後に、生殖孔からカニューレ (写真3-1) を挿入して生殖腺の一部を採取して雌雄を判別している (写真3-2)。カニューレは、ディスポーザブルシリンジ (容量5または10ml) に市販のポリエチレン製チューブ (ヒビキ、サイズ6、外径2mm) を取り付けたもので、煮沸滅菌 (100℃で5分間) あるいはアルコール滅菌 (70%エタノール) して使用する。なお、VNN原因ウイルスの親魚間の水平感染防除の観点から、用いるカニューレは個体別に使い分けるため、調査する親魚の尾数分のカニューレを準備しなければならない。

カニューレで得た卵巣卵は、個体別にマイクロチューブ (容量1.5ml) に収容して冷蔵保存 (約10℃) し、

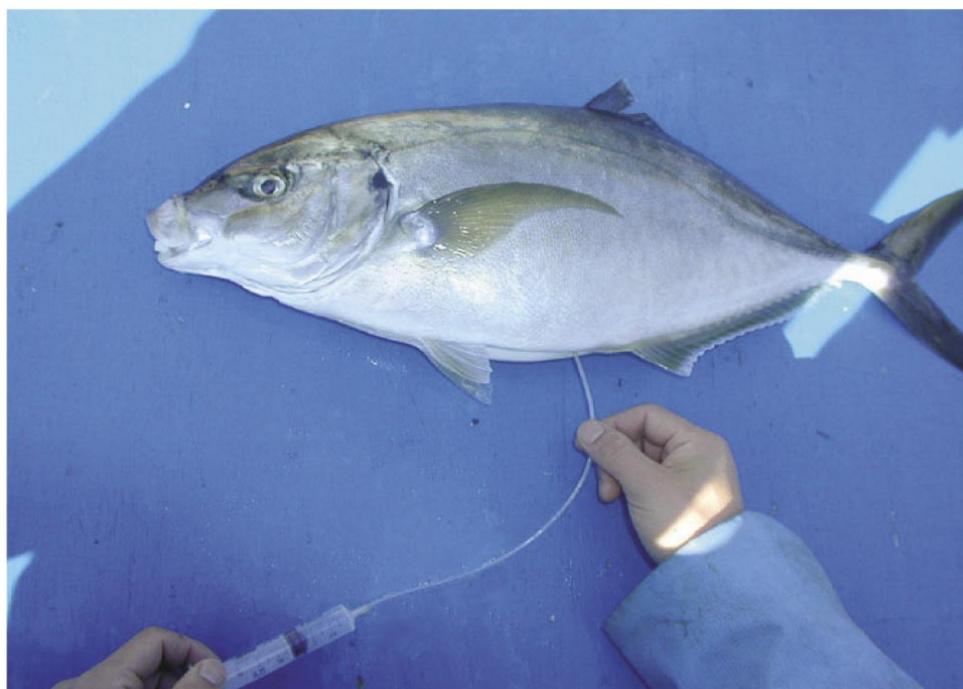


写真3-2. 麻酔したシマアジ親魚の生殖孔からのカニューレによる生殖腺のサンプリング状況

作業終了後直ちに実験室に持ち帰り、卵巣卵径を測定する。測定は、生理食塩水（0.85%）を滴下したスライドグラス上に卵巣卵サンプルを載せ、実体顕微鏡あるいは万能投影機下で測定する。卵巣卵径測定による成熟度調査では、最大卵巣卵径を30～50粒程度（場合により100粒）測定し、その平均値を親魚の成熟の指標として用いている。

ただし、この採取方法を繰り返すことにより、親魚の生殖腺に物理的な損傷を与え成熟阻害を引き起こす可能性が高いこと、また、損傷を受けた生殖腺からの病原体の侵入も懸念される。そのため、これに代わる方法として、魚種の雌雄判別する際に用いられている雌親魚の

血液中に特異的に分泌される卵黄形成前駆体タンパク質（ピテロジェニン^{*3}）（原，2001a, 2001b）に着目して、その血中濃度と卵巣卵径の間の相関関係から、成熟度判定手法を開発する新たな試みがブリおよびクエでなされている^{*4}。

3-1-1-2 退行変性卵

シマアジ親魚の卵巣卵の成熟過程において、発達が正常でないと考えられる卵（＝退行変性卵）（写真3-3）が観察される時がある。通常の産卵試験期間中には、このような退行変性卵が観察されることはほとんどない。しかし、「6 疾病対策」で後述する産卵を抑制するために水温を下降させた時や産卵末期から産卵終了後に比較

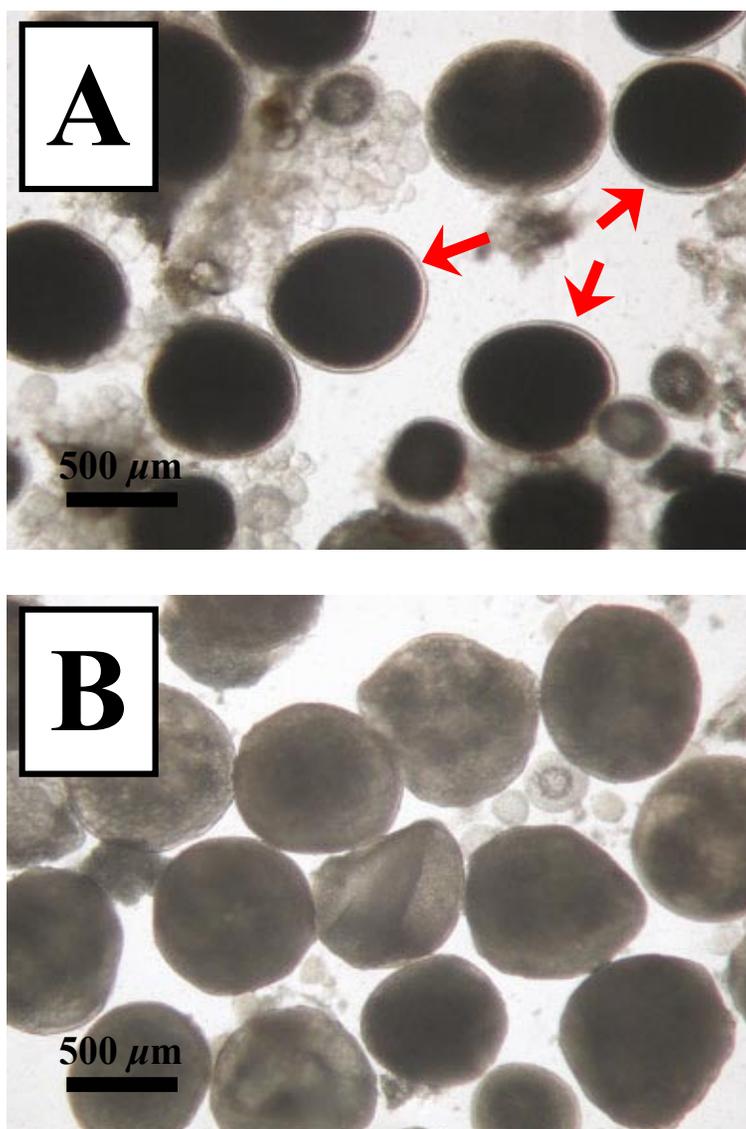


写真3-3. シマアジ親魚の成熟度調査において採取される卵巣卵
A：第3次卵黄球時期（矢印），B：退行変性卵

^{*3} 一般に、魚類の雌では産卵に先立って胚発生の際の栄養となる卵黄タンパクが卵に蓄積され（卵黄形成期）、この間、肝臓では雌の性ホルモンの作用により、卵黄タンパクのもとになるピテロジェニンが合成されて、血液を通して卵に取り込まれる。この現象が雌だけに特異的に見られることから、血液中のピテロジェニンの有無を調べることで雌雄判別が可能である。

^{*4} 親魚養成技術開発チーム浜田和久氏（五島栽培センター）私信。

的多く出現する。このような段階では、精液が採取できない雄個体も多くなる。多回産卵魚の成熟・産卵リズムは乱れやすく、卵が退行変性することはマダイでも知られている (Matsuyama *et al.*, 1993)。また、ブリでも同様に親魚の成熟期におけるハンドリング等に伴い、退行変性卵が出現しやすいことが知られている (日本栽培漁業協会, 1999b)。

3-2 血液性状

産卵親魚としての優良な親魚養成には、給餌する飼餌料の良し悪しが大きな影響を及ぼすと考えられるが、成熟あるいは産卵に有効な飼餌料を給餌した場合でも、その親魚が真に優良であるかどうかは、その後に実施される誘発産卵あるいは人工授精等による採卵成績との関連から推察せざるを得ないのが現状である。そのため、産卵期直前に産卵親魚としての適正度あるいは健康度を把握できるように評価指標があれば、採卵成績を予測する上での有効な指標になり得ることが期待される。また、その指標に影響を及ぼす飼育要因が特定できれば、親魚養成の技術開発にフィードバックすることにより、現状よりも科学的かつ合理的な技術開発が目指せるものと考えられる。

池田・舞田 (1993) は、血液による養殖魚の健康診断で次のように述べている。すなわち、「血液検査の持つ診断技法としての特性を生かす道は、検査した魚群がその後どのような転帰をたどるかを高い確率で予測することにある。このことにより、取り得る対処法の選択肢の幅を拡げ、最善の策、または次善の策を科学的根拠に基づいて講じていくことを可能にするということである」。このような考え方は、これまで養殖場において主に魚病対策として養殖種苗の健康状態を調査し、ひいては疾病による成体の異常を察知する手段として導入されてきた。このような考え方は、健全な卵を大量に得るための

優良産卵親魚の評価手法の一つとしても応用できると考えられることから、産卵期間中における親魚の血液の生化学的性状の変化を調べた。

すでに報告されているブリ (日本栽培漁業協会, 1999b) と同様に、血液性状と産卵成績との関連の検討も考えた。しかし、本種は非常に皮膚が糜爛しやすくハンドリングには細心の注意を要し、他魚種で実施されているような人工授精による個体別の採卵は採卵方法としては適さないこと、また、産卵期間が約2ヶ月と長期間に及ぶため、その間の給餌方法の違いにより血液性状に差が生じることなどの理由で、血液性状と個体レベルでの産卵成績との関連の検討は断念した。

3-2-1 親魚からの採血

親魚は、背部筋肉内に埋め込んだピット・タグ (Identification Devices Inc.) により個体識別し、2-フェノキシエタノール (250mg/ℓ) で麻酔して、ヘパリン処理したディスプレイシリンジで尾部血管から約0.5mlを採血した。採血には、容量2.5mlあるいは3mlのディスプレイシリンジに26Gの注射針を装着したものが、溶血を引き起こしにくく操作性が簡便で最も使いやすかった。得られた血液は冷蔵保存 (約10℃) し、作業終了後直ちに遠心分離 (600 × g^{*5}で10分間、4℃) により、血漿を分離した。なお、血液に体液が混入し凝固した場合は、血液を冷蔵庫内 (4℃) に一晩静置した後、遠心分離 (600 × gで10分間、4℃) して得られた血清を分離した。分離した血漿あるいは血清は、個体別に1.5ml容量のマイクロチューブに入れ、血液性状検査まで凍結保存 (-80℃) した。

3-2-2 血液検査項目

血液性状の検査項目は、池田・舞田 (1993) を参考に、ヘマトクリット (Ht)、総タンパク (TP)、総コレステロール (CHO)、アルカリフォスファターゼ (ALP)、グルコ

表3-1. シマアジ親魚の血液検査項目と一般的な意味

検査項目	略号	検査試料	検査の意味
ヘマトクリット	Ht	全血	血液中の赤血球の割合、貧血の指標
総タンパク	TP	血清	栄養状態の指標
総コレステロール	TCHO	血清	肝機能や体内脂質代謝の指標
アルカリフォスファターゼ	ALP	血清	生体内作用は多様、肝機能の指標
グルコース	GLU	血清	エネルギー源の一つ、ストレスにより上昇
トリグリセライド	TG	血清	中性脂肪の一つ、生体のエネルギー源
グルタミン酸オキサロ酢酸 トランスアミナーゼ	GOT	血清	細胞質内でのATP変換に重要な役割を持つ肝機能の指標
グルタミン酸ピルビン酸 トランスアミナーゼ	GPT	血清	GOTとともに糖新生が促進される時に誘導肝機能の指標

*5 遠心加速度は使用するローター半径により異なるが、回転数としては概ね3000 rpm (round per minute) である。

ース (GLU), トリグリセライド (TG), グルタミン酸オキザロ酢酸トランスアミナーゼ (GOT) およびグルタミン酸ピルビン酸トランスアミナーゼ (GPT) の計 8 項目とした (表3-1)。Htは血液中の赤血球の割合を示すもので、貧血状態の指標になる。TPは親魚の栄養状態の指標である。CHOは、肝臓機能や体内の脂質代謝の指標である。ALPは、生体内での作用は多様であるが、一般的には肝臓機能の指標とされている。GLUはエネルギー源の一つであり、ストレスの二次反応としても上昇する。TGは中性脂肪の一つであるが、GLUと同様に生体のエネルギー源である。GOTは、細胞質内でのATP (アデノシン三リン酸; エネルギーの保存と合成への利用に広く関与) 変換に重要な役割を持ち、肝臓機能の指標である。GPTは、GOTとともに生体内の糖新生が促進される時に誘導され、肝臓機能の指標となっている。

これらの検査項目のうち、Htを除く7項目は、上述した血漿あるいは血清サンプルを試料として、ビジョンシステム (ダイナボット; 現在は製造中止) あるいはドライケム (富士フィルム) (写真3-4) を用いて分析した。Htは、採血後に直ちに市販のヘパリン処理したマイクロヘマトクリット管を用いて常法に従い、遠心分離 (12,000rpmで5分間、常温) した後マイクロヘマトクリット法により赤血球容積を求めた。

また、一部の血漿 (血清) サンプルについては、「2-2-3 収容密度」の項で述べたようにストレスの一次反応である血中コルチゾールの濃度を市販のキット (コル

チゾールテストワコー, 和光純薬工業) を用いて測定した。

3-2-3 親魚のトリグリセライド (TG) と産卵数

産卵期直前の親魚の血液性状とその後の産卵試験における産卵数との関係を把握することができれば、優良産卵親魚の選別が可能になることが期待される。すでにブリでは産卵期直前の血液中のTG濃度の高低により、優良産卵親魚を選別できる可能性が示唆されており (虫明ら, 1998^{*6}; 日本栽培漁業協会, 1999b), シマアジ親魚でも可能性を検討した。

古満目栽培センターにおいて、産卵期直前の親魚血液中のTG濃度とホルモン注射による誘発産卵の成績との関係を調査した結果、血液中のTG濃度が高い親魚群ほど産卵数が多い傾向が認められた (図3-1)。ただし、本種の場合には、ハンドリング等により皮膚が糜爛しやすいため人工授精による採卵は適さないこと、また、個体別の産卵試験による比較を行っていないため、ブリ (虫明ら, 1998^{*6}; 日本栽培漁業協会, 1999b) で報告されているような養成した親魚の産卵成績との直接的な関係は不明である。しかし、養成した親魚の産卵成績を予想する上では、血液中のTG濃度はその指標の一つとなり得る可能性が強く示唆された。今後、例えば産卵期間中は高タンパク低脂肪の飼餌料を毎日給餌するなど血液中のTG濃度を高めるような飼育要素について、親魚養成にフィードバックする必要がある。



写真3-4. 親魚血液の生化学的性状検査に使用する血液分析装置 (ドライケム; 富士フィルム製)

^{*6} 虫明敬一・河野一利・山崎哲男 (1998): 産卵期直前の血液性状検査によるブリの優良産卵親魚評価の試み. 平成10年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 749.

3-2-4 産卵期間中の血液性状の変化

測定した8項目の血液性状のうち、産卵期間中に顕著な変化が認められたのはCHO、TGおよびGLUの3項目であった。本項では、その結果について述べる。

古満目栽培センターで養成した4親魚群について、産卵前から産卵末期の親魚から個体別に採血を行い、血液性状の変化を調査した。その結果、いずれの親魚群においても産卵回数の増加とともにCHOとTGは血中濃度が減少する傾向が認められるとともに、GLU濃度は上昇する傾向を示した(図3-2)。CHOおよびTG濃度の減少は、いずれも産卵するための代謝やエネルギー源の指標になる物質であり(表3-1参照)、産卵回数の増加による親魚の体力の減耗を示していると考えられる。一方、GLUはエネルギー源の一つではあるが、「3-2-2 血液検査項目」で述べたような免疫抑制現象以外にもストレスの二次反応の一つとして上昇することが報告されており(Mazeaud *et al.*, 1977)、親魚の多回産卵に伴うストレス状態にあることを示していると考えられた。この時、シマアジ親魚が実際にストレス状態にあったことは、ストレスの一次反応である血液中のコルチゾール濃度の上昇により証明されている(図3-3)。このこと

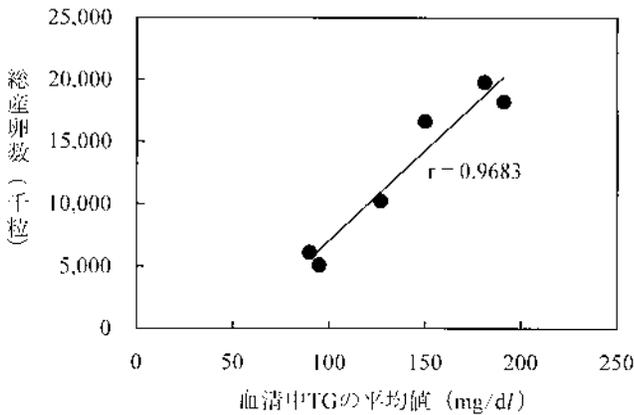


図3-1. 古満目栽培センターにおける産卵期直前のシマアジ親魚群の血中TG濃度とその後の総産卵数との関係

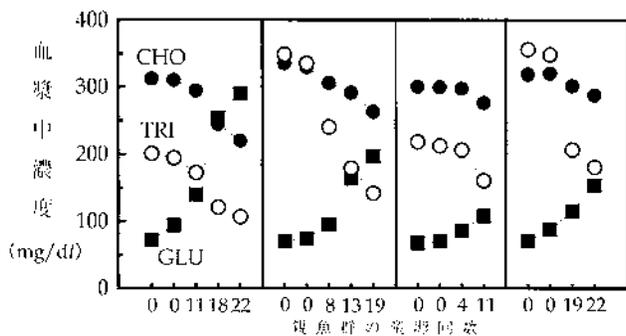


図3-2. シマアジ親魚群の多回産卵に伴う血液性状の変動
CHO: コレステロール, TG: トリグリセライド,
GLU: グルコース

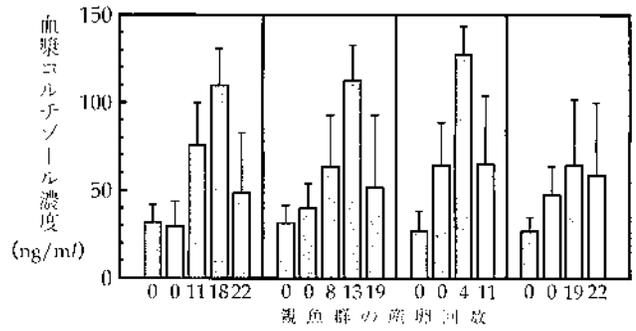


図3-3. シマアジ親魚群の多回産卵に伴う血中コルチゾールの経時的変化
図中の縦棒は標準偏差を示す

は、後述するVNN防除における親魚管理(6-3-3-3)の観点からは大変大きな意味を持つ。すなわち、同一親魚群を連続的に産卵させることで大量採卵は可能であるが、本種のVNN防除の観点からすると、むしろ回避すべき重要な対策の一つである(虫明ら, 1993b)。このため、健全な卵の確保のための親魚の産卵誘発方法については十分な注意が必要である。

3-3 成熟促進手法とその採卵事例

3-3-1 ホルモン処理

3-3-1-1 ヒト胎盤性生殖腺刺激ホルモン(HCG)

ヒト胎盤性生殖腺刺激ホルモン(human chorionic gonadotropin: HCG)は排卵を目的に使用される一過性のホルモンで、元来妊娠時の胎盤絨毛組織から分泌され、黄体形成ホルモン作用を有し魚類の生殖腺刺激ホルモンと作用が似ていることから、ハクレン等の脳下垂体の生殖腺刺激ホルモンに代わって広く魚類の成熟に利用されている(隆島, 1989)。

古満目および五島栽培センターでは、ブリ親魚で検討した結果(日本栽培漁業協会, 1999b)をシマアジ親魚に適用して、産卵を促進する場合のHCG処理は、魚体重1kg当たり600IUを注射するのが最も効果的であると考えた。「3-3-2-2 加温とホルモンの併用処理」で後述するように、HCG処理は初産魚の産卵を誘発するのに最も確実な処理方法の一つでもある。

ただし、VNN防除の観点からはHCGの多用には注意が必要である。その理由の一つとして、アユではHCGの多回注射が卵質(受精率やふ化率)に悪影響を及ぼすことが報告されている(Hirose, 1980)。二つ目に、虫明(2000)はシマアジ親魚におけるHCG注射の有無による血中コルチゾール濃度を経時的に測定し、HCG注射がストレス負荷の要因になり得る可能性を報告している(図3-4)。したがって、HCG注射はシマアジの初産魚の産卵を誘発するには有効な方法ではあるが、その翌年以降は水温等の産卵至適環境条件に制御するだけで産卵を

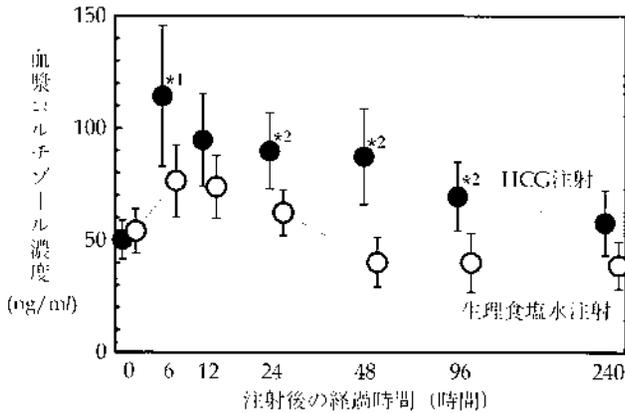


図3-4. ホルモン (HCG) 注射がシマアジ親魚のコルチゾールに及ぼす影響

- *1 生理食塩水注射区 (対照区) と比較して有意差あり (p<0.05)。
- *2 生理食塩水注射区 (対照区) と比較して有意差あり (p<0.01)。

