飼育試験と鰾の個体発生から推察したカンパチ仔魚の 鰾開腔メカニズム

今井 彰彦,¹ 岩崎 隆志,² 橋本 博,³ 平田 喜郎,¹
浜崎 活幸,^{1*} 照屋 和久,⁴ 浜田 和久,⁵ 虫 明 敬 一⁶

(2011 年 2 月 22 日受付, 2011 年 5 月 26 日受理)

¹東京海洋大学海洋生物資源学科, ²鰻水産総合研究センター増養殖研究所上浦庁舎,

³鰻水産総合研究センター増養殖研究所志布志庁舎,

⁴鰻水産総合研究センター西海区水産研究所八重山庁舎,

⁵鰻水産総合研究センター増養殖研究所古満目庁舎, ⁶鰻水産総合研究センター西海区水産研究所

Mechanism for initial swim bladder inflation in larvae of greater amberjack
Seriola dumerili inferred from larval rearing experiments and
ontogenetic development of a swim bladder

AKIHIKO IMAI,¹ TAKASHI IWASAKI,² HIROSHI HASHIMOTO,³
YOSHIRO HIRATA,¹ KATSUYUKI HAMASAKI,^{1*} KAZUHISA TERUYA,⁴
KAZUHISA HAMADA⁵ AND KEIICHI MUSHIAKE⁶

¹Department of Marine Biosciences, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477, ²Kamiura Laboratory, National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Saiki, Oita 879-2602, ³Shibushi Laboratory, National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Shibushi, Kagoshima 899-7101, ⁴Yaeyama Laboratory, Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Ishigaki, Okinawa 907-0451, ⁵Komame Laboratory, National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Ootsuki, Kochi 788-0315, ⁶Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Tairamachi, Nagasaki 851-2213, Japan

To understand the mechanism of the initial swim bladder inflation of greater amberjack *Seriola dumerili* larvae, we reared larvae from two days after hatching (DAH) in tanks in which the water surface was sealed with liquid paraffin. This treatment prevented the larvae from access to air through the water surface. Furthermore, we examined the ontogenetic development of larval swim bladders. Percentages of larvae with inflated swim bladders were very low in tanks with the sealed water surface compared with those in the tanks in which the oil film was removed from the water surface. A swim bladder was formed as a protuberance from an upper portion of the intestine. A pneumatic duct which connected the swim bladder to the intestine was observed in larvae of 3 DAH. The pneumatic duct was obstructed and separated from the swim bladder in larvae of 5 DAH. Our experiments revealed that a mouth-opened larva of greater amberjack inflates its swim bladder by gaping air from the water surface and introducing it into the swim bladder through the pneumatic duct from 3 to 4 DAH.

キーワード：鰾，開腔，カンパチ，仔魚，種苗生産

カンパチ *Seriola dumerili* は、同属のブリ *S. quinqueradiata* と比較して市場価値が高いことから、九州や四国の太平洋沿岸で重要な養殖対象種となっている。¹⁻³⁾ し

かし、カンパチ養殖用種苗のほとんどは、南シナ海からの輸入天然種苗に依存しているのが現状である。^{2,3)} 海外からの養殖用種苗の輸入は、種苗自体あるいは種苗を輸

送る海水を介して, わが国で未発生の疾病を持ち込む可能性が高いことが強く懸念されることから, 養殖産業の健全な発展には, 本種の人工種苗生産技術の確立が必須である。しかし, カンパチの種苗生産では, 他のブリ属と同様に, 初期減耗や共食いという問題点を抱えており, 大量の種苗を安定的に生産する技術は確立されていない。⁴⁻⁷⁾

魚類の種苗生産における初期減耗は, 現象的には浮上死と沈降死に大別されている。⁸⁾ 沈降死は主に夜間に仔魚が水槽底に沈降して死亡する現象といわれ, カンパチ種苗生産においても認められている。⁴⁾ 鰾が開腔したカンパチ仔魚 (5~10 日齢) の比重は海水の比重に近い値で推移するが, 未開腔個体の比重は成長にともない増加する⁵⁾ ため, 未開腔個体は開腔個体に比べ沈降しやすくなるものと考えられる。したがって, 沈降死現象を防ぐには, 仔魚の鰾が開腔・機能化し, 浮力の調整が可能になる^{9,10)} ことが重要であり, それを実現するためには, 鰾の開腔メカニズムを把握し, 仔魚が開腔しやすい飼育環境を明らかにする必要がある。