開始する。いわゆる“産み癖”を付けた後には、HCG注射に依存しない産卵誘発方法を採用するべきである。

3-3-1-2 生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (GnRH)

近年、脳中の生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (gonadotropin releasing hormone : GnRH) の作用を海産魚類の成熟の促進および産卵の誘発に利用した例として、マダイ (Matsuyama *et al.*, 1993) やムシガレイ (奥村・栄, 1993) などの報告がある。GnRHの作用は、脳下垂体の生殖腺刺激ホルモン (GtH) 生産細胞の活性を

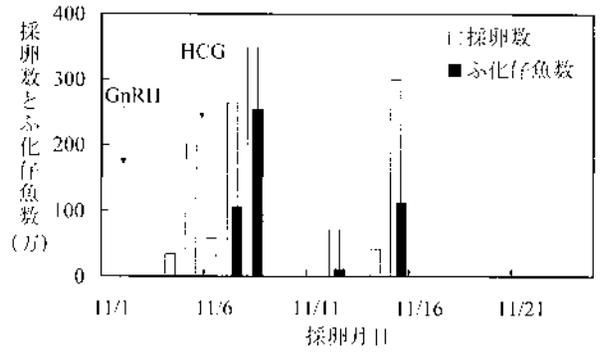


図3-5. 五島栽培センターにおけるシマアジ親魚へのGnRH接種による早期産卵試験の採卵状況

高め、同ホルモン量を増加させることであり、GnRHの投与によりホルモン効果が期待される (隆島, 1989)。

五島栽培センターでは、産卵時期の早期化を目的にGnRHを用いてシマアジ親魚の成熟を促進させて初回産卵を誘発し、その後にHCG処理を行って産卵数を増加させるとともに、比較的まとまった数のふ化仔魚を種苗生産試験に使用できた (図3-5)。

3-3-2 水温の制御処理

栽培漁業を推進する上で、成熟した親魚から大量の良

質な卵を確保することは、種苗生産のための第一段階である。天然魚では成魚 (魚体重 1 kg 程度) が漁獲されることはあっても、採卵可能な成熟親魚が漁獲されることはまずない。そのため、漁獲された天然種苗や人工種苗を養成し、それらの親魚を用いて産卵を誘発する以外に安定した卵の入手方法はない。また、シマアジ親魚の初産年齢は、天然種苗由来および人工種苗由来の親魚でそれぞれ 6 歳および 7 歳であり、稚魚段階からのシマアジの親魚養成には長期間を要することから、天然親魚の入手がさわめて困難なことから、本種の親魚養成のネックになっている。さらに、近年日本近海に棲息するシマアジの遺伝学的な特性の違いが指摘されている。すなわち、本州、四国および九州の太平洋沿岸に棲息するシマアジのほとんどが脊椎骨数25のAタイプと称される形態学的な特徴を有するのに対して、小笠原周辺海域に棲息するシマアジは脊椎骨数24のBタイプと報告されている (Yamaoka *et al.*, 1992; 益田ら, 1993)。脊椎骨数以外の両タイプの違いについては、外見上Bタイプの方が体色の青味が強く成長が早い点を除くとまだ十分に検討されておらず、今後の生態学的研究等が必要とされている。村井ら (1985a)、加藤 (1986) および加藤ら (1990) の報告は、小笠原父島で漁獲して養成した親魚と自然産卵に関する試験結果であり、いずれもBタイプに関する報告と推察される。一方、古満目栽培センターで養成し採卵に供した親魚は、天然種苗および人工種苗由来の両親魚ともすべて脊椎骨数25のAタイプであった。

本項ではAタイプに属するシマアジ親魚に関して、通常の時期の産卵を目的とした誘発方法のほかに、通常よりも早い段階での親魚の成熟促進方法、ならびに親魚の産卵期間を延長させるための処理方法について述べる。

3-3-2-1 加温処理

シマアジ親魚の産卵適水温は、小笠原 (Bタイプ) では20℃ (村井ら, 1985a) であるのに対して、高知県古満目 (Aタイプ) では22℃ (虫明ら, 1989) と報告されている。したがって、本研究では試験に供したシマアジ親魚の産卵誘発処理を施すための飼育水の加温水温を22℃に設定し、以下の加温安定ならびに加温変動処理を行った。なお、親魚飼育水の加温はすべてボイラーによる加温水注入方式で行った。

加温安定処理 親魚を陸上水槽に収容した直後から45~48時間かけて飼育水温を自然水温 (17~18℃) から22℃まで加温し、その後は産卵期間を通して22℃を維持するという加温安定処理により (図3-6 A)、シマアジ親魚の連続的な産卵を誘発させた (虫明ら, 1989)。過去に産卵経験を有し、産卵期直前に平均卵巣卵径が650 μm程度の第3次卵黄球期の卵を有する親魚を産卵試験に用いれば、加温安定処理のみで最終成熟を促進させ産卵を誘発させることが十分可能であった (表2-1お

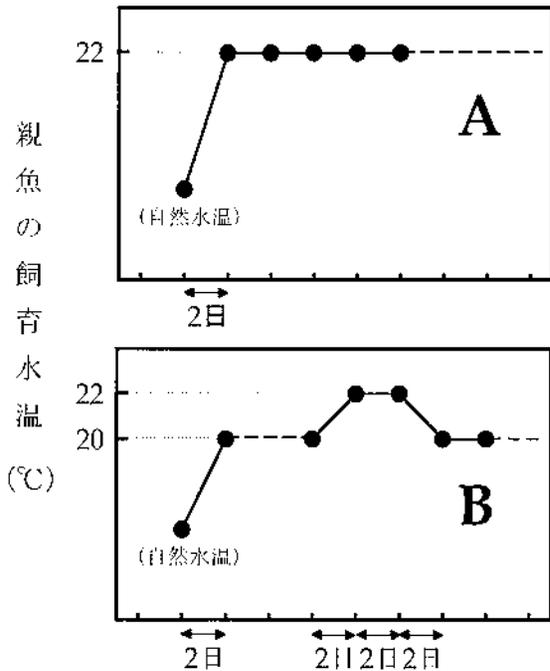


図3-6. シマアジ親魚の産卵誘発方法
A：加温安定処理（22℃一定）
B：加温変動処理（20℃⇔22℃）

よび2-2を参照)。

加温変動処理 親魚を水槽に収容後、2日間かけて水温を自然水温から20℃まで加温して維持し、種苗生産の計画に対応して卵が必要になった時点で、2日間かけて20℃から22℃に加温して産卵を誘発し、産卵後は2日間20℃まで下げる方法をここでは加温変動処理とした(図3-6 B)。加温安定処理が連続的に産卵を促すことによる大量の卵確保を目的とした誘発方法であるのに対し、加温変動処理は種苗生産計画に応じて計画的に産卵させることにより、親魚の産卵期間中の体力消耗を軽減させることを目的とした誘発方法である(虫明ら, 1996)。この加温変動処理は、加温安定処理に比較し得られる卵の量は少なくなる反面、親魚に過剰なストレスを与えることなく良質なふ化仔魚の確保が可能であった。この点については、「4-4-3-4 親魚の産卵条件の影響」の項で述べる。

加温変動処理による採卵の試みは、五島栽培センターでも行われ、約2週間の間隔で断続的に産卵させることに成功した(図3-7)。これらの試みを1996~1998年の3カ年間にわたって繰り返したが、いずれの年も計画的な採卵が可能であった。

したがって、加温変動処理による断続的な産卵は、「6-3-3-3 親魚の飼育管理」の項で後述するようにVNNの防除対策として有効であるだけでなく、種苗生産の観点からも、計画的な採卵と種苗生産の開始が可能となる手法として有効である。

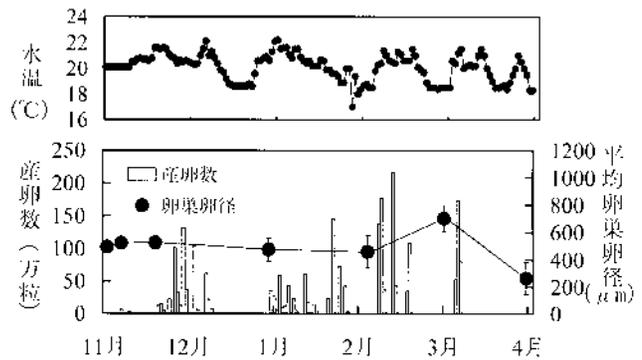


図3-7. 五島栽培センターにおける加温変動処理による親魚の産卵状況および卵巣卵径の推移

3-3-2-2 加温とホルモンの併用処理

シマアジの産卵試験に初産の親魚を使用する場合や生殖腺指数(gonado-somatic index: GSI)が低い親魚の排卵を促進する場合には、加温安定処理だけでは完全に産卵を誘発することができなかった。そのため、親魚を陸上水槽に収容する直前に、排卵促進用にブリでの試験結果(日本栽培漁業協会, 1999b)を参考に魚体重1kg当たり600IUを基準注射量としてHCGを背部筋肉内に注射した。注射した親魚は可能な限りショックを与えないように水槽に収容し、以後は加温安定処理により22℃で産卵を誘発した。古満目栽培センターにおいて、1985~1993年のシマアジの産卵誘発に用いられてきた方法のうち、加温安定処理とホルモン処理の併用(表2-1でC+H)は、最も多く用いられてきた産卵誘発方法である。この併用処理により、約2カ月間にわたる産卵期間中に雌1尾当たり約1,000万粒の卵もしくは700万尾のふ化仔魚が得られ(表2-2を参照)、シマアジふ化仔魚の量産体制が確立された。この併用処理は、特にシマアジ初産魚の産卵誘発には最も確実で効果的な手法であると考えられるが、経産魚に対しては連続産卵を誘発することになり、親魚の体力を消耗させることも明らかになっている(虫明ら, 1993b)。

3-3-2-3 水温上限制御処理

ブリでは、飼育水温が産卵適水温である18~20℃を越えると急激に卵巣内に退行変性卵が出現し、卵巣は急激に吸収されて退縮する(落合ら, 1980)。同じアジ科魚類のシマアジにおいても同様の現象が十分起こりうると思われるため、これまでの産卵試験の結果から、産卵水温の上限を22℃と考え、それより低めの20℃を飼育水温の上限に設定することで、卵巣内の退行変性卵の出現時期を遅らせて産卵期間の延長を図った。飼育水温の維持は、20℃以下の場合には自然水温で、自然水温が20℃以上となる場合には冷却海水を注入した。この方法を水温上限制御処理とした。1988年および1989年に行った水温上限制御処理による産卵試験の結果、古満目栽培センターにおいて従来5月中旬までであったシマア

ジの産卵時期が6月中旬まで約1か月間延長でき、遅い時期での採卵も可能となった(表2-2参照)。しかし、兩年とも親魚は群として少なくとも40回程度の産卵を繰り返し、親魚の体力を著しく消耗させることによりVNN原因ウイルスの体内増殖を招いた事例もあった。このため、健全なふ化仔魚生産の観点から考えるとむしろマイナスに作用する処理方法と考えられた。

3-3-3 長日処理

通常の日長時間を電照処理により長くする長日処理によって、親魚の成熟が促進されることはカワマス(Henderson, 1963), ニジマス(Bieniarz, 1973; Breton and Billard, 1977; Whitehead *et al.*, 1978)およびギンザケ(MacQuarrie *et al.*, 1978)などのサケ科魚類における研究で実証されている。これらの長日処理方法を参考に、マダイ(福所ら, 1986; Matsuyama *et al.*, 1993)やヒラメ(電源開発株式会社, 1996)では、水温および光条件の制御による通常の産卵期以外の時期(=非産卵期)における採卵が可能であることが報告され、すでに事業レベルでも実施されている。また、ブリでも飼育環境条件の制御により、通常の産卵期を約2~4ヶ月早めた早期採卵技術が開発されている(有元, 1991, 1992; 河野ら, 1993; Mushiake *et al.*, 1994b; Mushiake *et al.*, 1998; 今泉ら, 2002; 浜田ら, 2004)。

五島栽培センターでは、養成した親魚を用いても自然日長条件下で加温安定処理を行っても長期間にわたる大量の採卵は成功しなかった。一方、ブリの光条件の制御、すなわち、長日処理(18L6D; 200Wの電球2個を水槽表面で18時間照射して明期とし、6時間を暗期とする)方法をシマアジに応用したところ、11月中旬から翌年の4月までの長期間の採卵が可能となり(図3-8)、親魚からの長期間にわたる採卵が可能となった。

古満目栽培センターにおいても、産卵親魚の成熟促進手法として、長日処理(18L6D)による卵形成の促進の可能性を検討した。長日処理は、水槽上部に市販の200Wのランプ2基を設置し、18:00~24:00までの6時

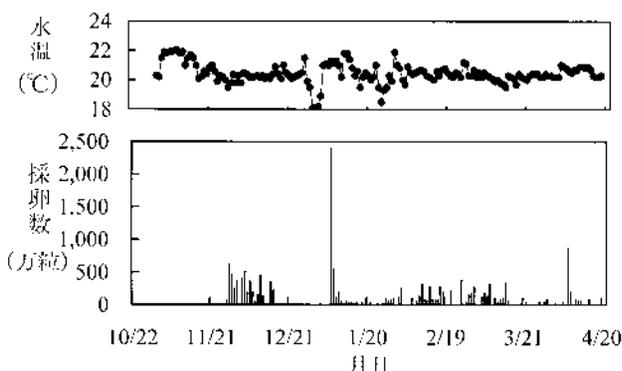


図3-8. 五島栽培センターにおける長日処理によるシマアジ親魚の産卵状況と水温の推移

間水槽表面を照射した。この処理は親魚を水槽に収容した当日(0日)から21日間行い、長日処理開始0日、10日および21日目にカニューレを用いて卵巣卵をサンプリングし、長日処理区および対照区の各雌親魚について50粒の最大卵巣卵径を実体顕微鏡下で測定した。なお、対照区は夜間の長日処理を行わなかった以外は、飼育管理方法は長日処理区と同じとした。長日処理期間中の水温は、両区とも自然水温(18.4~19.7℃)とし、試験開始時の卵巣卵径は、長日処理区および対照区でそれぞれ570 μmおよび544 μmであった。長日処理開始10日および21日目には、長日処理区で卵巣卵径がそれぞれ753 μmおよび840 μmであったのに対して、対照区ではそれぞれ588 μmおよび645 μmと、いずれも長日処理区の方が有意(p<0.01)に大きい値を示した(表3-2)。このことから、シマアジにおいても長日処理による成熟促進の可能性が示された。近年、ブリにおいては長日処理を実施する直前に10日間の短日処理(8L16D)を組み入れることにより、さらに成熟促進を図ることが示されている(浜田ら, 2004)。シマアジにおいても、この短日処理を利用すれば、さらに産卵期を早めることは十分に可能と考えられる。

表3-2. シマアジ雌親魚の成熟に及ぼす長日処理の影響

長日処理*1 の有無	雌親魚の 個体番号	試験開始後の経過日数		
		0	10	21
あり (試験区)	1	578±22*2	756±34	826±39
	2	569±27	728±31	845±37
	3	572±28	774±29	868±46
	4	553±22	780±51	823±39
	5	577±34	753±36	846±27
	6	573±25	729±35	834±38
	平均±SD	570±26	753*3±36	840*4±38
なし (対照区)	1	581±34	612±36	687±35
	2	527±35	589±42	642±28
	3	542±26	598±30	666±38
	4	540±31	556±28	597±42
	5	528±30	587±37	634±39
	平均±SD	544±31	588±35	645±36

*1 長日処理: 人工照明を18:00~24:00まで点灯させた。

*2 数字は平均卵巣卵径・標準偏差(μm)を示す。

*3 対照区の10日目と比較して有意差あり(p<0.01)。

*4 対照区の21日目と比較して有意差あり(p<0.01)。

3-3-4 無処理

シマアジ親魚の産卵誘発処理方法として、加温処理、加温とホルモンの併用処理および水温上限制御処理がそれぞれの採卵の目的に応じて有効であることは上述した通りである。しかし、これらの処理による産卵誘発だけではAタイプのシマアジ本来の産卵生態については不明な点が多い。そこで、1986~1990年の5年間にわたり、自然水温下で誘発無処理の産卵試験を行った。いずれの年も産卵は4月初旬(1990年のみ3月30日)から始ま

り、5月末までの約2か月間継続した(表2-2参照)。その間の水温は、16.4~22.9℃であった。村井ら(1985a)および加藤ら(1990)は、小笠原におけるBタイプのシマアジの無処理での自然産卵が認められた水温は、それぞれ18.5~21.5℃および18.6~22.7℃と報告している。今回得られたAタイプのシマアジの産卵水温の範囲は、上限および下限ともこれらの水温を越える結果となり、Bタイプ親魚よりも広い水温帯で産卵可能であることが判明した。無処理で産卵させた雌親魚の1尾当たりの産卵数は266~662万粒であり、前述した加温安定処理区、加温変動処理区あるいは加温とホルモン併用処理区の親魚の産卵数と比較するといずれも少ない結果となった(表2-2)。これは、飼育水温が自然水温の変動に委ねられているために親魚の産卵適水温が維持されにくく連続的な産卵誘発を受けにくいことに起因していると考えられる。そのため、大量の卵を確保するという観点から判断すると、無処理での産卵は非効率的な方法と言える。しかし、無処理条件下で飼育した親魚の産出卵の卵径は、加温とホルモンの併用処理を施した親魚から得られた卵径よりも産卵期間を通して常に約40 μm程度大きかった(図2-6参照)。このようなホルモン処理による産出卵の卵径への影響に関しては、カンパチ(立原ら、1993)においても報告されているが、ホルモンの

作用機序と卵径との関係については不明のままである。村井ら(1985b)はシマアジ親魚の卵巣卵の組織学的検査を行った結果、本種の卵巣卵の発達は非同時型に属することを報告している。このような非同時発達型の卵巣卵を有する魚種としては、マダイ(松浦、1972)、メダカ(Yamamoto and Yoshioka, 1964)およびアユ(松山・松浦、1984)などが良く知られている。これらの魚種が多回産卵型魚種であり、産卵期は一般に長く、その間に未発達な卵母細胞から卵黄形成期への補充が起ると言われている(高野、1989)。シマアジの場合にも全く同様の可能性が示唆され、本種が多回産卵型の魚種であることを裏付けている。したがって、上述したような無処理と加温・ホルモン併用処理とによる卵径の違いは次のように推察された。すなわち、加温・ホルモン併用処理の場合には飼育環境水温が常に産卵適水温である22℃に保たれることにより、体内の成熟ホルモン等による排卵作用が促進されるため卵巣内での未完熟卵も排卵される可能性が高くなり、結果的に小型の卵径を有する卵が産卵されるのに対して、無処理の場合には自然水温の変動に合わせて親魚の体内リズムが変化し、産卵至適条件に達するまでに十分な卵黄蓄積等がなされた後に完熟卵を排卵するため、産出卵の卵径が現象的に大きいのではないかと考えられた。

4 卵管理とふ化

柏木 (1989) は卵管理の重要性を次のように述べている。「魚卵のふ化は、持って生まれた卵質と受精・発生過程で遭遇する環境によって異なる。卵質は、卵産出までの親魚の生理状態などに起因し、親魚の養成技術または採卵技術に大きく関わる問題である。そして、産出卵の質的な評価は卵管理の効率的運営にとって欠かせない技術の一つである。つまり、卵管理の過程では、良質卵を選別し、その発生における最適の環境条件をつくり、健全な仔魚を生産することが必要である」。これは、健全なふ化仔魚を種苗生産に供給するためには、産出された卵を効率よく回収し、好適な環境で管理・ふ化させるということが非常に重要であり、また、それらの卵の質的な評価を行なう技術が必要であるという指摘である。この章では、水槽内に産出された卵の回収方法、採卵した卵のふ化までの管理方法、卵とふ化仔魚の質的な評価方法、および卵とふ化仔魚の輸送方法等について述べる。

4-1 卵の回収

古満目栽培センターの八角形産卵水槽 (65kℓ) では、図4-1に示したようにエアリフトにより飼育水を緩やかに回転させ、卵を水槽中央部に集めて回収している。回収には水槽の水面下10~20cmに設置したフレキシブルホース (直径50mm) 4本をサイホンとして用い (写真4-1)、産卵水槽横の採卵水槽 (写真4-2) の中に採卵ネット (直径70cm×深さ60cm、黒色ゴース地テトロ

ン# C-119, 東レ, 写真4-3) を設置してろ過収集する方式を採用している (写真4-2を参照)。陸上水槽での換水率はおおむね4~6回転/日である。

一方、五島栽培センターでは四角形産卵水槽 (90kℓ) を使用して、エアブロックにより注水口と対角の位置にあるオーバーフロー口から表層水とともに流出する卵を古満目栽培センターと同様に採卵ネットで収集する方法で採卵している (図4-1, 写真4-4)。この方法以外にも、産卵水槽内のオーバーフロー口付近に設置した2~3本のフレキシブルホース (直径50mm) でサイホン方式により、排水した飼育水とともに隣接するポリカーボネイト水槽 (0.5kℓ, 2~3面) に設置した採卵ネットで収集する方式も採用した事例もある。

陸上水槽での飼育水の換水率は、古満目栽培センターでは水槽の大きさとは無関係に通常4~6回転/日とした (表4-1)。一方、五島栽培センターでは90kℓ水槽での換水率は、通常使用時は2~3回転/日としたが、卵を回収する時には、3~4回転/日とした (表4-1)。採卵した卵はバケツ (20ℓ) に収容し、10分程度静置して浮上卵と沈下卵を分離させた。バケツ内で浮上した卵は、500mlのピーカーを用いてポリカーボネイト製メスシリンダー (2ℓ) に静かに掬い取った。そして、さらに10分程度静置させて浮上卵と沈下卵に分離させた後、浮上卵と沈下卵の容積をそれぞれ読み取り、浮上卵率を算出した。なお、シマアジの卵径 (x) と容積1ml当りの卵数 (y) の実数計数の結果、

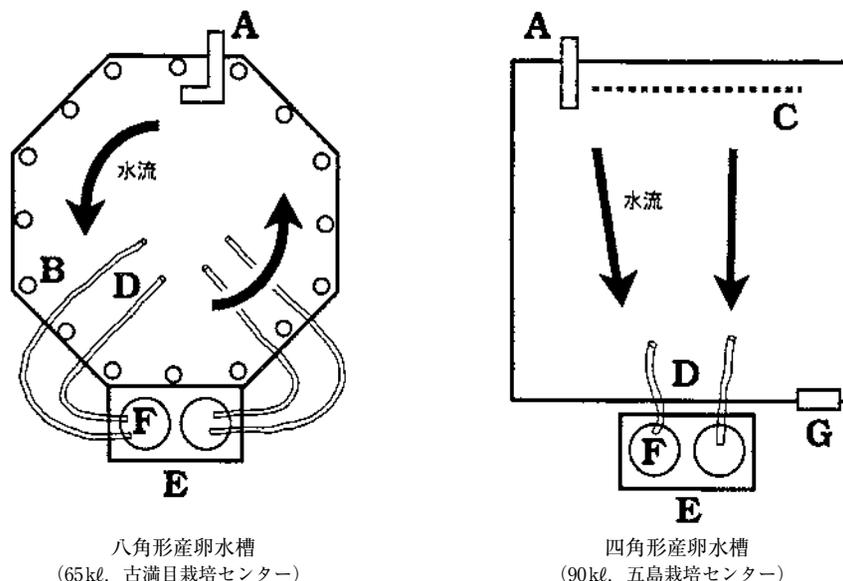


図4-1. 陸上水槽における採卵方法

A: 注水, B: エアリフト, C: エアブロック, D: サイホン,
E: 採卵水槽, F: 採卵ネット, G: オーバーフロー

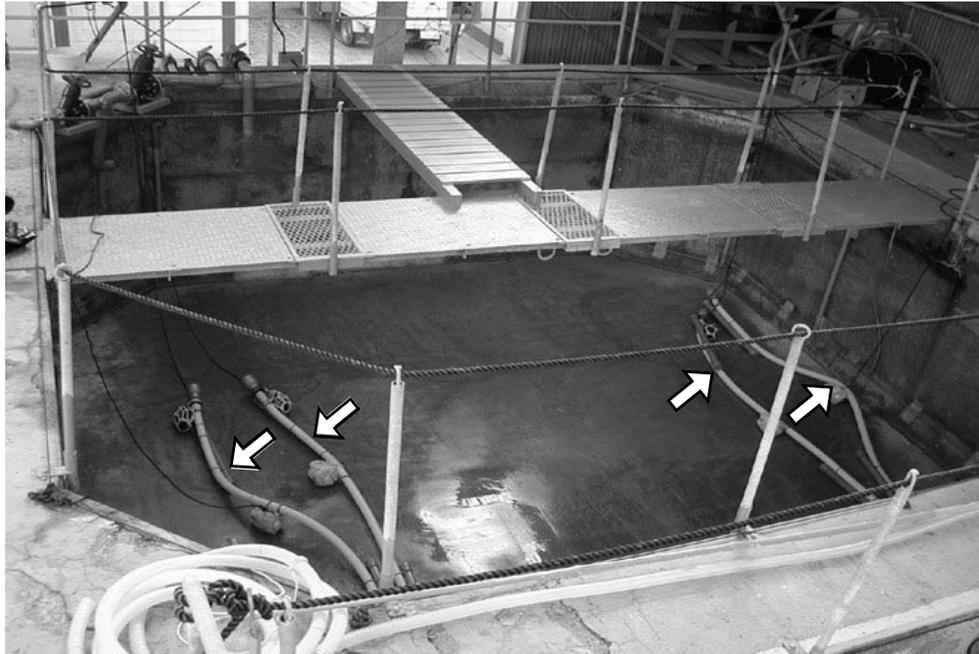


写真4-1. シマアジ親魚の産卵水槽内に設置された採卵用ホース（実容量65kℓ，古満目栽培センター）
矢印のホースをサイフォンとして使用



写真4-2. 親魚の産卵水槽に隣接した採卵ネットを設置するための採卵水槽（古満目栽培センター）

表4-1. 陸上水槽におけるシマアジ親魚の産出卵の回収方法

栽培漁業 センター名	産卵水槽 (kℓ)	通気方法	卵の 回収場所	回収 方法	換水率 (回転/日)	採卵水槽 (大きさ等)	採卵用 ネット
古満目	65	エアリフト	水槽中央	サイホン	4~6	コンクリート製 (80 cm×160 cm, 深さ 100 cm)	黒ゴースネット (直径70 cm×深さ 60 cm)
五島	90	エアブロック	水槽壁	サイホン	通常 2~3 (3~4)*	ポリカーボネイト製 (0.5 kℓ)	黒ゴースネット (直径70 cm×深さ 60 cm)

* 卵を回収する時。



写真4-3. 採卵に使用されている採卵ネット
(直径70cm×深さ60cm, 実容量0.19kℓ)

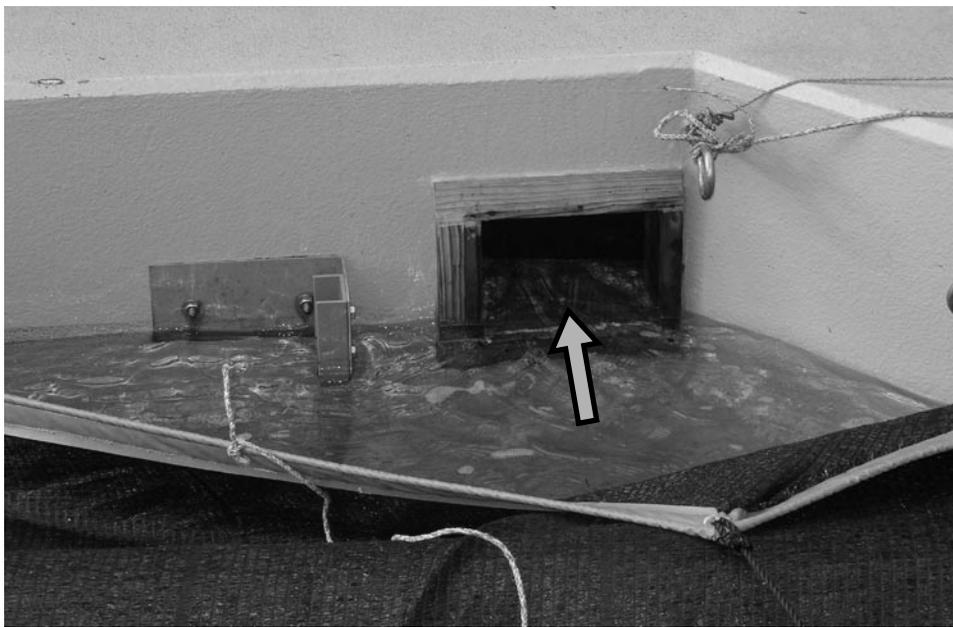


写真4-4. 水槽壁面のオーバーフロー口からの採卵状況 (五島栽培センター)

$$y = 1124x^{-2.652} \quad (r = -0.999)$$

なる相関があることが明らかになっており*7, 容積から卵数への換算は, 卵径測定の後この換算式を用いて行った。

4-2 卵の取り扱い

4-2-1 取り扱い方法

シマアジの卵は分離浮性卵である。したがって, 産

出卵の採集は上述したように採卵ネットでも過収集する方法を採用し, 採卵ネットに採めた卵は海水とともに掬い取ってバケツに収容した。その後, メスシリンダーに再収容して浮上卵と沈下卵とに分離して浮上卵率を求めた。その際, バケツからメスシリンダーに収容する時の卵の取り扱い方法の違いが, 卵の浮上卵率, ふ化率およびふ化仔魚の活力に及ぼす影響について検討した。

試験には, 1988年, 1990年, 1991年および1992年にいずれも天然魚を養成した親魚から得られた浮上卵を供

*7 旧日本栽培漁業協会古満目事業場元場長 長谷川 泉氏私信。

表4-2. シマアジの卵のハンドリング試験に供した卵の性状

年	親魚群		N	平均値 (μm) $\pm\text{SD}^{*1}$		平均油球数	油球異常率 ^{*2} (%)
	由来	年齢		卵径	油球径		
1988	天 ^{*3}	10	150	1012 \pm 12	263 \pm 9	1.08	1.8
	天	10	100	1022 \pm 11	272 \pm 7	1.11	2.5
1990	天	12	150	1007 \pm 13	266 \pm 8	1.04	1.9
1991	天	13	150	1032 \pm 11	278 \pm 9	1.02	1.8
1992	天	14	200	1028 \pm 12	274 \pm 9	1.02	1.6

*1 SD:標準偏差.

*2 油球数の異常率.

*3 天:天然養成親魚.

表4-3. シマアジの卵質および仔魚のSAIに及ぼすハンドリングの影響

年	卵のハンド リング方法 ^{*1}	供試卵数 (千粒) a	浮上卵		仔魚数 (千尾) c	ふ化率 (%) b/a	仔魚の SAI ^{*2}
			数 (千粒) b	率 (%) b/a			
1988	A	949	538	56.7	268	28.2	8.35
	B	949	902	95.0 ^{*3}	835	88.0 ^{*4}	12.20
	A	1,019	614	60.3	364	35.7	8.80
	B	1,019	1,009	99.0 ^{*3}	963	94.5 ^{*4}	12.73
1990	A	1,562	872	55.8	509	32.6	3.04
	B	1,654	1,628	98.4 ^{*3}	1,492	90.2 ^{*4}	9.20 ^{*5}
1991	A	1,083	621	57.3	456	42.1	8.97
	B	986	983	99.7 ^{*3}	944	95.7 ^{*4}	15.92 ^{*5}
1992	A	1,008	681	67.6	414	41.1	10.83
	B	1,294	1,291	99.8 ^{*3}	1,259	97.3 ^{*4}	19.72 ^{*5}

*1 方法A:洗卵枠に張ったネットを通して卵とゴミを選別する方法,
方法B:ピーカーを使用して卵を掬い取る方法.

*2 無給餌生残指数 (survival activity index) .

*3 方法Aの浮上卵率と比較して有意差あり ($p < 0.01$) .*4 方法Aのふ化率と比較して有意差あり ($p < 0.01$) .*5 方法Aのふ化仔魚のSAIと比較して有意差あり ($p < 0.01$) .

した(表4-2)。卵は採卵ネットから約半数ずつ2つのバケツに収容して試験に供した。卵は次の2通りの方法で取り扱った。第一の方法は、ナイロン製防虫網(目合1.5mm)と同製強力網(目合261 μm)とを張った2つの洗卵枠をそれぞれ上下にセットし、その中にバケツ内のすべての卵を流し込んで、卵とゴミを選別した後、卵を2 ℓ のメスシリンダーで浮上卵と沈下卵に分離した(以下洗卵枠法とする;表4-3の方法A)。第二の方法は、採卵した卵をバケツ内に静置して浮上卵を表面に浮上させ、ピーカーを用いて掬い取りメスシリンダーで浮上卵と沈下卵(a)とに分離した(以下掬い取り法とする;表4-3の方法B)。なお、バケツの底に沈下した卵(b)はメスシリンダーで計量し、浮上卵率を求める際には合計(a+b)を沈下卵量とした。

卵の取り扱い方法の違いが卵質等に及ぼす影響については、水温22 $^{\circ}\text{C}$ で浮上卵率、ふ化率および無給餌生残指数の3項目について評価した。浮上卵率は、それぞれの方法で卵を取り扱った時に得られた浮上卵数の供試卵数に対する割合で求めた。ふ化率は、それぞれの方法で扱った卵をふ化ネットに収容し、ふ化が完了

した時点でふ化仔魚数を計数して供試卵数に対する割合を求めた。そして、無給餌生残指数は得られたふ化仔魚を用いて飢餓耐性試験を行い、その結果から無給餌生残指数(survival activity index:SAI)(新聞・辻ケ堂,1981)を算出した。なお、飢餓耐性試験の詳細については「4-4 ふ化仔魚の評価」の項で述べる。

洗卵枠法(方法A)で卵を取り扱った結果、各年とも浮上卵率およびふ化率はそれぞれ55.8~67.6%および28.2~42.1%であったのに対して、掬い取り法(方法B)ではそれぞれ95.0~99.8%および88.0~97.3%であった(表4-3)。掬い取り法で卵を取り扱うことにより浮上卵率で約2倍、ふ化率で約3倍の効率でふ化仔魚の生産が可能となり、ふ化率では各年とも洗卵枠法との間に有意($p < 0.01$)な差が認められた。ふ化仔魚のSAIにおいても各年とも掬い取り法で卵を扱った卵由来のふ化仔魚の方が高い値を示し、1990年、1991年および1992年には有意($p < 0.01$)な差が認められた。

洗卵枠法で卵を取り扱う際には、受精膜に物理的損傷を与えたために浮上卵率およびふ化率が低下したのではないかと考えられる。一方、掬い取り法の場合には、卵

は海水とともに扱われるため受精膜損傷の危険性が極めて低く、ひいてはSAIの高いふ化仔魚生産にもつながることが明らかとなった。実際の生産現場における採卵でも従来行ってきた洗卵枠法から掬い取り法に切り替えた結果、1988年以降浮上卵率の上昇により効率的なふ化仔魚生産が可能となった(表2-2を参照)。掬い取り法は、洗卵枠法に比べると採卵作業に若干多くの時間を要するが、効率的なふ化仔魚生産には極めて有効な方法であると言える。なお、掬い取り法では表面のゴミも同時に掬取るため、卵をふ化ネットへの収容する時のゴミの混入により卵管理中の水質悪化が当初懸念された。しかし、ゴミは卵がふ化するまでにネット内に沈下し、沈下卵を除去する時に同時に除去できたので、卵管理中の水質悪化ならびにふ化仔魚取り上げの際には特に問題にはならなかった。

4-2-2 取り扱い時期

シマアジだけでなく多魚種においても産卵直後の卵はハンドリング等の外的要因に極めて高い感受性を有する。そこで、発生段階別に卵の取り揚げ作業を行い、その影響について検討した。

天然養成親魚群が午前1時45分頃に産卵したのを確認し、採卵ネットに回収された浮上卵の発生段階が、4細胞期(産卵1.5時間後)、64細胞期(3.0時間後)、桑実期(6.0時間後)、胚環期(9.5時間後)、眼胞形成期(26.0時間後)および胚体形成期(35.0時間後)に達した時点で経時的に採卵して試験に供した(表4-4)。この採卵作業をハンドリング操作とみなした。また、ハンドリングの影響を把握するため、卵の発生段階における正常発生率、ふ化率および仔魚のSAIを比較項目とした。

その結果、いずれの項目においても桑実期以降に採卵した卵では、正常発生率、ふ化率およびSAIとも高い値を示した(表4-4)。一方、64細胞期以前の発生初期に

採卵した卵では、いずれの項目でも低い値となった。このことから、発生初期の卵ほど採卵といったハンドリング操作に高い感受性を示し、外的要因の影響を受けやすいことが示された。そのため、採卵作業等で卵を取り扱うのは、受精後6時間以上を経過した桑実期以降の発生段階が適していると考えられた。これは、シマアジだけでなくほとんどの魚種に共通にみられる特徴である。

4-3 卵管理

得られた卵のふ化までの卵管理の過程では、その発生における最適の環境条件をつくり、健全な仔魚を生産することが必要である(柏木, 1989)。本項では、比較的容易に把握できる卵管理中の物理的環境条件として、適正な通気量、注水量および卵の収容密度に関して行った試験事例について述べる。

4-3-1 ふ化容器

シマアジの卵をふ化させる専用の容器はない。古満目および五島栽培センターでは、通常、シマアジに限らず大量の分離浮性卵をふ化させるにはゴース地(黒色ゴース地テトロン#C-119, 東レ)で作製した通称“ふ化ネット”(直径90cm×深さ75cm:写真4-5)あるいはアルテミアふ化器の逆円錐形の部分を若干改良した通称“ふ化器”(直径108cm×深さ155cm:写真4-6)を使用している。

これらのふ化容器の利点と欠点を表4-5に示した。ふ化ネットは、安価で取り扱いやすい反面、生地が破損しやすい短所がある。また、柔軟性のある構造のため通気や注水の影響で吹きだまりができやすい。しかし、生地がなめらかなため、受精膜への損傷は与えにくく、卵の取り上げが簡単に行える利点を有する。また、実容量が比較的小さいこともあり、ふ化までの間に行う沈下卵の完全な除去がふ化器よりも容易に行える。その反面、

表4-4. 卵発生と仔魚の生残に及ぼす取り揚げ作業の影響

ハンドリング時の卵の発生段階	産卵後の経過時間(時間)	比較した項目		
		正常発生率(%)	ふ化率(%)	SAI
4細胞期	1.5	61.7	50.4	7.34
64細胞期	3.0	70.3	61.4	10.68
桑実期	6.0	94.6	92.8	17.36
胚環期	9.5	96.5	93.1	16.88
眼胞形成期	26.0	94.6	92.8	17.43
胚体形成期	35.0	93.8	91.9	17.19
対照区*	-	98.4	97.2	18.52

* いずれの発育段階でも取り揚げ作業をしなかった卵。

ふ化して仔魚になると、取り上げ時に仔魚がネットへ付着しやすく、その後の生残に影響が出やすい。したがって、ふ化ネットからの取り上げには細心の注意を要する。また、隣接するふ化ネット間での海水の交流が自由であるため、疾病防除対策上は病原微生物の水平伝播が

容易に成立しやすく、疾病防除の観点からは不向きである。

一方、ふ化器は高価で大きさおよび重量から卵の取り扱いが不便であるという短所を有するが、大量の卵を収容することができ、さらに、容器間の病原体の水平伝播

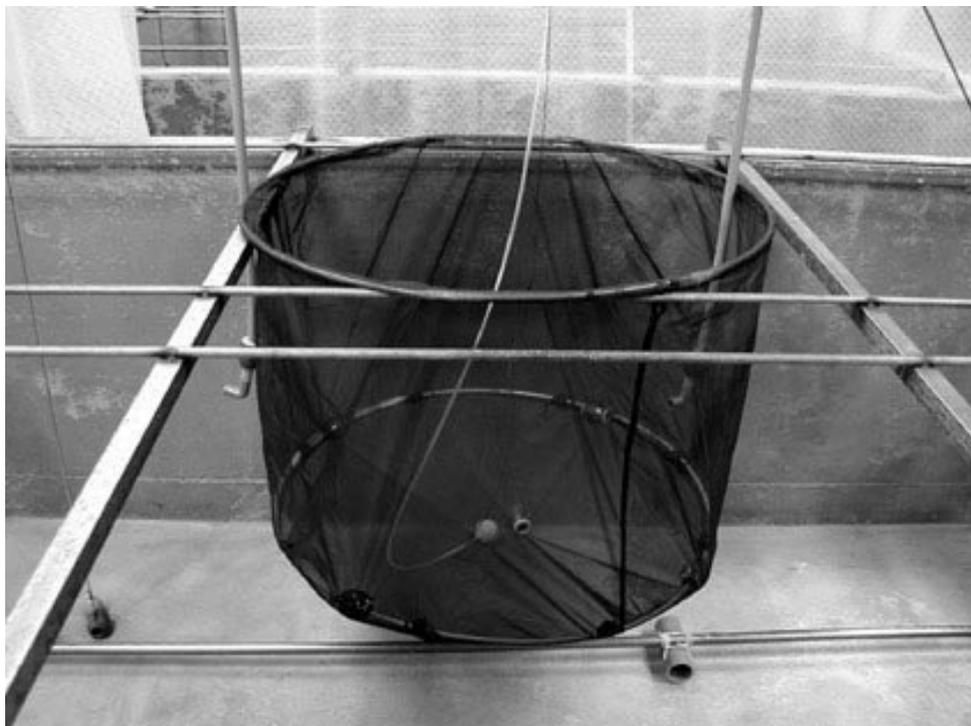


写真4-5. 卵管理に使用されているふ化ネット
(直径90cm×深さ75cm, 実容量0.41kℓ)



写真4-6. 卵管理に使用されているふ化器

表4-5. “ふ化ネット” および “ふ化器” の長所と短所

名 称	実容量 (<i>l</i>)	長 所	短 所
ふ化ネット	410	安価で取り扱いが容易 卵の取り上げが容易 沈下卵の除去が容易	仔魚の取り上げが困難 吹きだまりができやすい 破損しやすい 疾病対策上、水平伝播の 防除に不適
ふ化器	1,000	収容卵数が多い 疾病対策上、水平伝播の 防除に有効 破損しにくい	高価で取り扱いが不便 沈下卵の除去が困難

表4-6. 受精卵の卵管理条件の把握に関する試験に供した卵の性状

採卵月日	総採卵数 (千粒)	浮上卵率 (%)	受精率 (%)	平均値 (μm) \pm SD*	
				卵 径	油球径
1988年3月10日	624.8	98.6	99.2	1038 \pm 21	276 \pm 12
3月21日	486.2	99.2	98.6	1030 \pm 36	278 \pm 9
4月9日	694.7	98.7	99.5	1028 \pm 30	268 \pm 11
4月24日	584.3	97.2	96.3	1032 \pm 28	272 \pm 8
4月28日	602.1	97.0	97.1	1026 \pm 29	269 \pm 13

* SD: 標準偏差.