マダイ *Pagrus major*¹¹⁾ やスズキ *Lateolabrax japonicus*¹²⁾ などのいくつかの無管鰾魚類の仔魚では, 消化管と鰾が気管でつながった有気管の時代に水面から空気を呑み込むことによって最初のガスを鰾内に導入し, 開腔する (鰾を膨張させる) と考えられている。カンパチにおいても同様の開腔メカニズムが想定されているが,^{4,5,7)} そのことを検証した報告はない。そこで本研究では, マダイ¹¹⁾ やスズキ¹²⁾ で行われたように, 流動パラフィンによって水面と空気を遮断した水槽で仔魚を飼育し, 鰾の開腔状況を調べることによって水面からの空気呑み込みによる開腔メカニズムを検証した。さらに, 鰾と消化管を連絡する気管の消長に着目しながら鰾の発生過程を組織学的に調査し, 飼育試験による検証を裏付けることを試みた。

材料および方法

水面と空気を遮断した飼育試験 試験に用いた親魚の養成および採卵方法は既報^{5,6)} に従った。供試卵は, 舩水産総合研究センター増養殖研究所古満目庁舎 (高知県) で養成した親魚から採卵し, 2008 年 6 月 25 日に得られた浮上卵を舩水産総合研究センター増養殖研究所上浦庁舎 (大分県) に輸送した。受精卵は流水状態の 500 L アルテミアふ化水槽に収容し, 水温 24°C で管理し, ふ化させた。

試験区として, 流動パラフィンにより水面と空気を遮断した区 (水面遮断区), その対照として水面に発生する油膜を除去する区 (油膜除去区) を設けた。各区に 500 L 黒色ポリエチレン水槽 2 面を供し (水面遮断区, 水槽番号 1 と 2; 油膜除去区, 水槽番号 3 と 4), 各水

槽に 2 日齢の仔魚を 7,500 尾ずつ収容した。水面遮断区には, 流動パラフィン 3 L を仔魚に影響を与えないように水面から静かに流し入れ, パラフィン層によって水面と空気を遮断した。油膜除去区には, 塩澤ら⁴⁾ を参考にして内径 13 mm の塩化ビニール製の管 (塩ビ管) を四角に組み立て (35×25 cm), 1 面 (25 cm) の塩ビ管の空気穴 (直径 1 mm, 2 個) から水面に空気を吹き付け, 装置内に油膜を集める装置を設置した。装置内に集まった油膜はカップで取り除き, 飼育水面に油膜のない状態とした。流動パラフィンと油膜除去装置は 3 日齢の初回給餌後に設置した。

飼育は無換水で 8 日齢まで行った。餌料には, *n-3* 高度不飽和脂肪酸を強化した淡水クロレラ (スーパー生クロレラ V12, クロレラ工業) で 6~12 時間栄養強化したシオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex (L 型ワムシ) を用い, 3 日齢から給餌した。それ以降, 毎日 6 時と 13 時に飼育水中の密度を計測し, 10 個体/mL を下回る場合に追加給餌した。飼育水には, 給餌開始時からワムシの餌料・栄養強化剤として毎日 6 時と 13 時にスーパー生クロレラ V12 を 3.5 mL 添加した。また, 飼育水には水質改良剤 (仔魚収容前日にはコーラルインターナショナル製サンゴパウダーナグラシ, 2 日齢~試験終了までグリーンカルチャー製フィッシュグリーン) 10 g を 6 時と 13 時に添加した。通気は小型のエアーストン (AS-10, 田中三次郎商店) を水槽中央に 1 個設置して行い, 通気量は 0.1 L/分とした。照明時間と水面照度は, 6~18 時, 約 1,500 Lx とした。飼育水温は 24°C とし, その調節は 500 W ヒーター 1 本を水槽底に設置して行った。塩分は約 35 psu であった。飼育水温, pH, 溶存酸素量 (DO) を 1 日 1 回午前 6 時に測定した。飼育期間中の各測定値の平均値±標準偏差は, 水温が 24.6±0.9°C, pH が 7.71±0.30, DO が 7.98±0.53 mg/L であった。

試験期間中毎日 10 時頃に各水槽より仔魚を採取し, *m*-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネートで麻酔した。その後, 仔魚を顕微鏡で観察し, 鰾内にガスを保有している個体を開腔個体, ガスを保有していない個体を未開腔個体とし, 開腔率 (開腔個体数/調査個体数×100) を算出した。また, 万能投影機を用いて仔魚の全長を測定した。開腔率調査と全長測定に用いた個体数は, 2~7 日齢がそれぞれ 20 尾と 40 尾, 試験終了時 (8 日齢) が 30 尾と 100 尾とした。

鰾の個体発生に関連した調査 大型水槽 (60 kL) と小型水槽 (500 L) で飼育した仔魚の開腔状況を調査し, 鰾の発生過程を組織学的に調べた。

1. 大型水槽における飼育と仔魚の採取 2008 年 6 月 11 日に古満目庁舎で得られた浮上卵を上浦庁舎に輸送して 60 kL 八角型コンクリート水槽に約 60 万粒収容