の可能性がきわめて低い。また、吹きだまりができにくいため卵管理が容易に行えるとともに、熟練すれば卵や仔魚の取り上げも容易に行えるようになる。ただし、ふ化ネットの場合と比較すると、通気と注水を止めても構造上、沈下卵が一箇所に集積しにくく、沈下卵を完全に除去するには長時間を要することが短所として挙げられる。

4-3-2 収容時の物理的条件

産卵親魚の栄養状態や卵質が、卵のふ化や仔魚の発育・生残に大きく影響することは言うまでもない。さらに、卵の取り扱いなどによるハンドリングの影響や卵管理時における種々の要因（通気量、注水量および卵の収容密度）もふ化率に大きな影響を及ぼすと考えられる。本節ではこれらの諸要因がふ化率等に及ぼす影響について検討したので、以下に述べる。

シマアジの卵をふ化ネット（実容量413 *l*）でふ化させる時の最適条件を把握するため、卵管理中の通気量、注水量ならびに卵の収容密度について検討した。併せてこれらの卵管理条件が仔魚に及ぼす影響を把握するため、仔魚膜の欠損異常率を検討した。ふ化直後の仔魚は、頭部を除く魚体全体が仔魚膜によって覆われている。この仔魚膜は成長とともに消失するが、一部は鰭の原基になると考えられている。そこで、この仔魚膜欠損の有無を仔魚の形態異常の指標とし、ふ化直後の仔魚

50尾について実体顕微鏡下で欠損の有無を確認した。

試験には天然魚を養成した親魚から1988年3月10日、同21日、4月3日、同24日および同28日に採卵した卵を供した（表4-6）。通気量および注水量の試験には各採卵月日に得られた卵を25万粒ずつ供した。試験水温は22℃とした。ふ化管理中の通気はふ化ネット内にエアーストン（直径40mm、球形）1個を用いて行い、試験区には約100ml段階で200~2,000ml/分の各通気区を設けた。また、通気自体の卵のふ化に及ぼす影響を検討するため毎回無通気区も併せて設けた。

ふ化管理中のふ化ネット内への注水は、砂ろ過海水を水道用のビニールホース（直径13mm）を用いた。注水量に関する試験区は、毎分3.2 *l*（1時間当たりの換水率50%）、5.2 *l*（80%）、6.5 *l*（100%）、7.8 *l*（120%）、9.8 *l*（150%）および13.0 *l*（200%）の各区を設けた。卵の収容密度は、ふ化ネット当たり10万粒段階で30~200万粒の範囲とした。収容密度に関する試験では、すべての区において通気量と注水量が、後述するような理由でそれぞれ700ml/分および6.5 *l* /分とした。

卵のふ化率に及ぼす通気量の影響を調べた結果、毎分700mlの通気量まで通気量の増加に比例してふ化率の上昇がみられ、それ以上の通気量ではごく僅かながらふ化率が低下する傾向が認められた（図4-2）。なお、無通気区では卵は全くふ化しなかった。仔魚膜の異常率は通気量が1,000ml位までは顕著な変化はなかった。しか

し、1,000ml以上では通気量の増加に伴って高くなる傾向が認められた。これは、強通気によるネットとの接触にともなう仔魚膜の損傷、あるいは強通気そのものによる仔魚膜への物理的影響による結果と考えられた。卵管理中の通気は海水中への溶存酸素の補給とともに、通気によって生じる水流がネット内での卵の分散状態を一様にし、また、ふ化直前の卵のネット底部への堆積を防ぐ効果も期待できる。卵の比重がふ化直前に大きくなり沈下・堆積する現象（「4-3-4 卵比重の変化」の項で後述）は、シマアジだけでなく、ブリ（虫明、1996）ヤマダイ（Tanaka *et al.*, 1991；Kitajima *et al.*, 1993）などの他魚種でも認められているが、その生態学的理由は今のところ不明である。無通気区で示されたような卵の沈下による酸素欠乏死および得られたふ化仔魚の仔魚膜の異常率を考えると、シマアジの卵管理中の最適通気量は700ml/分/413ℓと考えられた。

ネット内への注水量の影響について調べた結果では、毎分6.5ℓ注水（約1時間で100%換水）区で最も高いふ化率が得られた（図4-3）。得られた仔魚の仔魚膜の異常率は、毎分9.8ℓ以上において注水量の増加とともに高くなる傾向が認められた。過剰の注水量は、通気量の場合と同様に、卵およびふ化仔魚への物理的損傷が大きく影響するためにふ化率の低下ならびに仔魚膜の異常率の増加をもたらすものと考えられた。したがって、今回の試験結果から6.5ℓ/分がシマアジ卵管理の最適注水量と考えられた。

これらの結果をもとに、すべての収容密度区で試験期間中の通気量および注水量をそれぞれ700ml/分および6.5ℓ/分とした。卵の収容密度とふ化の関係を調べたところ、1ネット当たり100万粒（242万粒/kl）以下の収容区では90%以上の高いふ化率を示したが、100万粒以上では収容密度の増加に伴ってふ化率が低下した（図4-4）。また、ふ化率に反比例して仔魚膜の異常率が上昇する傾向が認められた。これは、収容密度が高くな

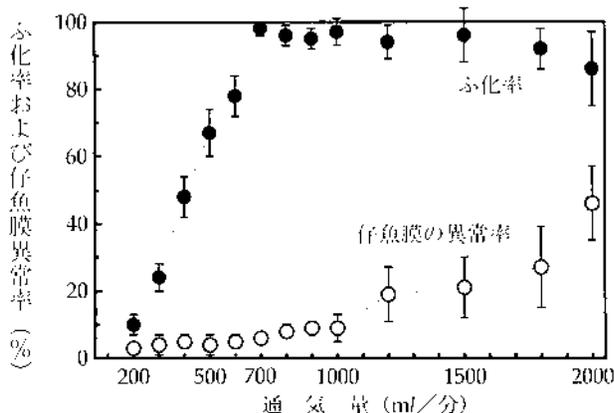


図4-2. ふ化ネット中でのシマアジ受精卵のふ化に及ぼす通気量の影響

図中の縦棒は標準偏差を示す。

ることにより、卵およびふ化仔魚間の距離が小さくなることによる物理的損傷であると考えられた。これらの結果から、シマアジ卵のふ化ネット内でのふ化条件としては、100万粒（約240万粒/kl）が最大収容密度であると考えられる。

4-3-3 水温とふ化時間

4-3-3-1 発生過程の概要

本種の卵発生に関しては、Aタイプのシマアジについての詳細な報告は見当たらないが、Bタイプについては水温約20℃の条件下で観察した村井ら（1987）の詳細な報告がある。本項では、村井ら（1987）の報告に記載されているBタイプのシマアジ卵の発生過程を引用して紹介する（図4-5）。

未分割の受精卵は、真球状を呈する無色透明の分離性浮性卵であり（図4-5 A）、受精卵の平均的重量は0.527 mg/粒と報告されている。卵黄は無色透明で、囲卵腔は大変狭く、卵膜に特殊な構造は見られない。表面にはアジ科魚類に一般に見られる不規則な胞状の亀裂が認められる。受精1時間10分後には2細胞期（図4-5 B）

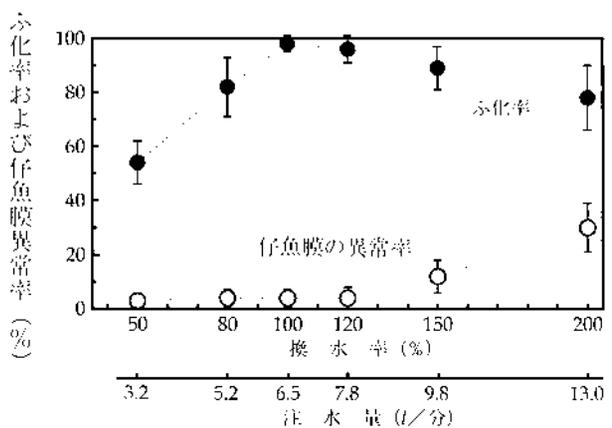


図4-3. ふ化ネット中でのシマアジ受精卵のふ化に及ぼす注水量の影響

図中の縦棒は標準偏差を示す。

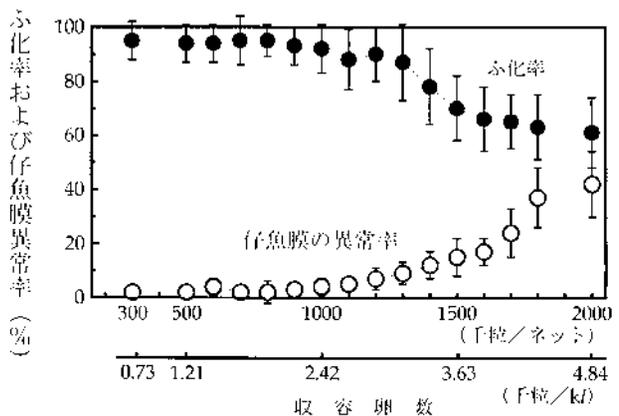


図4-4. ふ化ネット中でのシマアジ受精卵のふ化に及ぼす収容密度の影響

図中の縦棒は標準偏差を示す。

に達し、以後、4細胞期(図4-5C)、8細胞期(図4-5D)、16細胞期(図4-5E)、32細胞期(図4-5F)に達した後に、約4時間後には細胞層が3層の桑実期(図4-5G)となる。その後、細胞層が4層あるいは5層の胞胚期(図4-5H)に達し、その直後から卵黄内に胚盤の突出が始まり(図4-5I)、次第に胚体が形成されていく(図4-5I~N)。受精後24時間経過すると、胚体にメラニン黒色素胞が出現するようになる(図4-5M、N)。ふ化直前(図4-5P)になると、卵黄内で屈曲した胚体が反転しているのがしばしば観察される。

なお、本稿では触れないが、村井ら(1987)の報告ではBタイプのシマアジ仔魚の形態観察結果についても詳細に記載されており、参考までに図4-6に引用した。

4-3-3-2 ふ化時間

魚類の体温は環境水温に応じて変化するため、水温は魚類の全生活史における代謝速度を直接的に支配し、種々の生理生態に大きな影響を及ぼしている(柏木, 1989)。また、受精からふ化までの卵の発生速度は魚種によって異なるが、同一魚種でも水温によって大きく異なることが知られている。さらに、浮性卵ではふ化までの時間が短く、沈性卵や付着卵では長く、水温の上昇に伴いふ化時間は指数関数的に短縮し、この変化はファン

ト・ホッフのQ10則(温度反応速度関係)に従うと言われている(柏木, 1989)。

シマアジ卵のふ化時間については、川辺ら(1991)のBタイプ親魚の卵での報告がある。ふ化時間は、水温18℃で63.4時間、20℃で46.7時間、22℃で35.8時間、24℃で30.0時間および26℃では26.6時間と報告されている(図4-7)。しかし、Aタイプ親魚の卵での詳細な報告はなく、Bタイプのふ化時間よりも若干長く、水温22℃で46~50時間程度を要した。

4-3-4 卵比重の変化

ふ化前に卵が沈下する現象は、シマアジだけでなく、ブリ(虫明, 1996)、スケトウダラ(中谷・前田, 1984)、カタクチイワシ(Tanaka, 1990)およびマダイ(Tanaka *et al.*, 1991; Kitajima *et al.*, 1993)などの海産魚類でも共通に認められている。いずれの報告においても、ふ化前の卵の比重が海水より大きくなることが確認されている。しかし、その生態学的意義は、ふ化時点での食害魚となる小魚の日周行動からの逃避による生き残り戦略という天然海域での再生産機構に関連していると推察されてはいるものの、真の理由は依然と不明である。

シマアジにおいても発生段階により卵の比重が変化

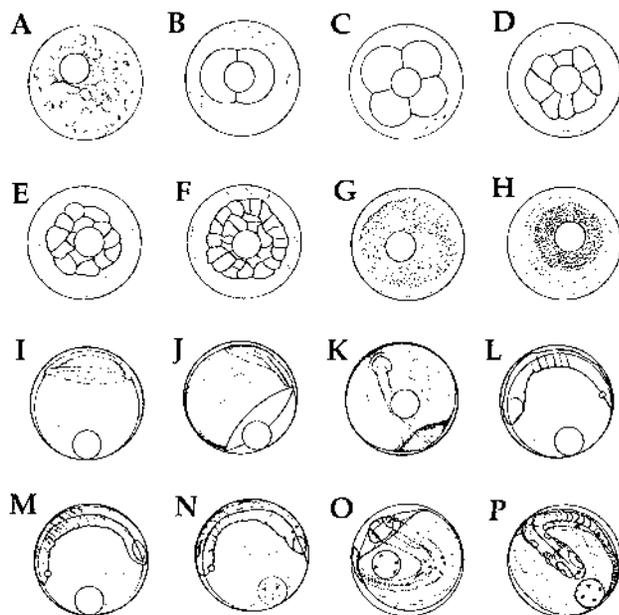


図4-5. シマアジの卵発生(村井ら(1987)より引用)

A: 受精卵, B: 2細胞期, C: 4細胞期, D: 8細胞期, E: 16細胞期, F: 32細胞期, G: 桑実期, H: 胞胚期, I: 養胚期, J: 胚形成期, K: 発眼期, M: メラニン細胞形成期, P: ふ化直前

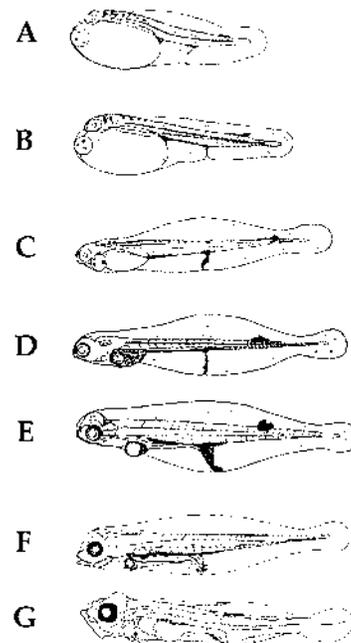


図4-6. シマアジ仔魚の形態変化(村井ら(1987)より引用)

A: ふ化2時間後(全長2.59 mm), B: ふ化6時間後(2.73 mm), C: ふ化1日後(3.13 mm), D: ふ化2日後(3.38 mm), E: ふ化3日後(3.43 mm), F: ふ化4日後(3.61 mm), G: ふ化6日後(3.94 mm)

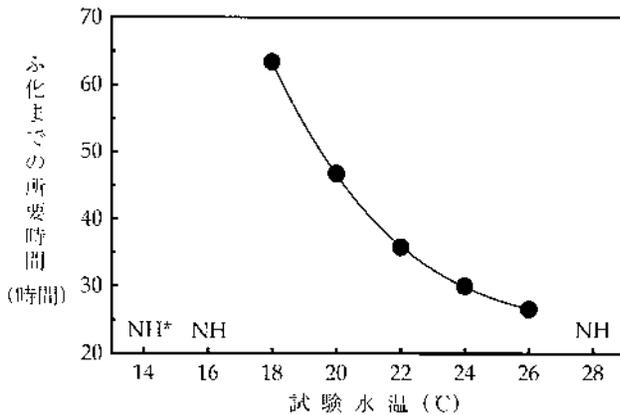


図4-7. シマアジ卵の水温別に見たふ化までの所要時間
*NH: ふ化しなかった
(川辺ら (1991) より引用)

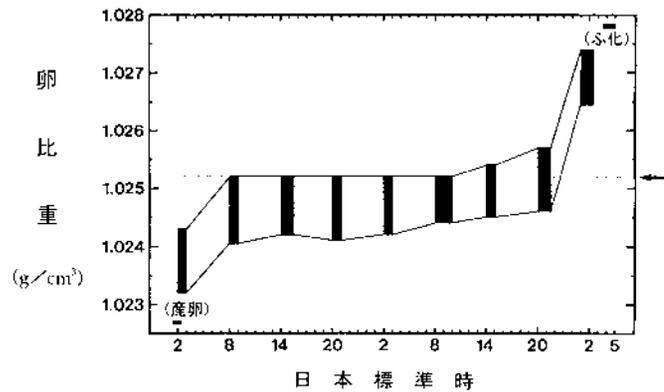


図4-8. シマアジ受精卵の発生段階に伴う卵比重の変動
図中のカラムの高さおよび幅は、それぞれの卵比重の範囲および比重の維持時間を示す。矢印は海水の比重を示す。

し、特にふ化前に卵が沈下する現象は比重の増加に起因していることが確認できたので、その結果を以下に述べる。

試験には、1992年4月8日午前1時20分に産卵を確認した天然養成親魚から採卵した卵の一部を供した。試験に用いた卵のふ化率は87.2%であった。また、供試卵はふ化ネット中では前述のような管理（水温 $22 \pm 0.3^\circ\text{C}$ ）を行った。すなわち、産卵直後に得られた浮上卵50万粒をふ化ネットに収容し、通気量と注水量をそれぞれ700ml/分および6.5 l/分に設定した。ふ化までの間に沈下卵の除去を3回行った。試験には、予め設定した観察時刻に達した段階でガラス製ビーカー（500ml）によってふ化ネットから掬い取った卵を供した。試験の方法は基本的にはTanaka (1990) の方法に準じて行い、1 lのガラス製メスシリンダーにNaClあるいは蒸留水で比重を約0.0004g/ml段階で1.0221~1.0285g/mlに調整した海水（水温 22°C ）を1 l入れた。試験中の水温はウォーターバスで $22 \pm 0.5^\circ\text{C}$ に保持した。次いで、先端を切った駒込ピペット（先端径2.8mm）で各メスシリンダーに50個ずつの卵を収容した。収容後は、卵の上下動の影響をなくするため、10分間静置した。メスシリンダー中ですべての卵が表層に浮上あるいはシリンダーの底に沈下した場合には、その海水の比重が卵の比重のそれぞれ最高あるいは最低とみなした。この操作を親魚が産卵した直後から卵がふ化するまでの間、約6時間おきに計9回実施した。なお、1回の試験当たりの観察時間は約1時間とした。

シマアジ卵の産卵からふ化までの比重の変化を図4-8に示した。産卵直後の卵の比重は、飼育海水の比重（1.0252g/ml）よりも0.001~0.002 g/ml小さく、その後、約30時間目までは海水の比重を上限として次第に大きくなる傾向が見られた。産卵後約36時間を経過すると、卵比重は海水の比重よりも大きくなり始め、この段階でふ化ネット中の卵のうち約2割が底に沈下

し始めた。産卵後48時間を経過した時点の卵の比重は1.0264~1.0274g/mlで最大となり、その1時間後（産卵49時間後）にふ化が始まった。ふ化直前の時点でふ化ネット内の通気および注水を止めると、卵はすべてネット底に沈下した。

この結果から、本種の卵管理を行う場合には、ふ化直前の卵管理条件が重要となり、前述したように適度な通気（700ml/分）と注水（6.5 l/分）を施すことにより、ふ化ネット等の容器内で卵の様な分散を図ることで酸素欠乏等を防ぎ、ふ化率を高めることができると考えられた。

4-4 ふ化仔魚の評価

種苗生産を行う現場では、より健全な種苗を生産することは量産と並ぶ大きな技術開発の目標である。そのためには、まず良質な卵や活力の高いふ化仔魚を得る必要がある。良質な卵は、産卵親魚の栄養状態に影響されるため、優良親魚の養成が重要となってくる。一方、仔魚の活力に関しては、これまでも経験的あるいは感覚的にある程度とらえられてきているものの、活力の評価基準を数値化しない限り、科学的な検討対象とすることは困難である。人工種苗の質の評価に関しては、サケ（中野・白旗, 1988）で魚の成長記録と生体成分の分析や遊泳速度の測定による種苗性の評価、またマダイ（福原, 1974; 慶徳ら, 1985; 福原, 1986; 丸山ら, 1986）では無給餌飼育による仔魚の質の評価および空中乾出や麻酔抵抗性による種苗性の評価について検討がなされている。また、カサゴではふ化仔魚の無給餌飼育（飢餓耐性試験）を行い、その生残尾数と生残日数からSAIを求めて、ふ化仔魚の活力判定の評価指標とすることが提案された（新聞・辻ヶ堂, 1981）。そこで、シマアジにおいてもSAIがふ化仔魚の活力評価に応用可能かを検討した。

4-4-1 無給餌生残指数 (SAI)

ふ化仔魚の飢餓耐性試験は、カサゴ (新聞・辻ヶ堂, 1981) で報告されている方法で行った。

試験容器 試験容器には容量500mlのガラス製ビーカーを用い、これに予め試験水温 (22℃) に調温した砂ろ過海水を200ml入れた。ふ化仔魚の収容は、別のビーカーで前述したふ化容器から無作為に掬い取ったふ化仔魚を可能な限りショックを与えないように30尾ずつ流し込んで収容した。その後、調温海水を加え水量を500mlとした。1回の試験につき必ず2個のビーカーを用いた。試験容器には覆いをせず、屋内の自然光条件下で実験を行った。ハンドリング等の影響を極力少なくするため、換水と通気は全く行わなかった。

観察 ビーカー内の仔魚の観察は毎日ほぼ一定時間に1回行い、死亡魚は計数して除去した。なお、観察は供試魚が全て死亡するまで続けた。

無給餌生残指数 飢餓耐性試験の結果から、新聞・辻ヶ堂 (1981) の次式によりSAIを算出し、平均値をふ化仔魚のSAIとした。

$$SAI = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^k (N - hi)$$

N : 試験開始時のふ化仔魚数, hi : i 日目の累積死亡尾数, k : 生残尾数が0となるまでの日数

4-4-2 SAIによる仔魚の活力評価の可能性

ふ化仔魚のSAIが仔魚の活力評価の指標となり得るかを検討するため、SAIと種苗生産試験結果との照合を試みた。

種苗生産試験は、日本栽培漁業協会上浦事業場 (現水産総合研究センター上浦栽培漁業センター; 以下、上浦栽培センター) で行った。輸送したふ化仔魚をナンクロロプシス ($0.5 \sim 1.0 \times 10^6$ 細胞/ml) を添加した飼育水槽に収容し、以後、仔魚の成長に伴いナンクロロプシス ($1.0 \sim 2.0 \times 10^6$ 細胞/ml)、その後、L型ワムシ、アルテミアノープリウス、天然採集コペポダ、養成アルテミア、配合飼料およびミンチ肉 (アミ類とサバを混合) を給餌した。飼育水温は、収容当初は22℃とし、その後、1℃/日の割合で25℃まで加温し、以後は25℃で安定させた。また、日間換水量はシマアジ仔魚の成長に伴って最大350%まで適宜増加させた。