し、6月13日にふ化した約40.4万尾の仔魚を飼育した。餌料には3日齢の初回給餌時のみスーパー生クロレラ V12 で栄養強化したシオミズツボワムシ (S 型ワムシ) を与え、以降は5日齢から L 型ワムシを飼育水中の密度が 10 個体/mL になるように給餌した。飼育水には水質改良剤 (フィッシュグリーン) を 10 g/kL の割合で、3日齢以降の6時と20時の2回に分けて添加した。また、ワムシの餌料・栄養強化剤として、スーパー生クロレラ V12 を 0.5 L、5時30分と15時に添加した。収容から9日齢までは無換水、10日齢から流水状態 (3 kL/日) とし、注水量は調査終了日 (18日齢) の 9 kL/日まで順次増やした。塩澤ら⁴⁾を参考に塩ビ管で作製した台形状の油膜除去装置 (底辺 90 cm、高さ 100 cm、上辺 50 cm; 空気吹き出し部は底辺の塩ビ管 (内径 13 mm、長さ 90 cm) で、直径 1 mm の空気穴 75 個を保有) は 4~12 日齢まで設置し、適宜回収された油膜を除去した。収容時の水温は 22.5°C に設定し、0.2 °C/日の割合で上昇させ 24.5°C を保つようにした。飼育期間中の水面直下照度は約 1,500 Lx、水温は 24.2 ± 0.7 °C、pH は 7.70 ± 0.31、DO は 8.62 ± 1.19 mg/L であった。

仔魚の採取はふ化~10日齢まで毎日昼夜複数回行い、それ以降は18日齢まで適宜行った。昼間は1 L プラスチックビーカーを用い水面から仔魚を採取し、夜間は塩ビ管 (内径 5 cm、長さ 3.5 m) を用いた柱状サンプリングで得られた仔魚をサンプルとした。採取した仔魚は麻酔後に万能投影機を用いて20尾の全長を測定し、顕微鏡下で開腔の有無を調査した。次いで、開腔個体と未開腔個体を分け、ブアン液に24時間浸漬し、70 % エタノールに置換・保存した。

2. 小型水槽における飼育と仔魚の採取 ふ化管理と仔魚の飼育方法は、水面と空気を遮断した飼育試験に準じた。油膜除去装置を設置しない油膜非除去区と設置する油膜除去区を設け、各区とも2009年5月30日に2日齢の仔魚6,000尾を500 L 水槽1面に収容した (油膜非除去区、水槽番号5; 油膜除去区、水槽番号6)。飼育は無換水で8日齢まで行った。照明は6~20時に行い、水面照度は約2,000 Lx とした。飼育水槽はウォーターバス内に設置し、収容時は22.0°C に調整し、収容後は0.5°C/日の割合で24°C まで昇温した。油膜非除去区では、水温は 23.1 ± 0.9°C、pH は 8.02 ± 0.08、DO は 8.80 ± 0.71 mg/L、油膜除去区ではそれぞれ 23.0 ± 0.8°C、8.03 ± 0.09、8.92 ± 0.54 mg/L であった。

仔魚の採取は、1~8日齢まで毎日10時頃に行った。採取した仔魚は大型水槽と同様に処理し、固定・保存した。

3. 仔魚の組織切片の作製 常法により厚さ 6 μm のパラフィン組織切片を作製し、ヘマトキシリン・エオシ

ン染色を施した。仔魚の組織切片は、縦断面と横断面で作製し、観察に用いたサンプルは以下のとおりであった。大型水槽: 縦断面、0~2日齢の仔魚 (0日齢2個体、1~2日齢各3個体) および3~18日齢の開腔した仔魚 (各日齢2~9個体、平均5個体、以下同様) と未開腔の仔魚 (1~11個体、5個体); 横断面、3~11日齢の開腔した仔魚 (2~9個体、7個体) と未開腔の仔魚 (2~12個体、5個体)。小型水槽: 縦断面、1~3日齢の仔魚 (各日齢4個体) および4~8日齢の開腔した仔魚 (2~6個体、4個体) と4~8日齢の未開腔の仔魚 (4~6個体、6個体); 横断面、4~8日齢の開腔した仔魚 (4~6個体、5個体) と未開腔の仔魚 (各日齢とも6個体)。

結 果

水面と空気を遮断した飼育試験 仔魚の平均全長は4~6日齢には水面遮断区で低く推移する傾向がみられたが、8日齢には区間で大差はみられず、4.3~4.4 mm まで成長した (Fig. 1)。油膜除去区の開腔率は4~5日齢

Fig. 1 Changes in mean total length (a) and percentage of swim bladder inflation (b) of greater amberjack larvae reared in two 500 L tanks with water surface sealed by liquid paraffin (tank nos. 1 and 2) and those with the oil film removed from the water surface (tank nos. 3 and 4). Swim bladder inflation (%) = number of larvae with an inflated swim bladder/number of larvae examined × 100.