1988~1992年にかけて行ったシマアジの飼育試験結果とそれぞれの飼育に供したロットのふ化仔魚のSAIを表4-7に示した。なお、1990年にはウイルス性神経壊死症 (後述) の発生により種苗が生産できなかったため表から除外した。ふ化仔魚のSAIが6以下であった4例の生産では、すべての事例で仔魚の死亡率が高く、ふ化後10日目までに飼育を中止せざるを得なかった。一方、ふ化仔魚のSAIが6より高いロットを使用した生産事

例では、30例のうち27例で全長25~30mmの沖出しサイズの種苗を生産することができた。この結果から、SAIはシマアジふ化仔魚の活力を判定する指標として有効であると考えられた (虫明・関谷, 1993)。

今回の試験目的の一つであったシマアジふ化仔魚の活

表4-7. シマアジ仔魚のSAIと種苗生産結果との関係

年	SAI* ¹ の範囲				
	0~6	6~12	12~18	18~24	24~30
1988	0/1* ²		2/2		
1989	0/1		2/3	4/5	1/1
1991	0/2	1/1	7/8		
1992			1/1	7/7	2/2
合計 (成功率)	0/4 (0%)	1/1 (100%)	12/14 (85.7%)	11/12 (91.7%)	3/3 (100%)

*1 無給餌生残指数 (survival activity index)

*2 上浦栽培センターでの種苗生産成功率数が実験回数

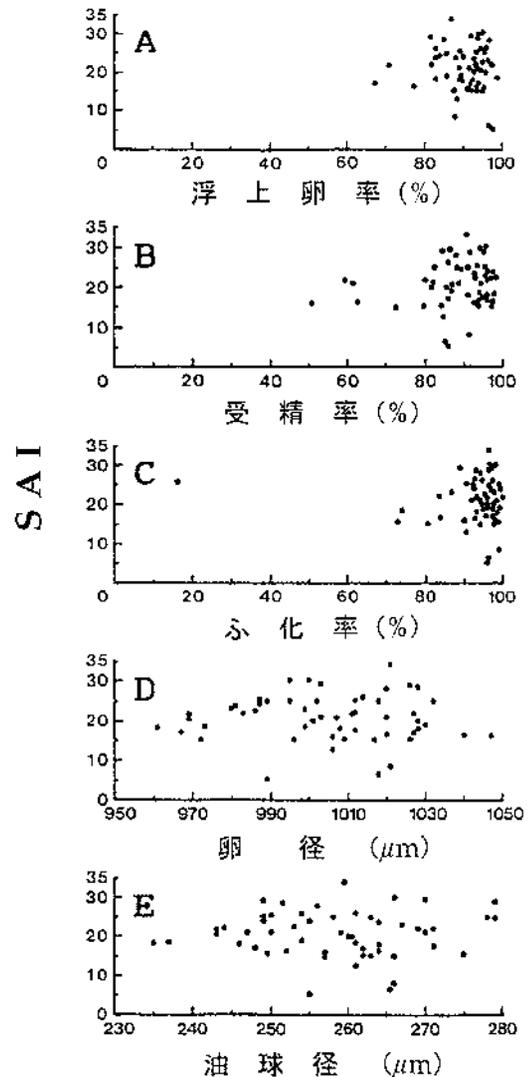


図4-9. シマアジの卵質と仔魚のSAIとの関係

A: 浮上卵率, B: 受精率, C: ふ化率, D: 卵径, E: 油球径

力の数値化には、SAIを使用することによって可能になった。しかし、飢餓耐性試験によるふ化仔魚のSAI算定は、試験結果が判明するまでに1週間前後の期間を要する。そのため、飼育に供する以前にふ化仔魚の活力判定の結果を得ることは難しく、実用的な方法としてはやや問題が残る。そこで、より早い段階でSAIと関連するような判定項目が見出せないかと考え、採卵した段階での卵質との関連性について検討したが、ふ化仔魚のSAIと浮上卵率(図4-9A)、受精率(図4-9B)、ふ化率(図4-9C)、卵径(図4-9D)および油球径(図4-9E)との間には、有意な関連性は認められなかった。

4-4-3 試験条件の検討

飢餓耐性試験の結果には、仔魚のハンドリング操作、仔魚の収容尾数、試験水温、および親魚の産卵条件等が影響を及ぼすと考えられたため、これらの条件別の試験を行った。

4-4-3-1 ハンドリングの影響

試験容器への仔魚の収容時のハンドリング操作がSAIに与える影響を検討するため、無作為に仔魚を掬い取ったピーカーから試験容器へ可能な限りショックを与えないように流し込む方法(流し込み収容法)と先端を切除した駒込ピペット(直径約4mm)で収容する方法(ピペット収容法)を比較した。その結果、いずれの試験においても仔魚のSAIは有意($p < 0.05$)に[流し込み収容法] > [ピペット収容法]となった(図4-10)。これは、ピペット収容法では、掬い取る際に仔魚の体表面を傷つけている可能性があることを示唆した結果と考えられ、本来のSAIを過小評価していると考えられた。

また、仔魚をふ化容器から掬い取る際に、注水と通気を止めた時に浮上する仔魚と沈下する仔魚についてSAIを比較したところ、浮上仔魚は、沈下仔魚よりも常に高いSAIを示した(図4-11)。なお、仔魚が注水と通気によりふ化容器内全体に分散している時の仔魚のSAIは、浮上仔魚と沈下仔魚のほぼ中間にあった。このことから、試験に供する仔魚のSAIを正確に算出するには分散仔魚をサンプリングする必要があると考えられた。

4-4-3-2 収容尾数の影響

海水500ml当たりふ化仔魚を10尾、20尾、30尾、40尾、50尾および100尾の各収容区を設けてSAIを算出した。その結果、10尾から40尾収容した試験区では、SAIに顕著な差は認められなかった。しかし、50尾および100尾収容区では、30尾収容区と比較していずれもSAIが有意に低下し(表4-8)、試験時の仔魚の収容密度が結果に影響を及ぼす大きな要因となり得ることが判明した。多くの海産仔稚魚ではふ化直後から飢餓耐性にはかなりの個体差があることが報告されている(Blaxter and Hempel, 1963; Lasker *et al.*, 1970; Jones, 1972)。したがって、ふ化仔魚の活力の判定に当たって

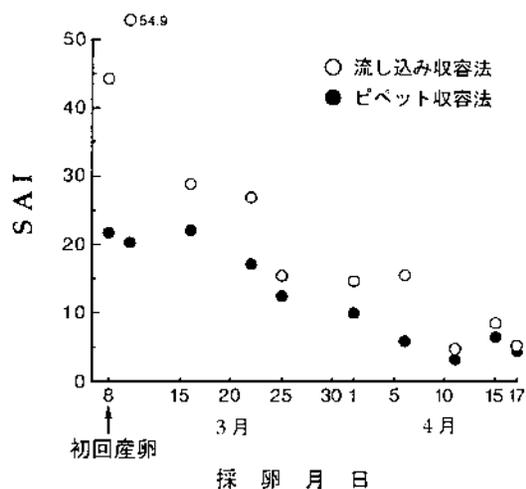


図4-10. シマアジ仔魚のSAIに及ぼすハンドリングの影響

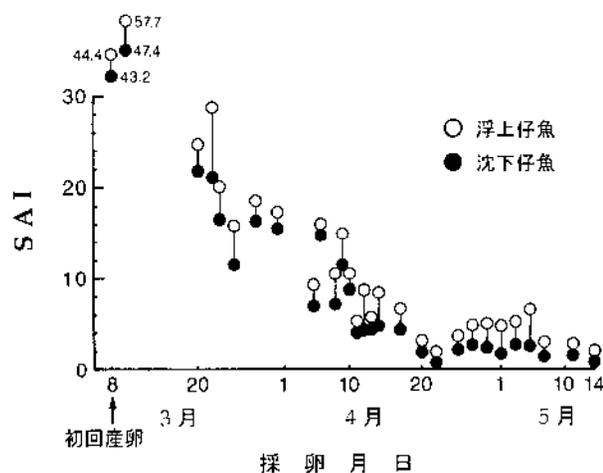


図4-11. シマアジのふ化水槽内(22℃)における浮上仔魚と沈下仔魚のSAIの経験時的変動

は、少数の個体を用いて実験するよりも、より多くの仔魚を用いてロットとしての活力を判定する必要がある。本試験のように500mlの容器を用いた場合、収容尾数が50尾以上になると過密の影響があらわれたことから、シマアジふ化仔魚の飢餓耐性試験では、500ml当たり30尾程度がほぼ適正な収容密度と考えられた。

4-4-3-3 試験水温の影響

SAIによる活力評価では、水温変化がないようにウォーターバスを用いて、19℃、20℃、21℃、22℃、23℃および24℃の各水温区を設定した。本試験では、水温馴致の期間は設けなかった。その結果、水温が低い試験区でSAIが高く、水温が高くなるほどSAIが低くなる傾向が認められた(図4-12)。ここで、試験水温(x, ℃)と水温xにおけるSAI(y)との関係は、

$$y = -1.16x + 48.81 \quad (19 \leq x \leq 24)$$

となり、高い負の相関($r = -0.9982$)が認められた。

試験水温も結果に影響を及ぼす大きな要因である。シマアジのふ化可能な水温は18~26℃(川辺ら, 1991)、

表4-8. シマアジ仔魚のSAIに及ぼす収容密度の影響

親魚群 No.	N* ¹	500 m ³ ビール缶への収容尾数					
		10	20	30	40	50	100
1	8	24.5±6.5* ²	23.8±6.2	23.5±6.2	23.2±6.3	19.9* ³ ±5.0	6.5* ⁴ ±3.0
2	7	26.0±7.4	25.0±6.6	24.0±6.6	23.2±6.5	20.1* ³ ±4.8	7.4* ⁴ ±2.3

- *¹ 水温22℃での試験実施回数.
- *² SAIの平均値±標準偏差.
- *³ 30尾収容区と比較して有意差あり (p<0.05) .
- *⁴ 30尾収容区と比較して有意差あり (p<0.01) .

産卵適水温は20℃前後(村井ら, 1985a)あるいは22℃前後(虫明ら, 1989)とされている。古満目および五島栽培センターでは、これまで主に水温22℃で産卵させ、同水温で卵管理を実施してきたため、試験水温の基準も22℃に設定した。しかし、本実験で示されたように試験水温によりSAIが大きく変動することが明らかになった。今後、各種苗生産機関で行われた仔魚の活力評価結果を比較する際には、水温差によるSAIの補正が必要となる。そのため、今回得られた水温とSAIの直線回帰式から、水温19~24℃で行ったSAIを22℃でのSAIに換算する補正式を考案した。ここで、試験水温をx₁(℃: 19 ≤ x₁ ≤ 24)、水温x₁でのSAIをy₁とすると、水温22℃におけるSAI(y)は、

$$y = y_1 + 1.16(x_1 - 22)$$

により求められる。

4-4-3-4 親魚の産卵条件の影響

親魚の成熟促進手法のうち、加温安定処理と加温変動処理(3-3-2-1)による産卵が、ふ化仔魚のSAIに及ぼす影響について検討した。なお、両産卵誘発方法とも親魚への給餌は毎日1回行った。その結果、産卵親魚の飼育管理水温を22℃に加温して安定させる加温安定処理では、初回産卵後の経過日数とともにSAIは次第に低下した(図4-13A)。一方、水温20℃で飼育し採卵時に22℃に加温する加温変動処理では、産卵期間を通してふ化仔魚のSAIは15以上と高く、産卵後期において

もSAIの低下は見られなかった(図4-13B)。このように、親魚の産卵誘発手法によっても得られたふ化仔魚のSAIに影響を及ぼすことが明らかとなった。

4-4-4 まとめ

シマアジの種苗生産現場では、これまでも親魚の初産後、産卵回数として10回以内の比較的早い産卵時期に得た仔魚のうち、注水と通気を止めた時に水面に浮上してくる仔魚を経験的に比較的良質の仔魚と判断し、以後の飼育に供してきた。今回の試験により、SAIが6より高いふ化仔魚であれば、飼育初期の減耗も比較的少なく、沖出しサイズまで飼育が可能な事例が多いことが確かめられた。また、加温安定処理型の産卵誘発を行った場合、産卵初期にはSAIが高いものの、産卵後期にかけて直線的にSAIが低下する傾向が見られた。さらに、ネット内での浮上仔魚と沈下仔魚では、浮上仔魚の方が明

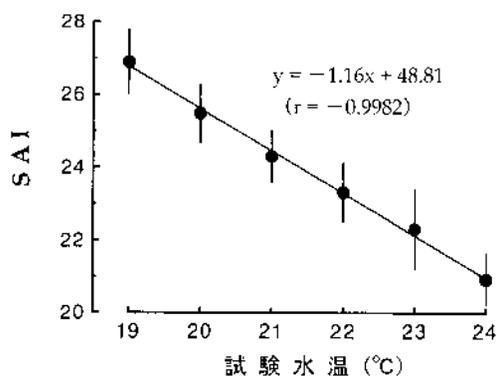


図4-12. シマアジの仔魚のSAIに及ぼす水温の影響
丸印および縦棒はそれぞれ各水温におけるSAIの平均値および標準偏差を示す。

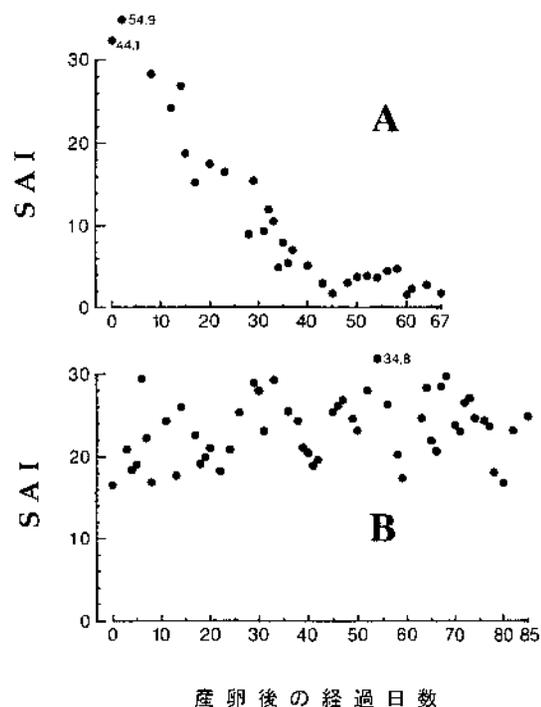


図4-13. 異なる産卵誘発方法で得られたシマアジ仔魚のSAIの比較
A: 加温安定処理(22℃一定)
B: 加温変動処理(20℃⇄22℃)

らかに高いSAIを示した。これらの結果は、これまでの経験的なふ化仔魚の評価方法が妥当なものであったことを裏付け、シマアジにおいてもSAIはふ化仔魚の活力を判定する指標の一つとして有効であると考えられた。また、今後、この指標を利用することによりシマアジの種

苗生産の技術的確立を目指せるものと考えられた。

なお、魚介類のふ化仔魚あるいはふ化幼生の活力指標の一つとしてSAIが有効であることは、本種以外にもブリ（虫明ら，1993a）や甲殻類のアサヒガニ（浜田ら，2002）で報告されている。

5 卵および仔魚の輸送

卵やふ化仔魚を種苗生産水槽に安全に、かつ迅速に収容する技術は、種苗生産対象種を問わず極めて重要な技術である。このような技術は、これまでさほど科学的な検証が行われることなく、どちらかと言うと経験的手法に依存されてきた。シマアジの場合も同様に科学的な裏付けや検証は不十分であるが、本項では関係各機関へ卵やふ化仔魚を安全に輸送する技術について述べる。なお、当初は卵のふ化管理施設を有しない機関への配付もあったため、先ずふ化仔魚の大量輸送を考え、次に、受精卵輸送を実施し、その経緯を記載する。

5-1 ふ化仔魚の輸送

5-1-1 輸送容器

ふ化仔魚の輸送には、ブリでの方法（日本栽培漁業協会，1999b）に準じてビニール袋と輸送水槽の両方を用いて行ってきた。

ビニール袋での輸送には、ウナギの活魚出荷用の袋が適している（写真5-1）。その理由は、海水を入れた時にビニール袋の底面にシワが寄りにくく、輸送中に袋の底部に沈下した仔魚が袋のシワにトラップされず、仔魚の死亡とそれによる水質の悪化を招きにくいためである。ビニール袋にはふ化水温に調温した海水（22℃）を10ℓ入れ（写真5-1）、その中に後述する理由により1袋当り最高2万尾のふ化仔魚を収容し、酸素封入して輪ゴムで梱包する。酸素封入の際に気をつけなければならないことは、海水中の溶存酸素を高めるため、海水中



写真5-1. 輸送用ビニール袋に海水10ℓを入れた状態

に直接酸素を通気することである。このような方法で酸素封入を行うと、遊泳力・抵抗力のないふ化仔魚は、酸素の気泡によって多大な物理的損傷を受け、死亡する事態を招くことになる。そのため、酸素封入の際には、決して海水中で直接酸素通気しないように注意しなければならない。この方法でも、海水中の溶存酸素は48時間後でも過飽和の状態に保たれていることが、これまでの輸送において確かめられている。一方、ビニール袋を用いたふ化仔魚輸送の欠点は、輸送尾数が多くなると人手と手間を要する点にある。酸素封入したビニール袋は、保温を目的として市販の発泡スチロール箱（容量15ℓ）に入れて輸送に供する（写真5-2）。なお、冬季の輸送では、外気温の低下に伴う輸送水温の低下が懸念されるため、スチロール箱の蓋の裏側に市販の使い捨てカイロを貼り付けて水温の低下を防ぐ工夫もなされている（写真5-2参照）。

輸送水槽を用いた輸送には、トラック等に積載されたヒドロタンクと呼ばれるポリエチレン製の水槽（容量0.5～1.2kℓ）（写真5-3）を用いてきた。輸送水槽では、分散器1個で微量（500～800ml/分）の酸素通気を行い、通気量の調整には微量バルブが使用されている。輸送水槽を用いたふ化仔魚輸送の利点は、一度に多くのふ化仔魚を手間もかけずに輸送できることである。しかし、輸送中の揺れによる海水の移動を防ぐためほぼ満水状態にするため、酸素の微通気を行うものの輸送中はほぼ止水状態となり、海水の攪拌は極めて微弱であり、輸送中に大量のふ化仔魚が水槽底部へ沈下した場合には、死亡の増加と急激な水質の悪化を招きやすい。また、水槽底部に沈下した仔魚が生き残った場合でも、活力が著しく低下することが経験的に知られている。

これまで古満栽培目センターでは、多くの関係機関にシマアジふ化仔魚の配付を行ってきた。これらの機関への輸送時間は、配付先との距離により異なるが、概ね3～19時間の範囲であった。また、宅配便の利用や悪天候による航空便の欠航の場合にも、36～39時間の輸送時間を要し、最高で約5℃の水温低下（22℃→17℃）が認められた事例があったが、仔魚が全滅した例はない。

5-1-2 輸送容器への収容

古満目あるいは五島栽培センターで採卵された卵は、ふ化ネット（写真4-5参照）またはふ化器（写真4-6参照）でふ化が完了するまで管理されている。ふ化仔魚を輸送水槽に積み込む前には、沈下卵（卵発生の途中で何らかの要因で発生が停止して沈下した卵）、ふ化後の卵殻および活力不良で沈下したふ化仔魚をサイホンホース



写真5-2. シマアジの受精卵とふ化仔魚輸送に使用されるスチロールの箱とビニール袋（スチロールの蓋の裏側には市販の使い捨てカイロが貼り付けられ、ビニール袋は反転されている）



写真5-3. ふ化仔魚の輸送に使用するポリエチレン製タンク（容量1kℓ）

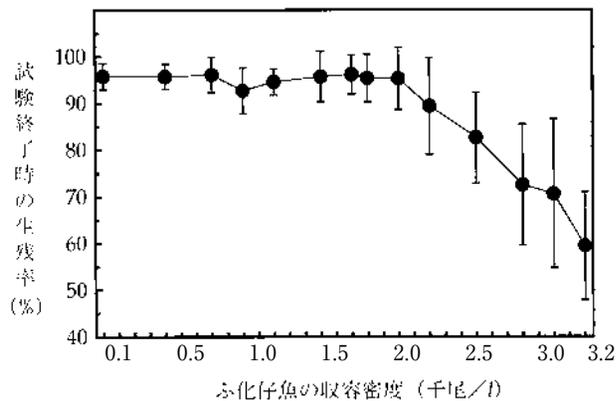


図5-1. シマアジふ化仔魚の輸送模擬試験（試験時間：8時間）における収容密度と試験終了時の生残率との関係

で注意深く除去した。そして、ふ化ネット内あるいはふ化器内で飼育水を減水して仔魚を濃縮した。その後、輸送水槽（容量0.5～1.2kℓ）およびビニール袋（同10ℓ）への収容には、それぞれバケツおよびピーカーを用いて海水ごと掬い取り、予めふ化水温と同じ水温（22℃）に調整した海水で約80%を満たした輸送水槽やビニール袋へゆっくりと注意深く収容した。また、生産したふ化仔魚数に十分な余裕がある場合は、ふ化容器内のエアレーションおよび注水を止めて静置した後、水面に浮上した活力の良好な仔魚のみを掬い取り、輸送水槽へ収容する方法を採用した。本種の仔魚は開口（水温22℃の場合でふ化後3日目）前に沈降する傾向がみられることから、輸送中の水槽やビニール袋底部への沈降・堆積による死亡を防ぐため、輸送は主にふ化後0～1日目に行った。

5-1-3 収容密度と生残率

ビニール袋を利用した輸送で、輸送を8時間とした場合のふ化仔魚の輸送試験を行い、ふ化仔魚の収容密度と試験終了時の生残率との関係について検討した。試験は、古満目栽培センターにおいて、ビニール袋に異なる収容密度でふ化仔魚を収容する方法で行った。さらに、実際の輸送条件とほぼ同じになるように、宅配業者に依頼し、8時間後に再び古満目センターに届くようにした。

その結果、ふ化仔魚の収容密度が2,000尾/ℓまでは生残率は92～96%と良好であったが、2,000尾/ℓ以上になると密度の増加に伴って急激に低下した（図5-1）。このことから、ビニール袋へのふ化仔魚の収容密度は最高2,000尾/ℓ（＝2万尾/袋）と考えられた。

5-1-4 輸送時間と到着時の生残率

これまでに、古満目栽培センターから関係各機関に配付された計36回のふ化仔魚の輸送（いずれもビニール袋での輸送）について、輸送時間と到着時の仔魚の生

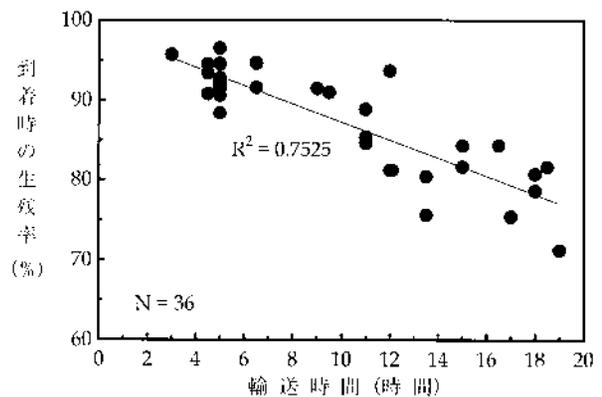


図5-2. ビニール袋を利用したシマアジふ化仔魚の輸送時間と輸送直後の生残率との関係

残率との関係を図5-2に示した。到着時の生残率は、輸送時間が長くなるほど有意に低下（ $R^2 = 0.7525$ ）する傾向がみられた。生残率は輸送時間が6時間以内では88%以上と良好であったが、12時間以上要する場合には80%を下回る事例が見られた。これは、輸送時に活力の低い個体が混在した場合、それらの仔魚が輸送途中で何らかの要因で死亡し、水質を悪化させたためと考えられる。生残率が低かった事例ほど到着時に海水が白濁していたことから、その可能性が裏付けられた。

5-2 受精卵の輸送

5-2-1 輸送時期と輸送容器

卵の輸送もふ化仔魚の輸送と同様に無換水で輸送されるため、輸送途中での卵発生の停止により水質の悪化が生じることがある。このため、輸送容器に沈下卵（発生が停止した卵）の混入を可能な限り防ぐことが重要である。そこで、古満目栽培センターでは、採卵翌日の午前中と輸送水槽に収容する直前に沈下卵の除去を行った。前述（4-3-3-2）したように、Aタイプのシマアジの卵は水温22℃下ではふ化までに受精後46～50時間前後を要し、しかもふ化直前には卵比重の増大による水槽底部への沈下（受精36時間後以降）がみられる（図4-8参照）。また、一般に魚類の卵は受精直後の比較的早い発生段階（桑実期以前；シマアジでは受精6時間後まで）にはハンドリングに対する影響を最も受けやすいことが経験的に知られている。したがって、受精卵を安全に輸送するためには、卵のハンドリングが可能で、かつふ化直前の沈降がみられるまでの時間帯である受精後6時間以降に卵輸送を開始し、同36時間後までには輸送に関するすべての作業を完了させる必要があると考えられた。

輸送容器には、近年ではすべてウナギ用ビニール袋を利用した方法が採られている。これは、ポリエチレン製水槽を利用するよりも安全で、かつ、到着時の取り扱い

が簡便であることによる。また、最近ではふ化仔魚よりも卵での輸送を要望する機関が増えてきている。その理由は、ビニール袋を利用してふ化仔魚を輸送する場合、収容密度は最高2,000尾/ℓ (= 2万尾/袋) であるため、一度に大量のふ化仔魚を輸送するには、箱詰め数が膨大となり輸送コストが高くなるためである。後述(5-2-3)するように、卵輸送ではビニール袋に収容可能な卵数は、ふ化仔魚数の約5倍である。

5-2-2 輸送容器への卵の収容

採卵した卵は、ふ化ネットまたはふ化器に収容してふ化まで管理している。関係各機関への輸送が事前に予定されている卵は、すべてふ化ネットに収容し、卵をビニール袋に収容する際に簡素化を図った。ふ化ネットから取り揚げた卵は、一旦70ℓ容の容器(テタル)に収容し、容器内で弱い通気(100ml/分)を施し、卵が一樣に分散するようにした。ビニール袋には予め22℃に調温した海水を約5ℓ入れ、準備した袋の数にあわせて70ℓ容器から容積法によりできるだけ落差をつけないように収容する。さらに、最終的に海水の容量が10ℓとなるように調温海水(22℃)を満たし、酸素を封入する。

発泡スチロールにビニール袋を収容する際は、ふ化仔魚の輸送と異なる点は、ビニール袋の開口部をスチロール箱の下に向ける(=ビニール袋をひっくり返してスチロール箱に収容する)ことである。これは、シマアジに限らず分離浮性卵全般に有効な手法であることが経験的に知られている。その理由は、ビニール袋の開口部が上にあると、分離浮性卵はビニール袋のシワに入り込んで酸欠状態になる可能性があること、また、輸送条件によって卵どうしの接触で卵膜に損傷を受けることで発生が停止して沈下卵となり、袋の底部に沈下して水質の悪化を招く結果となる。ふ化仔魚ではビニール袋内でやや沈

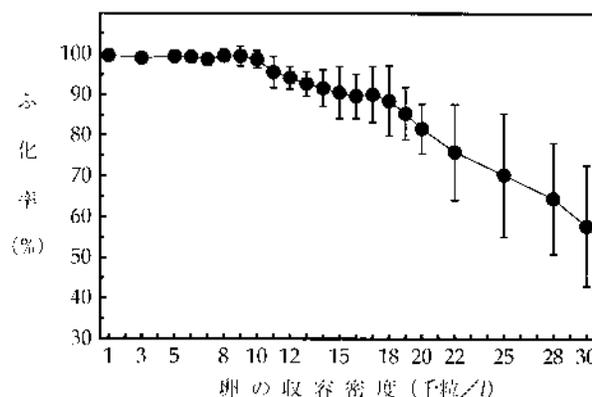


図5-3. シマアジ卵の輸送模擬試験における収容密度とふ化率との関係

下する傾向があるため、開口部を下に向けると底部のシワにトラップされて死亡するケースがある。

なお、卵の取り扱い時期は、受精後6時間以上の桑実期以降の卵が適していることは、「4 卵管理とふ化」の項で示した。

5-2-3 卵の収容密度と生残率

ビニール袋を利用した卵の輸送模擬試験を行った。輸送時間を8時間とし、卵の収容密度とふ化率との関係について検討した。その結果、ふ化率は卵の収容密度が10,000粒/ℓまでは98~100%と高かったが、10,000粒/ℓ以上では密度の増加に伴って急激に低下した(図5-3)。このことから、ビニール袋への卵の収容密度は最高10,000粒/ℓ (= 10万粒/袋)と考えられた。

この方法は、前述(5-2-1)したように卵の沈降が始まる受精後36時間以内であれば、特に大きな問題もなく輸送可能なことから、宅配便や航空便を利用した輸送も可能であり、輸送コストの低減も可能である。ただし、大量の受精卵を輸送する場合には多くの人手と作業時間を要することから、今後工夫する必要がある。

6 疾病対策

親魚の順調な成熟を促進するためには、阻害要因となり得る要素をできるだけ排除することが極めて重要である。特に、親魚の養成過程で疾病が発生した場合は、成熟の阻害や産卵数の著しい低下等の悪影響が懸念される。このため、種苗生産過程だけでなく親魚養成過程においても、疾病防除対策は重要な技術開発課題の一つである。

以下に、シマアジの親魚養成過程における疾病の発生状況および防除方法等について述べる。なお、本種の種苗生産においては、1989年以降VNNが発生し、種苗生産において種苗が全く生産できない（関谷，1992；塩澤，1992），あるいは生産された種苗がウイルスに感染し放流できないなど栽培漁業の推進に大きな被害が発生した（有元ら，1994）。VNNでは、親魚においては原因ウイルスが不顕性感染しているため特徴的な症状や大量死亡等の発病は認められない。しかし、親魚がウイルスを保有していることにより、種苗生産現場においては親魚がVNNの感染源となり、原因ウイルスが卵を介して仔魚に感染することから、防除対策としては親魚管理が重要となる。このため、これまでに開発されたVNNの防除対策についても述べる。

6-1 細菌性疾病

シマアジの親魚養成過程で発生する細菌性疾病としては、これまで重篤な感染症は認められていない。ただし、例数は少ないが、*Photobacterium damsela* subsp. *piscicida* (= *Pasteurella piscicida*) によるパスツレラ症（Nakai *et al.*, 1992）、*Lactococcus garvieae*（Eldar *et al.*, 1996；Teixeira *et al.*, 1996）によるレンサ球菌症、*Vibrio* sp.によるビブリオ病、*Tenacibaculum maritimum*（Bernarrdet *et al.*, 2002）による滑走細菌症が認められたことがある。いずれの細菌性疾病においても、発生後に抗生物質の適正な投薬および薬浴の実施により、治癒効果が認められた。また、養殖シマアジではミコバクテリウム症（楠田ら，1993）も報告されているが、親魚養成過程での発生事例は確認されていない。

6-2 寄生虫性疾病

寄生虫性疾病としては、*Cryptocaryon irritans*による白点病、*Neobenedeniagirellae*によるハダムシ症、*Caligus longipedis*（Ogawa, 1992）による皮膚カリグス症が認められている（表6-1）。

白点病は陸上水槽での養成過程で発生し、五島栽培センターで1987年に発生した事例では、80kℓ水槽に収容していた親魚（2.5～4.0kg）の約半数が一晩のうちに死亡した。この親魚群は約3ヶ月間同一の陸上水槽で養成されていた。この間に*Cryptocaryon irritans*が水槽内で急激に増殖し、親魚に感染したと推定された。このため、翌年から1ヶ月に1回の水槽換えと駆虫を目的としてニフルスチレン酸ナトリウムを添加した淡水への浸漬（以下、薬浴）を行い、本疾病の発生を未然に防止した。ニフルスチレン酸ナトリウムを添加したのは、その後の滑走細菌症の防除をも目的としたためである。白点病の水槽内での蔓延防止には早期発見が有効であり、照度が低下した夕刻に水槽の観察窓を通して親魚の体表面を横から眺め、薄暗い光条件下では虫体が光って見えるという本虫の特性を利用して寄生の有無を観察した。なお、薬浴では成虫はある程度除去できると考えられたが、未成熟虫は完全に除去できなかった。

Neobenedeniagirellae（写真6-1）によるハダムシ症は、五島および古満目両栽培センターとも海面小割生簀での親魚養成期間中に認められ、特に秋期および翌年の春期に寄生数が増加する傾向があった。虫体の発見が遅れ、薬浴等による駆虫作業が遅れると体表が擦れ、患部から細菌の二次感染を受け、最終的には死亡する事例も認められた。対策としては、早期に親魚の体表に寄生した虫体を確認するとともに、薬浴が有効であった。

シマアジの採卵用親魚の養成を行う上で最も頻繁に見られるのが寄生性カイアシ類のカリグス症である（写真6-2）。Ogawa（1992）は、養殖シマアジの体表に寄生するカリグス（写真6-3）を*Caligus longipedis*と同定し、水温21.2℃において約2週間で回転する生活環を有することを報告している。*C. longipedis*の寄生自体が

表6-1. シマアジ親魚の養成過程で認められた寄生虫性疾病

病名	病原体	主な発生時期	主な発生場所	死亡率 (%)	主な対策
白点病	<i>Cryptocaryon irritans</i>	1～3月	陸上水槽	30～60	淡水浴と水槽替え
ネオベネデア症	<i>Neobenedeniagirellae</i>	9～11月	海面小割	5～10	淡水浴と生簀網の交換
カリグス症	<i>Caligus longipedis</i>	9～11月	海面小割	10～30	淡水浴と生簀網の交換



写真6-1. シマアジ親魚の体表に寄生するネオベネデニア
Neobenedenia girellae

直接の原因となってシマアジの大量死亡を引き起こすことはないとしても、宿主がカリグス寄生により魚体を網地等に接触させた結果として生じる体表部の擦れた部位が侵入門戸となり、病原微生物の二次感染が生じる可能性は十分考えられる。五島および古満目栽培センターともその駆虫対策としては、もっぱら海水温と同水温の水道水に十分なエアレーションを施して約5分間の淡水浴を実施してきた。また、カリグス駆除にはブリのハダムシ (*Benedenia seriolae*) 症の駆除対策と同様に過酸化水素 (商品名: マリンサワー) による駆除も有効であると言われているが、五島および古満目栽培センターでは魚体への安全性を考慮して淡水駆除を行ってきた。シマアジが肌擦れに大変弱いことを考え合わせると、従来行ってきたように産卵水槽への収容ならびに沖出しなどのハンドリングを必要とする時に麻酔をかけながら淡水浴を行うのが、親魚への影響を最小限に抑える最も良い方法と考えられた。

なお、いずれの寄生虫症でも、虫体の早期発見および薬浴あるいは淡水浴が重要である。これらの原因虫が著しく寄生すると、親魚の成熟に多大な悪影響が懸念されるため、健全な成熟を促進するためにも定期的な駆虫対策が必要となる。

6-3 ウイルス性疾病

シマアジ親魚の重要なウイルス性疾病としては、イリドウイルス病 (井上ら, 1992; Nakazima and Sorimachi, 1994) と VNN (有元ら, 1994; 室賀ら, 1998) が上げられる。イリドウイルス病は、種苗生産過程での報告はないが、養成している親魚は感受性を有するために注意が必要である。一方、VNNはシマアジの種苗生産過程で最も注意しなければならない疾病である。シマアジのVNNでは、その原因ウイルスであるSJNNV (striped jack nervous necrosis virus; Mori *et al.*, 1992) が親魚



写真6-2. シマアジ親魚の体表に寄生する *Caligus longipedis*

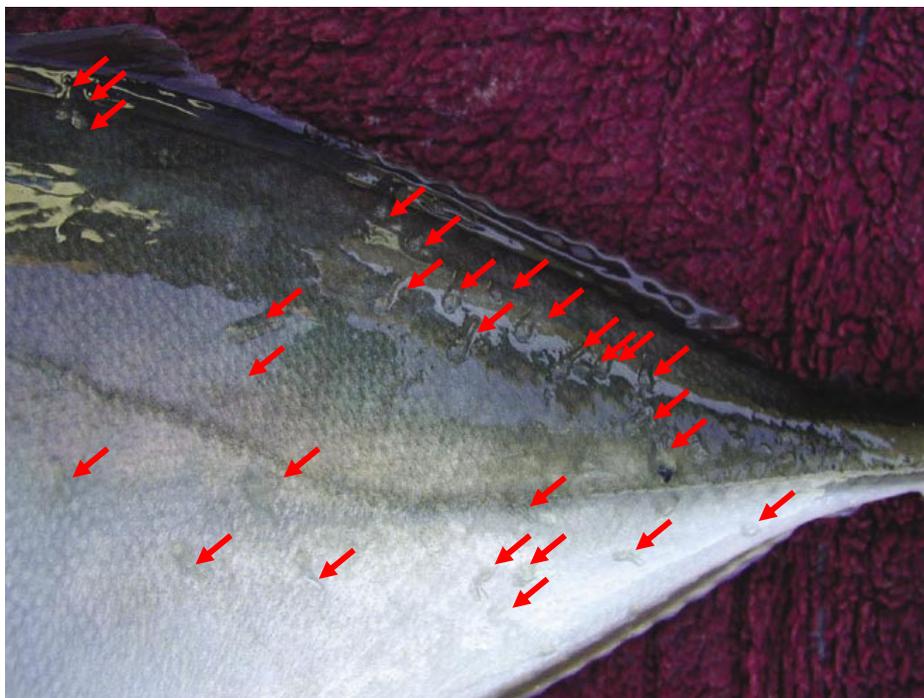


写真6-3. シマアジ親魚の体表に寄生する *Caligus longipedis*
(矢印の先端部分に無色透明の寄生虫が多数寄生している)

に不顕性感染していることもあり、親魚の段階では大きな被害は認められないものの、親魚が保有するウイルスが感染源となり、仔稚魚で大量死亡を引き起こすことになる。このため、シマアジの親魚養成では、VNNが最も留意すべき疾病と位置付けられる。以下にVNN防除対策について述べる。

6-3-1 VNN原因ウイルスと感染経路

養成したシマアジ親魚から得られた卵を用いて種苗生産試験を実施した五島および上浦栽培センターでは、1989年頃より種苗生産過程の初期において仔魚の鰾が膨張し、水面上に浮上して死亡する仔魚が認められ、全滅する種苗生産事例が観察されるようになった（関谷，1992；塩澤，1992）。このようなシマアジ病魚を病理組織学的（長崎大学の協力）およびウイルス学的（京都大学と広島大学との共同研究）に詳細に検討した結果、網膜および脳に細胞壊死・崩壊によると考えられる大型の空胞が形成されている個体が多数認められた（写真6-4）。また、このような病魚を電顕観察すると、脳や網膜の神経幹細胞の細胞質内に直径約25nmのエンベ

ロープをもたない球形をしたおびただしい数のウイルス粒子が観察された（写真6-5）。さらに、病魚から純化したウイルスもしくは病魚の磨砕液を用いた実験感染では、自然発病魚と同様な症状を呈する死亡が再現された（Arimoto *et al.*, 1993）。これらの所見は、先に報告されたイシダイのVNN（Yoshikoshi and Inoue, 1990）と同じであることが明らかにされた。本ウイルスの性状をウイルス学的に詳細に検討した結果、本種はノダウイルス科に属することが明らかにされ、SJNNVと命名された（Mori *et al.*, 1992）。現在では、ベータノダウイルス科に属することが明らかにされている（Regenmortel *et al.*, 2000）。

一般に、ウイルスの伝播様式には垂直伝播と水平伝播とがあり、SJNNVもまたその例外ではない。産卵直前の親魚の卵巣サンプルから酵素抗体法（enzyme linked-immunosorbent assay：ELISA）によりSJNNVが高率に検出されること（Arimoto *et al.*, 1992）、親魚の血漿中から間接ELISAによりSJNNVに対する抗体が高率に検出されること（Mushiake *et al.*, 1992）、親魚の卵巣および精巣サンプルからのポリメラーゼ連鎖反応

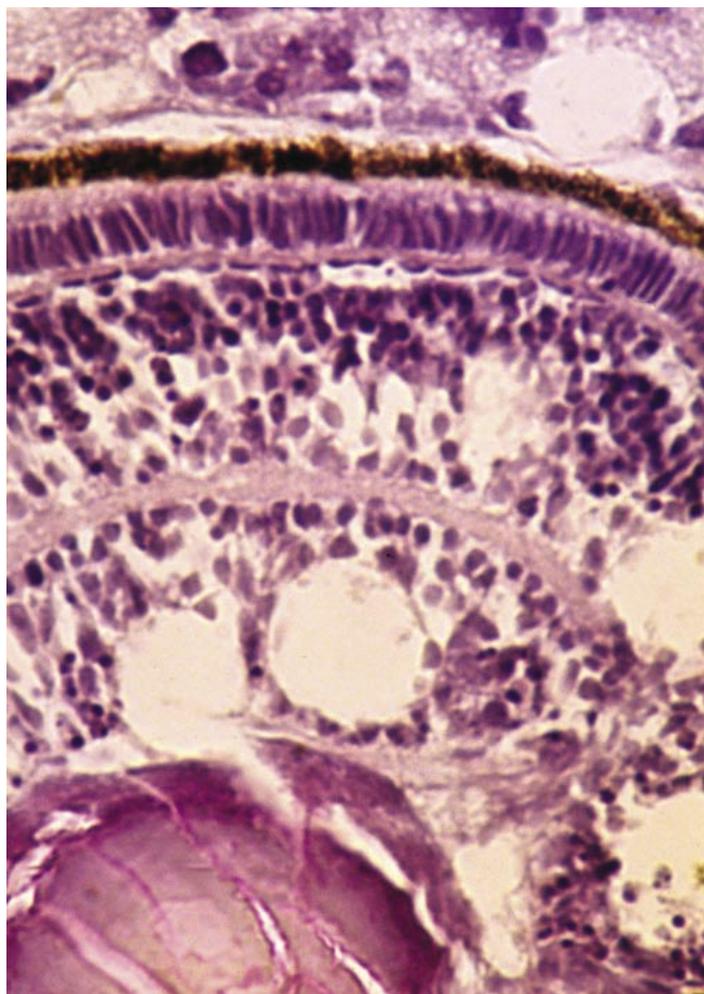


写真6-4. VNNが発症したシマアジ仔魚の網膜に形成された空胞変性(HE染色)



写真6-5. シマアジ仔魚の網膜に感染したSJNNV*の電子顕微鏡写真

*SJNNV (striped jack nervous necrosis virus) は、大きさ約25nmの正20面体でエンベロープを持たず、分類学的にはベータノダウイルスに属する。

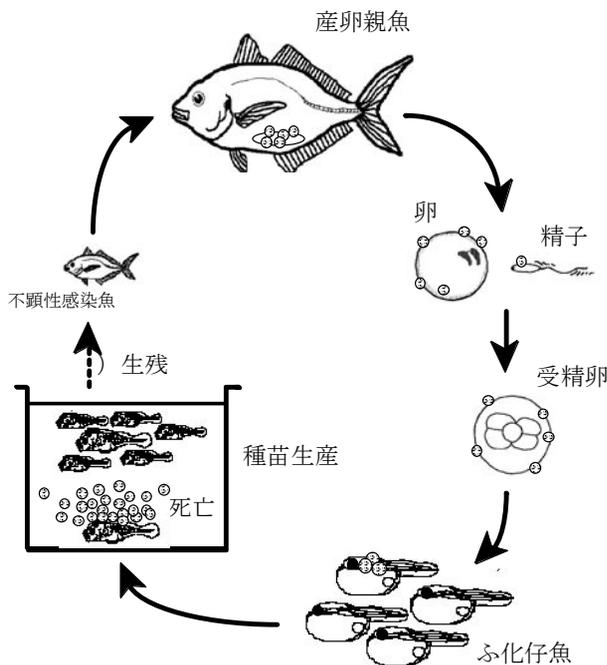


図6-1. SJNNV の感染環の模式図
図中の●は SJNNV を示す

(polymerase chain reaction : PCR) 法 (Nishizawa *et al.*, 1994) による SJNNV の検出結果とそれらの親魚から得られた仔魚における検出結果との間に相関性が認められること (Mushiake *et al.*, 1994) から、SJNNV が親魚から受精卵を介して仔魚に垂直伝播することの確実な証拠が得られている (図6-1) (有元, 1996)。

ウイルスに感染した仔魚では、SJNNV が生体内で急

速に増殖して網膜および脳に細胞壊死・崩壊によると考えられる大型空胞の形成を呈して死亡する。その結果、死亡魚からおびただしい数のウイルス粒子が種苗生産水槽等の飼育水中に放出され、健康な仔魚への水平伝播が繰り返され、瞬く間に同一水槽中の仔魚に大量の死亡が発生する。シマアジの場合には仔魚期でほとんどが全滅に至るが、まれに VNN 発生後にも生残する個体が出現する。このような種苗 (= 感染耐過魚) を親魚に養成して採卵試験等に用いれば、VNN が発生する確率が極めて高くなることが容易に推察できる (図6-1)。これを防除する観点からも、また、生産された種苗の遺伝的多様性を保持する観点からも、SJNNV の感染歴がほとんどないと考えられる天然稚魚を親魚候補群として養成すべきである。

6-3-2 診断方法

シマアジでは親魚が本病の感染源となっていることから、採卵するに当たり親魚の選別が VNN 防除の有効な対策の一つであることが判明している (Mushiake *et al.*, 1994a ; Mori *et al.*, 1998 ; 虫明・有元, 2000)。親魚の選別では、親魚を個体識別し生かしたまま検査する必要があること、微量のサンプルで検査可能なこと、および不顕性感染している微量のウイルスを高感度で検出可能なことが必要条件である。現段階では不顕性感染している親魚からの微量の SJNNV を検出するのに最も適した検出方法として、種苗生産現場においても PCR 法 (Nishizawa *et al.*, 1994 ; 森ら, 2001^{*8}) を用いて、親

*8 森 広一郎・西岡豊弘・有元 操・中井敏博 (2001) : 魚類ノダウイルスの PCR 検出系の再検討。平成13年度日本魚病学会春季大会講演要旨集, 41.

魚の生殖腺からSJNNV遺伝子の検出が行われ、その検査結果に基づいて親魚の選別が行われている。

仔稚魚期における診断方法としても、一般的にはPCR法が用いられているが、この方法では確定診断の方法としては不十分である。PCR法は本来微量のウイルスを検出する方法であるため、PCR陽性であっても死亡原因がVNNであるとは限らず、死亡原因となっている本来の病原微生物を見落とす可能性もある。実際にヒラメでは、PCR法でVNNと診断された個体にビルナウイルスが混合感染していた報告もある (Nguyen *et al.*, 1994)。そのため、仔稚魚を死亡させるほど体内でSJNNVが増殖している場合の確定診断の方法としては、やはり前出の抗原抗体法を利用した間接ELISA、蛍光抗体法 (Nguyen *et al.*, 1996)、電子顕微鏡によるウイルス増殖の確認、培養細胞を用いたウイルス分離 (Frerichs *et al.*, 1996; Iwamoto *et al.*, 1999, 2000)、あるいは病理組織学的所見に基づいた診断が必要となる。PCR法は検出感度が高いため、この方法で死亡原因を推定する場合には、検体からの核酸抽出の操作と標的増幅産物の有無を確認する結果判定において、かなりの熟練が必要とされる。PCR法での擬陽性等の判定結果に基づいて、実際にはPCR陰性の大量の種苗を処分してしまうような危険性を避けるためにも、検査対象を十分に考慮するとともに、PCR法自体の使用目的を十分に認識した上で検査を実施しなければならない。

6-3-3 防除対策

本稿においては、これまでに開発されたシマアジのVNN防除対策について、SJNNVの垂直伝播および水平伝播の防除対策、ならびに防除のための親魚の飼育管理の重要性について述べる。

6-3-3-1 垂直伝播の防除

シマアジのVNNでは産卵親魚が主たる感染源であることから、間接ELISAによる親魚血清中のSJNNVに対する抗体検出およびPCR法による親魚の卵巣および精巣からのウイルス検出を行い、これらの検出結果に基づいてウイルスフリーの親魚を選別し、産卵させることが重要と考えられる。現在では、微量なウイルス遺伝子を検出できるPCR法の利点を活かして、カニューレを用いて産卵直前の親魚生殖腺の一部を調べることにより、ウイルスフリーの親魚の選別が実施されている。

また、親魚の選別を行ったとしても、PCR法でさえも検出されないようなごく微量のSJNNVに受精卵が汚染されている可能性もある。このような場合のVNNの防除対策としては、受精卵の消毒も重要な意味を持つ (Mori *et al.*, 1998; 虫明・有元, 2000)。このため、オゾン処理海水あるいはヨード剤を用いた卵消毒が有効である (Arimoto *et al.*, 1996)。オゾン海水による受精卵消毒では、残留オキシダント濃度が0.5ppmで1分間の

作用であれば、卵のふ化率に影響を及ぼさずに消毒可能であり、実際にシマアジの種苗生産現場でもこの方法を用いて卵の消毒が行われている (Mori *et al.*, 1998; 虫明・有元, 2000)。

6-3-3-2 水平伝播の防除

SJNNVは、シマアジでは仔魚期に極めて病原性が高く、容易に感染魚から健康魚への水平感染が起こることが報告されている (Arimoto *et al.*, 1993)。したがって、種苗生産現場ではSJNNVの水平伝播の防除も重要な対策である。種苗生産前あるいはVNNが発生した直後の水槽および器具については、表6-2に示すようなSJNNVの不活化に有効な消毒剤 (Arimoto *et al.*, 1996) を用いて消毒を実施する必要がある。また、常日頃から飼育施設内の衛生管理に努めるとともに、種苗生産水槽ごとに飼育器具を使い分けることも必要である。さらに、種苗生産を実施している施設が面している地先海面のウイルスのポテンシャルを上昇させず、効率的に海面のウイルス汚染を防除するためには、飼育用水あるいは排水の殺菌処理も本病の対策として欠かさざるものと考えられる。特に、陸上水槽でVNNが発生した直後の飼育排水は、完全に消毒を行った後に放流する必要がある。

表6-2. 各種薬剤等のSJNNVに対する不活化濃度

薬剤等の名称	有効濃度 ($\mu\text{g/ml}$)	作用時間 (分)
次亜塩素酸カルシウム	50	10
塩化ベンザルコニウム	50	10
ヨード剤	50	10
逆性石鹼	10,000	10
熱	60 °C	10
pH	12	10
紫外線	410 $\mu\text{g/cm}^2$	4
オゾン	0.1 (残留オキシダント)	2.5

6-3-3-3 親魚の飼育管理

親魚養成過程では、さまざまな飼育要因が親魚にストレス負荷をかけている可能性がある。シマアジにおいては、親魚が水槽内で産卵を繰り返すことによって、産卵当初はPCR法でもウイルス陰性であった個体が産卵末期にはPCR陽性に転じる事例が認められた。これは、「3-2-4 産卵期間中の血液性状の変化」の項で前述したように、多回産卵が親魚のストレスサー (= 血液中のストレスホルモンであるコルチゾールの有意な上昇により証明されている) となり、親魚にストレスが負荷された結果、体内に不顕性感染しているSJNNVの増殖が誘発され、親魚体内でウイルスが増殖し、ひいては卵を介して仔魚に感染すると考えられている (虫明ら, 1993b; Mushiake *et al.*, 1994a)。そのため、一シーズン中の一産卵群の産卵回数を10回程度に留めることも一つの防除対策になり得ることが示されている (Mushiake *et al.*, 1994a; 虫明・有元, 2000)。

また、「2-2-3 収容密度」や「3-3-1 ホルモン処理」の項で述べたように、産卵期間中のシマアジ親魚に対してストレスとなり得る要因としては、多回産卵の他に産卵誘発時の水槽への親魚の収容密度やHCG注射も報告されている（虫明，2000）。これらの要

因以外にも、産卵期間中の給餌方法（餌の種類や給餌頻度）、水槽内の水質環境あるいは親魚の体力を高めるような飼餌料への有効な添加物質や免疫賦活剤等の飼育に関する要因と親魚体内のウイルスの増減との関連についても、今後、検討の余地が残されている。

7 残された課題

7-1 遺伝子の多様性を考慮した採卵用親魚の確保

1992年の地球サミットにおいて生物多様性保全条約が採択され、「野生集団の遺伝的多様性の保全」や調査手段としての「高感度DNAマーカーの開発」の重要性が強調されている。一方、わが国でも1999年に持続的養殖生産確保法が制定され、「養殖水産動植物の伝染性疾病の発生およびまん延を助長する要因の除去またはその影響の緩和を図る」と規定されている。今後、「責任ある栽培漁業」を積極的に推進する上で、これらの指摘事項に十分に配慮した親魚養成あるいは種苗生産開発が必要とされている。それを実践するためには、栽培漁業ではその基点となる親魚養成に供する親魚群の由来が大きな意味を持つことになる。同時に、限られたスペースで産卵させることから収容可能な親魚尾数も限られることとなるため、産卵に関与・貢献する親魚の割合を高める手法の開発も重要な意味を持つ。

親魚の由来に関しては、上記の観点から本稿で取り扱ったシマアジだけでなく他の魚類においても、近年、水研センターの栽培漁業センターでは天然未成魚あるいは成魚を親魚に養成する手法が採用されており、人工生産魚を親魚に養成している事例はない。また、親魚の産卵貢献率を高める手法として、環境条件の制御により親魚の成熟を同調させる手法や成熟段階に同調性が見られる親魚を選択して産卵試験に供する手法が試みられている。実際にブリでは、成熟段階に同調性が見られた親魚を選別して産卵させることにより、DNAマーカーを用いた親子鑑定手法を用いて雌雄とも親魚の約8割が産卵に貢献していたことを証明した報告もある（長倉ら、2003）。今後、魚種ごとのDNAマーカーが開発されれば、この種の証明も数段進歩すると考えられる。いずれにせよ、生産された人工種苗によって天然資源の遺伝的多様性が攪乱されることはあってはならないことであり、それを防除する手法の開発は極めて重要な課題といえる。

7-2 ウイルスフリー親魚の養成技術の開発

親魚養成過程における疾病、特にウイルス性疾病の防除を考慮した親魚養成手法の確立が重要な課題として残されている。ウイルスの感染経路には垂直伝播と水平伝播とがあるが、親魚養成過程において特に問題視されるのは垂直伝播である。その理由は、魚類でもウイルスが卵を介して親魚から仔魚へ伝播するが、親魚自体が感

染源になり得る可能性が高いことと、江草（1994）が指摘しているように、魚類では雌1尾の産卵数は鳥類や昆虫類に比べてはるかに多いため、垂直伝播が起こる確率は概して低い。しかし、ふ化後に濃密な集団で飼育され、なおかつ、水という水平伝播が起こりやすい環境も助長してごく一部の個体にも垂直伝播による疾病が発生すると、たちまち蔓延し、飼育過程において甚大な被害を及ぼす結果を招くことである。したがって、垂直伝播の防除は鳥類や昆虫類に比べてずっと重要な問題であると報告されている（江草、1994）。

ウイルス性疾患には、細菌性疾患のように化学療法剤や抗生物質が効かないだけに、疾病の蔓延を防除するには、その感染環を遮断する以外に方法はない。そのため、いかに親魚にストレス負荷をかけず親魚体内でウイルスを増殖させないような飼育管理手法の重要性が、シマアジVNNの防除対策（虫明ら、1993b；Mushiake *et al.*, 1994a；虫明・有元、2000）やクルマエビの急性ウイルス血症（Inouye *et al.*, 1996）の防除対策（Mushiake *et al.*, 1999；Satoh *et al.*, 2001）において報告されている。親魚に過度のストレス負荷をかけて体内でウイルスを増殖させることは、種苗生産過程における疾病発生の危険率を大きく増大させる誘因となり、ひいては種苗生産現場全体のウイルスのポテンシャルを上昇させ、壊滅的な被害をもたらすことにもなりかねないので、十分な配慮が必要である。

7-3 親魚の個体別データ管理

これまで本稿で述べてきたように、シマアジ親魚からはホルモン処理や加温制御処理等により、計画的に採卵可能な技術が開発された。しかし、技術的にあるいは方法論的には確立されてはきているものの、養成親魚から安定した採卵技術の確立を目指す上では、やはり産卵リズム等の解明が必要になるであろう。また、将来的にはシマアジ親魚に限らず合理的かつ効率的な親魚養成技術を確立するためには、親魚の養成過程における飼育経過や産卵試験における採卵結果等のデータをピット・タグ（Identification Devices Inc.）等により、親魚の個体別データ管理を図る必要があるだろう。そのため、親魚の養成あるいは産卵に関する履歴のデータの引き出しを容易に行うためにも、コンピューターによるデータベースでの管理が必要である。

7-4 親魚用配合飼料の開発

親魚に給餌する適正飼料の開発は、親魚養成、特に

成熟および産卵に直接的に関わる重要な課題である。そう言った意味では、栄養学は他のいかなる基礎的分野の中でも最も重要な分野と位置付けられる。これまで栽培漁業対象魚種の親魚養成では、どちらかと言うと飼餌料の問題は軽んじられ、生理学的な研究開発あるいはそれを応用した技術開発が繰り返されてきた感がある。親魚の餌料には、比較的容易に入手できる冷凍生餌が給餌され、必要に応じて適宜総合ビタミン剤などが添加されてきた。しかし、本来であれば対象魚種ごとの栄養要求に見合った餌料が給餌されるべきであるが、それさえも無視した給餌が行われてきた事実は否定できない。親魚からは、その後の種苗生産に供する卵が大量に確保できればよいといった安易な考えが、親魚養成技術の進展を遅滞させた最大の原因であったと言える。

栽培漁業対象種における親魚飼餌料の開発は、端緒についたばかりの現状である。本報で述べたシマアジにしても、成熟および産卵に十分に効果があると判断される配合飼料が開発されている訳ではない。親魚用配合飼料の技術開発では、本種よりも進んでいるブリにおいてさえも、一度は市販の配合飼料を用いることで解決されたが（虫明ら、1995）、その後、この配合飼料が急遽製造中止になったことから、再び配合飼料の開発が必要となり、現段階では開発の途中段階にある。今後、親魚用配合飼料の開発に本格的に取り組み、この問題を解決しない限り、健全な優良親魚からの安定した採卵技術の進展

はないと言っても過言ではない。親魚養成における適正飼餌料の開発に関する課題は、最初にして最後の課題とも言える。成熟や産卵に有効と考えられる物質を添加する際にも、むやみに添加さえすれば事足りるというものではない。添加する栄養素は、常にリーベツヒの最小則によって、栄養素のバランスの良否として決定されていることを忘れてはならない。

7-5 種苗生産コストの低減

本稿で述べたシマアジの親魚養成や採卵技術は、放流用の人工種苗を生産するための技術である。生産された種苗はやがて海に放流され回収される段階において、放流効果としての経済効率が議論される。シマアジの放流用種苗を生産する上で親魚養成および採卵に関わるコストが占めるウエイトは、陸上水槽での飼育管理維持費のほか、親魚候補群の運搬・搬入費、小割網の交換等の海面作業に関わる人件費および飼餌料の購入費に要する経済的比率がかなり大きなものとなり、これによって放流種苗の生産単価が大きく左右されると考えられる。本報においては、飼餌料の購入費以外にはこの点について特に言及しなかったが、今後、シマアジ親魚に限らず、これらの生産コストを考慮した効率的な親魚養成および採卵に関する技術の開発が望まれると考えられる。

8 謝 辞

シマアジの親魚養成技術開発およびVNNの疾病防除技術開発に着手して以来、大変多くの方々にお世話になりました。

親魚の飼餌料の開発に関しては、水産庁養殖研究所（現水産総合研究センター養殖研究所）栄養代謝部の故新井 茂部長ならびに東京水産大学（現東京海洋大学）水族栄養学研究室の渡邊 武教授に、また、親魚の成熟・産卵誘発およびコルチゾールの定量手法等に関しては、水産庁養殖研究所繁殖生理部の廣瀬慶二部長と香川浩彦主任研究官（現宮崎大学教授）に、さらに、ふ化仔魚の活力判定では同栄養代謝部の新間脩子主任研究官に数々のご指導とご助言を賜りました。

VNNが発生した際には、ウイルスの純化、ウイルスの性状把握、抗血清の作製、検出方法の開発等のウイルス学的研究開発で終始ご指導とご助言を賜りました京都大学農学部植物病理学研究室の古澤 巖教授（現福山大学教授）、奥野哲郎助教授（現同研究室教授）、三瀬和之助手（現同研究室助教授）、広島大学生物生産学部水族病理学研究室の室賀清邦教授（現東北大学教授）、中井敏博助教授（現同研究室教授）ならびに西澤豊彦助手（現北海道大学助教授）に懇切ご丁寧なご指導と数々の

貴重なご助言を賜りました。また、病理組織では長崎大学水産学部水族生理学研究室の吉越一馬教授にご丁寧なご指導を賜りました。

前日本栽培漁業協会の今村弘二理事長（現全国底曳網漁業連合会会長）、本間昭郎専務理事、浜田義徳専務理事、古澤 徹専務理事（現全国豊かな海づくり推進協会参与）、須田 明常務理事、菅野 尚常務理事、松岡玳良常務理事、故清水 悟常務理事、久保健彦常務理事、松永 繁技術参事ならびに水田洋之介技術部長（現全国豊かな海づくり推進協会調査役）には、本種の技術開発に着手した当初から懇切丁寧なご指導を賜り、終始技術開発の進展を見守って頂くとともに、数々のご便宜を賜って頂きました。

そして、紙面には書き尽くせないほど多くの前日本栽培漁業協会の関係職員ならびに臨時職員の方々に、実際の種苗生産現場において終始一緒に本種の親魚養成およびVNN防除の技術開発に取り組み、各種試験やウイルス検査等の業務にご支援とご協力を頂きました。

稿を終えるに当たり、長年の間、大変世話になりましたこれらの皆様にご心より深くお礼ならびに感謝申し上げます。

9 引用文献

- 有元 操 (1991) : 成体の確保と採卵, ブリ. 日本栽培漁業協会事業年報平成元年度, 27-35.
- 有元 操 (1992) : 成体の確保と採卵, ブリ. 日本栽培漁業協会事業年報平成2年度, 29-33.
- Arimoto, M., K. Mushiake, Y. Mizuta, I. Furusawa, T. Nakai and K. Muroga (1992) : Detection of striped jack nervous necrosis virus (SJNNV) from striped jack by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). *Fish Pathol.*, 27, 191-195.
- Arimoto, M., K. Mori, T. Nakai, K. Muroga and I. Furusawa (1993) : Pathogenicity of the causative agent of viral nervous necrosis disease in striped jack, *Pseudocaranx dentex* (Bloch & Schneider). *J. Fish Dis.*, 16, 461-469.
- 有元 操・丸山敬悟・古澤 巖 (1994) : シマアジのウイルス性神経壊死症の発生状況. 魚病研究, 29, 19-24.
- Arimoto, M., J. Sato, K. Maruyama, G. Mimura and I. Furusawa (1996) : Effect of chemical and physical treatments on the inactivation of striped jack nervous necrosis virus (SJNNV). *Aquaculture*, 143, 15-22.
- 有元 操 (1996) : シマアジのウイルス性神経壊死症に関する研究. 特別研究報告第10号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 52.
- Bernardet, J. -F., Y. Nakagawa and B. Holmes (2002) : Proposed minimal standards for describing new taxa of the family *Flavobacteriaceae* and emended description of the family. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 52, 1049-1070.
- Bieniarz, K. (1973) : Effect of light and darkness on incubation of eggs, length, weight and sexual maturity of sea trout (*Salmo trutta L.*), brook trout (*Salmo trutta fario L.*) and rainbow trout (*Salmo irideus Gibbons*). *Aquaculture*, 2, 299-315.
- Blaxter, J. H. S. and G. Hempel (1963) : The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus L.*). *J. Cons.*, 28, 211-240.
- Breton, B. and R. Billard (1977) : Effects of photoperiod and temperature on plasma gonadotropin and spermatogenesis in the rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 17, 331-340.
- 電源開発株式会社 (1996) : ヒラメ親魚養成試験. 平成7年度温排水利用養殖試験報告書, pp. 4-20.
- 江草周三 (1994) : 総説 魚類における垂直伝播の機序. 魚病研究, 29, 43-52.
- Eldar, A., C. Ghittino, L. Asanta, E. Borretta, M. Gorla, M. Prearo and H. Bercovier (1996) : *Enterococcus seriolicida* is a junior synonym of *Lactococcus garviae*, a causative agent of septicemia and meningoencephalitis in fish. *Curr. Microbiol.*, 32, 85-88.
- Frerichs, G. N., H. D. Rodger and Z. Peric (1996) : Cell culture isolation of piscine neuropathy nodavirus from juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *J. Gen. Virol.*, 77, 2067-2071.
- 福原 修 (1974) : 初期の飢餓がマダイ仔魚の生残り, 成長および発育に及ぼす影響について. 南西水研報, No. 7, 19-29.
- 福原 修 (1986) : 種苗の健全性. マダイの資源培養技術 (田中 克・松宮義晴編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 26-36.
- 福所邦彦・藤村卓也・山本剛史 (1986) : 加温循環式水槽によるマダイの親魚養成と早期採卵. 水産増殖, 34, 69-75.
- Gushiken, S. (1983) : Revision of the caragid fishes of Japan. *Publ. Sesoko Mar. Sci. Cent. Univ. Ryukyus*, 2, 135-364.
- 浜田和久・浜崎活幸・虫明敬一 (2002) : アサヒガニふ化幼生の活力判定の試み. 水産増殖, 50, 79-84.
- 浜田和久・今泉 均・虫明敬一 (2004) : 養成水温と日長の制御によるブリの早期 (12月) 採卵について. 栽培漁業センター技法, 1, 10.
- 原 彰彦 (2001a) : 魚類の卵形成と雌特異蛋白質ピテロジェニン. 化学と生物, 39(1), 29-36.
- 原 彰彦 (2001b) : 魚類卵黄タンパク質前駆物質に関する免疫生化学的研究 (受賞者総説). 日水誌, 67, 405-408.
- 原田輝雄・村田 修・宮下 盛 (1984a) : 養成シマアジの成熟と採卵. 近畿大学水産研究所報告, No. 2, 143-149.
- 原田輝雄・村田 修・宮下 盛 (1984b) : シマアジの人工ふ化飼育. 近畿大学水産研究所報告, No. 2, 151-160.
- 原田輝雄 (1986) : シマアジ養殖の現状と問題点. 養殖, 23(8), 48-51.
- 長谷川 泉 (1986) : シマアジの親魚養成と産卵. 養殖, 23(8), 60-63.
- 日高磐夫・神原 淳 (2002) : 自発摂餌を利用したブリ養殖における給餌量削減システムの開発. 平成13

- 年度養殖場環境改善システム開発調査. 社団法人マリノフォーラム21, 東京, pp. 67-112.
- Hirose, K. (1980) : Effects of repeated injections of human chorionic gonadotropin (HCG) on ovulation and egg qualities in the Ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 46, 813-818.
- 池田弥生・舞田正志 (1993) : 血液による養殖魚の健康診断Ⅱ. 養殖, 30(9), 緑書房, 東京, pp. 106-108.
- 今泉 均・堀田卓朗・河野一利・山崎哲男 (2002) : プリの2月採卵における日長制御方法の改良. 栽培技研, 30, 1-6.
- 井上 潔・山野恵祐・前野幸男・中島員洋・松岡 学・和田有二・反町 稔 (1992) : 養殖マダイのイリドウイルス感染症. 魚病研究, 27, 19-27.
- Inouye, K., K. Yamano, N. Ikeda, T. Kimura, H. Nakano, K. Momoyama, J. Kobayashi and S. Miyajima (1996) : The penaeid rod-shaped DNA virus (PRDV), which causes penaeid acute viremia (PAV). *Fish Pathol.*, 31, 39-45.
- 石原 忠・保田正人・柏木 哲・八木基明 (1974a) : 海産魚のチアミナーゼの研究-V. カタクチイワシによるハマチの栄養性疾患とB1の添加効果(1). 日水誌, 40, 675-682.
- 石原 忠・保田正人・柏木 哲・秋山むつ子・八木基明 (1974b) : 海産魚のチアミナーゼIの研究-IV. カタクチイワシによるハマチの栄養性疾患とB1の添加効果 (2). 日水誌, 40, 775-781.
- 岩本 浩 (1981) : シマアジの養殖. 養殖, 18(1), 74-76.
- Iwamoto, T., K. Mori, M. Arimoto and T. Nakai (1999) : High permissivity of the fish cell line SSN-1 for piscine nodaviruses. *Dis. Aquat. Org.*, 39, 37-47.
- Iwamoto, T., T. Nakai, K. Mori, M. Arimoto and I. Furusawa (2000) : Cloning of the fish cell line SSN-1 for piscine nodaviruses. *Dis. Aquat. Org.*, 43, 81-89.
- Jones, A. (1972) : Studies on egg development and larval rearing of turbot, *Scophthalmus maximus* L., in the laboratory. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 52, 965-986.
- 柏木正章 (1989) : ふ化管理, 魚類の成熟, 発生, 成長とその制御. 水族繁殖学, 緑書房, 東京, pp. 211-230.
- 加藤憲司 (1986) : 小笠原におけるシマアジの自然産卵. 養殖, 23(8), 56-59.
- 加藤憲司・岡村陽一・木村ジョンソン・吉田勝彦 (1990) : 小笠原におけるシマアジの親魚養成と自然産卵. 栽培技研, 18, 83-90.
- 川辺勝俊・村井 衛・加藤憲司・隆島史夫 (1991) : シマアジ卵発生に及ぼす水温の影響. 水産増殖, 39, 211-216.
- 河野一利・虫明敬一・長谷川 泉 (1993) : 成体の確保と採卵, プリ. 日本栽培漁業協会事業年報平成3年度, 19-21.
- 慶徳尚寿・安江 浩・田中 実・花岡絹代・中杉祥子・裏崎憲子 (1985) : タイ類種苗生産1. ふ化仔魚の活力. 広島県栽培漁業協会種苗生産業務報告, No. 4, 6-7.
- Kitajima, C., Y. Yamane, S. Matsui, Y. Kihara and M. Furuichi (1993) : Ontogenetic change in buoyancy in the early stage of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 209-216.
- 楠田理一・井上正彦・杉浦浩義・川合研児 (1993) : 養殖シマアジ病魚から分離されたMycobacterium属細菌の性状. 水産増殖, 41, 125-131.
- Lasker, R., H. M. Feder, G. H. Theilacker and R. C. May (1970) : Feeding, growth, and survival of *Engraulis mordax* larvae reared in the laboratory. *Mar. Biol.*, 5, 345-353.
- MacQuarrie, D. W., J. R. Markert and W. E. Vanstone (1978) : Photoperiod induced off-season spawning of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 18, 1051-1058.
- 丸山敬悟・津村誠一・森岡泰三 (1986) : マダイ種苗の健全性に関する試験-1 粗放の生産魚と集約的の生産魚の比較. 栽培技研, 15, 157-167.
- 益田玲爾・塚本勝己・塩澤 聡・今泉圭之輔 (1993) : 九州および小笠原沿岸におけるシマアジの生態. 栽培技研, 22, 55-65.
- 松本 淳・河野一利 (1985) : シマアジの採卵について. 栽培技研, 14(1), 35-42.
- 松浦修平 (1972) : マダイ卵巣卵の成熟過程と産卵数. 九大農学芸誌, 26, 203-215.
- 松山倫也・松浦修平 (1984) : 琵琶湖産コアユの多回産卵現象. 日水誌, 50, 183-187.
- Matsuyama, M., M. Hamada, T. Ashitani, M. Kashiwagi, T. Iwai, K. Okuzawa, H. Tanaka and H. Kagawa (1993) : Development of LHRH-a copolymer pellet polymerized by ultraviolet and its application for maturation in red sea bream *Pagrus major* during the non-spawning season. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 1361-1369.
- Mazeaud, M. M., F. Mazeaud and E. M. Donaldson (1977) : Primary and secondary effects of stress in fish : some new data with a general review. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 106, 201-212.
- Mori, K., T. Nakai, K. Muroga, M. Arimoto, K.

- Mushiake and I. Furusawa (1992) : Properties of a new virus belonging to Nodaviridae found in larval striped jack (*Pseudocaranx dentex*) with nervous necrosis. *Virology*, 187, 368-371.
- Mori, K., K. Mushiake and M. Arimoto (1998) : Control measures for viral nervous necrosis in striped jack. *Fish Pathol.*, 33, 443-444.
- 毛利明夫 (1994) : シマアジの養殖マニュアル. 魚類養殖対策調査事業, 水産庁監修, pp. 36.
- 村井 衛・青木雄二・西村和久・隆島史夫 (1985a) : 小笠原父島におけるシマアジの親魚養成と採卵. 水産増殖, 33, 82-87.
- 村井 衛・青木雄二・西村和久・隆島史夫 (1985b) : 小笠原父島沿岸域における天然シマアジの性成熟過程と産卵期. 水産増殖, 33, 76-81.
- 村井 衛・加藤憲司・中野 卓・隆島史夫 (1987) : シマアジの卵発生と仔魚の形態学的変化. 水産増殖, 34, 217-226.
- 村井 衛 (1992) : シマアジの人工採苗に関する基礎的・応用的研究. 東京都水産試験場調査研究要報, No. 204, pp. 159.
- 村井 衛・川辺勝俊・隆島史夫 (1992) : シマアジ卵の最適ふ化塩分および水温. 水産増殖, 40, 261-268.
- 室賀清邦・古澤 徹・古澤 巖 (1998) : 総説 シマアジのウイルス性神経壊死症. 水産増殖, 46, 473-480.
- 虫明敬一・河野一利・長谷川 泉 (1989) : シマアジの採卵について - II. 栽培技研, 18, 15-24.
- Mushiake, K., M. Arimoto, T. Furusawa, I. Furusawa, T. Nakai and K. Muroga (1992) : Detection of antibodies against striped jack nervous necrosis virus (SJNNV) from brood stocks of striped jack. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 2351-2356.
- 虫明敬一・関谷幸生 (1993) : シマアジふ化仔魚の活力判定の試み. 水産増殖, 41, 155-160.
- 虫明敬一・藤本 宏・新聞脩子 (1993a) : ブリふ化仔魚の活力判定の試み. 水産増殖, 41, 339 - 344.
- 虫明敬一・中井敏博・室賀清邦・関谷幸生・古澤 巖 (1993b) : シマアジのウイルス性神経壊死症: 仔魚の発病に対する親魚の抗体価および産卵飼育方法の影響. 水産増殖, 41, 327-332.
- 虫明敬一・新井 茂・松本 淳・新聞脩子・長谷川 泉 (1993c) : モイストペレットで飼育した養殖ブリ2年魚の人工採卵. 日水誌, 59, 1721 - 1726.
- Mushiake, K., T. Nishizawa, T. Nakai, I. Furusawa and K. Muroga (1994a) : Control of VNN in striped jack : Selection of spawners based on the detection of SJNNV gene by polymerase chain reaction (PCR). *Fish Pathol.*, 29, 177 - 182.
- Mushiake, K., K. Kawano, W. Sakamoto and I. Hasegawa (1994b) : Effect of extended daylength on ovarian maturation and HCG induced spawning in yellowtail fed moist pellets. *Fisheries Sci.*, 60, 647-651.
- 虫明敬一・河野一利・ウィーラクンピリヤ ウィスー・渡邊 武・長谷川泉 (1995) : 市販ソフトドライベレットを給餌したブリの採卵結果. 日水誌, 61, 540-546.
- 虫明敬一 (1996) : シマアジおよびブリの親魚養成技術の開発に関する研究. 特別研究報告第9号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 62.
- Mushiake, K., K. Kawano, T. Kobayashi and T. Yamasaki (1998) : Advanced spawning in yellowtail, *Seriola quinqueradiata*, by manipulations of the photoperiod and water temperature. *Fisheries Sci.*, 64, 727-731.
- Mushiake, K., K. Shimizu, J. Satoh, K. Mori, M. Arimoto, S. Ohsumi and K. Imaizumi (1999) : Control of penaeid acute viremia (PAV) in *Penaeus japonicus*: Selection of eggs based on the PCR detection of the causative virus (PRDV) from receptaculum seminis of spawned broodstock. *Fish Pathol.*, 34, 203 - 207.
- 虫明敬一 (2000) : シマアジ親魚の産卵に伴って増殖するウイルス性神経壊死症 (VNN) 原因ウイルス (SJNNV) とその抑制対策. 水産増殖, 48, 109-115.
- 虫明敬一・有元 操 (2000) : 総説 シマアジのウイルス性神経壊死症 (VNN) に関する防除対策. 栽培技研, 28, 47-55.
- 虫明敬一・本藤 靖・崎山一孝・浜田和久・堀田卓朗・吉田一範 (2003) : 総説 日本栽培漁業協会における親魚養成技術開発の現状と今後の課題. 栽培技研, 30, 79-100.
- 長倉義智・大原恵理子・中野昌次・高橋 誠・石橋矩久・坂本 崇・岡本信明 (2003) : 親子鑑別によって確かめられたブリ親魚の総参加型の誘発産卵. 栽培技研, 30, 43-47.
- Nakai, T., N. Fujiie, K. Muroga, M. Arimoto, Y. Mizuta and S. Matsuoka (1992) : *Pasteurella piscicida* infection in hatchery-reared juvenile striped jack. *Fish Pathol.*, 27, 103-108.
- Nakajima, K. and M. Sorimachi (1994) : Biological and physico-chemical properties of the iridovirus isolated from cultured red sea bream, *Pagrus major*. *Fish Pathol.*, 29, 29 - 33.
- 中野 広・白旗総一郎 (1988) : サケの健苗性評価について. 日水誌, 54, 1263 - 1269.
- 中谷敏邦・前田辰昭 (1984) : スケトウダラ卵の発生に

- 対する水温の影響およびその浮上速度について. 日水誌, 50, 937-942.
- 奈良谷 徹 (1994) : シマアジ種苗生産の現状. 養殖, 31 (1), 80.
- Nguyen, H. D., T. Mekuchi, K. Imura, T. Nakai, T. Nishizawa and K. Muroga (1994) : Occurrence of viral nervous necrosis (VNN) in hatchery-reared juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Fisheries Sci.*, 60, 551-554.
- Nguyen, H. D., T.vNakai and K. Muroga (1996) : Progression of striped jack nervous necrosis virus (SJNNV) infection in naturally and experimentally infected striped jack *Pseudocaranx dentex* larvae. *Dis. Aquat. Org.*, 24, 99-105.
- 日本栽培漁業協会 (1991) : 平成元年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (1). 特別研究報告 1 号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 86.
- 日本栽培漁業協会 (1992) : 平成 2 年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (2). 特別研究報告 4 号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 118.
- 日本栽培漁業協会 (1993) : 平成 3 年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (3). 特別研究報告 5 号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 157.
- 日本栽培漁業協会 (1995) : 平成 4 年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (4). 特別研究報告 6 号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 98.
- 日本栽培漁業協会 (1996) : 平成 5 年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (5). 特別研究報告 7 号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp.111.
- 日本栽培漁業協会 (1997) : 平成 6 年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (6). 特別研究報告 11 号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 65.
- 日本栽培漁業協会 (1998a) : 平成 7 年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (7). 特別研究報告 12 号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 75.
- 日本栽培漁業協会 (1998b) : 平成 8 年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (8). 特別研究報告 13 号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 59.
- 日本栽培漁業協会 (1999a) : 平成 9 年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (9). 特別研究報告 14 号, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 50.
- 日本栽培漁業協会 (1999b) : プリの親魚養成技術開発. 栽培漁業技術シリーズ 5, 日本栽培漁業協会, 東京, pp. 72.
- Nishizawa, T., K. Mori, T. Nakai, I. Furusawa and K. Muroga (1994) : Polymerase chain reaction (PCR) amplification of RNA of striped jack nervous necrosis virus (SJNNV). *Dis. Aquat. Org.*, 18, 103-107.
- Ogawa, K. (1992) : *Caligus longipedis* infection of cultured striped jack, *Pseudocaranx dentex* (Teleostei : Carangidae) in Japan. *Fish Pathol.*, 27, 197-205.
- 奥村重信・栄 健次 (1993) : ムシガレイにおける LHRH - a コレステロールペレットの成熟促進効果. 水産増殖, 41, 13-18.
- Peters, G., M. Faisal, T. Lang and I. Ahmend (1988) : Stress caused by social interaction and its effect on susceptibility to *Aeromonas hydrophila* infection in rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Dis. Aquat. Org.*, 4, 83-89.
- Regenmortel, M. H. V. ven, C. M. Fauquet, D. H. L. Bishop, E. B. Carstens, M. K. Estes, S. M. Lemon, J. Maniloff, M. A. Mayo, D. J. McGeoch, C. R. Pringle and R. B. Wickner (2000) : 7th report of the International Committee on Taxonomy of Viruses "Virus Taxonomy". *Virology Division, International Union of Microbiological Societies*, 3, 747-755.
- 坂口宏海・竹田文弥・丹下勝義 (1969) : ハマチのビタミン要求に関する研究 - I. B₆ および C 欠乏症について. 日水誌, 35, 1201-1206.
- 坂口宏海・浜口 章 (1969) : 酸化油添加飼料によるハマチの飼育とビタミン E 添加の効果. 日水誌, 35, 1207-1214.
- Satoh, J., K. Mushiake, K. Mori, M. Arimoto and K. Imaizumi (2001) : Control of penaeid acute viremia (PAV) in seed production of *Penaeus japonicus*. *Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult.*, Suppl. 5, 95-99.
- 関谷幸生 (1992) : シマアジの種苗生産技術の開発. 平成 2 年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (2). 日本栽培漁業協会, pp. 10-14.
- 椎原 宏・稗田賢治 (1980) : 大分県におけるシマアジの養殖. 養殖, 17(3), 44-47.
- 新聞脩子・辻ヶ堂 諦 (1981) : カサゴ親魚の生化学的性状と仔魚の活力について. 養殖研報, No. 2, 11-20.
- 塩澤 聡 (1992) : シマアジの種苗生産技術の開発. 平成 2 年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (2). 日本栽培漁業協会, pp. 15-16.
- 立原一憲・蛭子亮制・塚島康生 (1993) : カンパチの産卵, 卵内発生および仔稚魚の形態変化. 日水誌, 59, 1479-1488.
- 高野和則 (1989) : 卵巣の構造と配偶子形成. 水族繁殖学 (隆島史夫・羽生 功編), 緑書房, 東京, pp. 3-34.
- 隆島史夫 (1989) : ホルモンによる催熟技法. 魚類の成

- 熟, 発生, 成長とその制御. 水族繁殖学 (隆島史夫・羽生 功編), 緑書房, 東京, pp. 132-140.
- Tanaka, Y. (1990) : Change in the egg buoyancy of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* during embryonic development. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56, 165.
- Tanaka, Y., Y. Mukai, K. Takii and H. Kumai (1991) : Chemoreception and vertical movement in planktonic yolk-sac larvae of red sea bream *Pagrus major*. *J. Appl. Ichthyol.*, 7, 129-135.
- 谷口順彦・木島明博 (1985) : 地方群の移動・交流に関する集団遺伝学的分析. MR プロGRESS レポート, マアジ, (30).
- 谷口順彦 (1994) : 魚類の人工種苗放流と野生集団の遺伝的保全. 海洋, 290, 501-504.
- 谷本尚則 (1965) : シマアジ. 浅海養殖60種 (大島泰雄・花岡 資・猪野 峻・須藤俊造監修), 大成出版, 東京, pp. 23-33.
- 谷本尚則 (1969) : シマアジ. 水産養殖ハンドブック (大島泰雄編), 水産社, 東京, pp. 317-323.
- Teixeira, L. M., V. L. C. Merquior, M. da C. E. Vianni, M. da G. S. Carvalho, S. E. L. Fracalanza, A. G. Steigerwalt, D. J. Brenner and R. R. Facklam (1996) : Phenotypic and genotypic characterization of atypical *Lactococcus garvieae* strains isolated from water buffalos with subclinical mastitis and confirmation of *L. garvieae* as the senior subjective synonym of *Enterococcus seriolicida*. *Int. J. Syst. Bact.*, 46, 664-668.
- 鳥島嘉明 (1986) : シマアジ. 浅海養殖 (社資源協会編), 大成出版, 東京, 66-278.
- Vassallo-Agius, R., K. Mushiake, H. Imaizumi, T. Yamazaki and T. Watanabe (1999) : Spawning and quality of eggs of striped jack fed raw fish or dry pellets with 2% *Spirulina*. *Suisanzoshoku*, 47, 415-422.
- Verakunpiriya, V., K. Watanabe, K. Mushiake, K. Kawano, T. Kobayashi, I. Hasegawa, V. Kiron, S. Satoh and T. Watanabe (1997a) : Effect of krill meal supplementation in soft-dry pellets on spawning and quality of eggs of yellowtail. *Fisheries Sci.*, 63, 433-439.
- Verakunpiriya, V., K. Mushiake, K. Kawano and T. Watanabe (1997b) : Supplemental effect of astaxanthin in broodstock diets on the quality of yellowtail eggs. *Fisheries Sci.*, 63, 816-823.
- Viyakarn, V., T. Watanabe, H. Aoki, H. Tsuda, H. Sakamoto, N. Okamoto, N. Iso, S. Satoh and T. Takeuchi (1992) : Use of soybean as a substitute for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 1991-2000.
- Watanabe, T., T. Koizumi, H. Suzuki, S. Satoh, T. Takeuchi, N. Yoshida, T. Kitada and Y. Tsukashima (1985) : Improvement of quality of red sea bream eggs by feeding broodstock on a diet containing cuttlefish meal or on raw krill shortly spawning. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 51, 1511-1521.
- Watanabe, T., M. Lee, J. Mizutani, T. Yamada, S. Satoh, T. Takeuchi, N. Yoshida, T. Kitada and T. Arakawa (1991a) : Effective components in cuttlefish meal and raw krill for improvement of quality of red sea bream *Pagrus major* eggs. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 681-694.
- Watanabe, T., H. Sakamoto, M. Abiru and J. Yamashita (1991b) : Development of a new type of dry pellet for yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 891-897.
- Watanabe, T., R. Vassallo-Agius, K. Mushiake, K. Kawano, V. Kiron and S. Satoh (1998) : The first spawn-taking
- Whitehead, C., N. R. Bromage, J. R. Forester and A. J. Matty (1978) : The effects of alterations in photoperiod on ovarian development and spawning time in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 18, 1035-1043.
- Yamamoto, K. and H. Yoshioka (1964) : Rhythm of development in the oocyte of the medaka, *Oryzias latipes*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 15, 5-19.
- 山本剛史・古板博文・島 隆夫 (2002) : 新給餌法による飼餌料環境負荷影響調査. 平成13年度増養殖適正化総合調査委託事業調査報告書, 独立行政法人水産総合研究センター, pp. 50-57.
- 山本剛史・古板博文・島 隆夫 (2003) : 新給餌法による飼餌料環境負荷影響調査. 平成14年度増養殖適正化総合調査委託事業調査報告書, 独立行政法人水産総合研究センター, pp. 40-48.
- Yamaoka, K., H. -S. Han and N. Taniguchi (1992) : Genetic dimorphism in *Pseudocaranx dentex* from Tosa Bay, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 39-44.
- Yoshikoshi, K. and K. Inoue (1990) : Viral nervous necrosis in hatchery-reared larvae and juveniles of Japanese parrotfish, *Oplegnathus fasciatus* (Temminck & Schlegel). *J. Fish Dis.*, 13, 69-77.

栽培漁業技術シリーズ No. 11

「シマアジ親魚養成に関する技術開発成果」

平成 17 年 3 月 15 日発行

発行 独立行政法人 水産総合研究センター
〒220-6115
神奈川県横浜市西区みなとみらい 2-2-3
クイーンズタワー B 棟 15 階
電話 (045) 227-2715

印刷所 日昇印刷株式会社
〒104-0043 東京都中央区湊 1-14-14
電話 (03) 3553-3161 (代)