Fig. 2 Changes in total length (a) and percentage of swim bladder inflation (b) of greater amberjack larvae reared in a 60 kL tank.

Fig. 3 Changes in total length (a) and percentage of swim bladder inflation (b) of greater amberjack larvae reared in a 500 L tank without (tank no. 5) or with (tank no. 6) treatment for removal of oil film from the water surface.

にかけて大きく上昇し、それ以降は90%以上を示した (Fig. 1)。一方、水面遮断区でも5~6日齢以降に開腔個体が確認されたが、開腔率は低く8%以下であった。

鰾の個体発生に関連した調査 1. 成長と開腔 大型水槽の仔魚は18日齢で平均全長7.2 mmまで成長した (Fig. 2)。開腔個体は3日齢に初めて観察された。開腔率は5日齢で30%、7日齢で51%、10日齢で71%を示し、12日齢に90%に達してほぼ一定となった (Fig. 2)。小型水槽の仔魚の成長は、6日齢以降に油膜除去区でやや良い傾向がみられた (Fig. 3)。開腔個体は油膜除去区で4日齢に初めて確認され、開腔率は6日齢にかけて直線的に上昇し90%以上に達した (Fig. 3)。一方、油膜非除去区では、開腔個体は確認されなかった。

2. 鰾の発生過程 0日齢の仔魚では鰾原基は認められなかった。1日齢の仔魚では、消化管背壁の一部が膨出し、鰾が形成され始めた (Fig. 4A)。鰾原基は消化管腔と連続していて内腔は極めて狭く、中空部は認められなかった。鰾原基は外側が消化管上皮、内側が鰾上皮となる2層の細胞に囲まれていた。2日齢の仔魚では、鰾腔の存在が明瞭に認められるようになったが (Fig. 4B)、気管は確認できなかった。鰾腔には中空部が認められ、鰾上皮は腹側が背側より厚みを持っていた。3日齢の開口した仔魚において、初めて鰾腔にガスを認める

開腔個体が現れ、開腔個体の鰾 (Fig. 4C) は未開腔個体 (Fig. 4D) に比較して拡張していた。鰾腔は拡大し、体軸方向がやや長い楕円形を呈した。3日齢の仔魚では気管が認められ、仔魚の横断面連続組織切片において、消化管の上部に存在する気管が鰾と連絡していることが確認された (Fig. 4E~J)。また、4日齢の仔魚の縦断面でも鰾後端に位置する気管を明瞭に観察できた (Fig. 4K)。5日齢になると、すべての未開腔個体の横断面連続組織切片において、3日齢の仔魚 (Fig. 4E~J) でみられたような気管の鰾側への連絡は認められなかった (Fig. 5A~F)。また、鰾内にガスを保有する開腔個体では、5日齢以降のほとんどの個体において、気管が分離・退行していることが確認された (Fig. 5G)。6日齢以降のほとんどの未開腔個体では、鰾後側に気管に由来すると思われる中空部が観察された (Fig. 5H, I)。10日齢前後までは、気管は鰾後方下付近に位置していたが、10日齢以降はさらに退化が進行し、鰾後方上付近に付帯している状態となった。開腔個体の鰾内は拡張した状態であり、ガス腺は鰾上皮腹側の基底部に単列した状態になっていた (Fig. 5J, L, N)。一方、鰾内にガスを保有しない未開腔個体では、成長とともに鰾内の鰾上皮細胞は増殖し、14日齢以降の個体においては、鰾内がほぼ

Fig. 4 Longitudinal (A-D and K) and serial (E-J) cross sections of the swim bladder in larval greater amberjack. A, formation of a swim bladder pouch on 1 day after hatching (DAH); B, formation of a swim bladder on 2 DAH; C, inflated swim bladder on 3 DAH; D, non-inflated swim bladder on 3 DAH; E-J, non-inflated swim bladder on 3 DHA; K, non-inflated swim bladder on 4 DAH. Scale bars indicate 50 μ m. Abbreviations: dt, digestive tract; gg, gas gland; nch, notochord; og, oil globule; pd, pneumatic duct; rm, rete mirabile; sb, swim bladder; sbe, swim bladder epithelium; sbp, swim bladder pouch; ys, yolk sac.

細胞で埋め尽くされていた (Fig. 5H, K, M, O)。また、鰾後側の奇網が成長とともに増殖し、鰾長径は開腔個体に比べて小さく、18日齢においては約半分の大きさしかなかった。

考 察

仔魚の開腔メカニズム 無管鰾魚類の鰾の開腔メカニズムについては、水面からの空気呑み込みによるものと、鰾のガス交換機能の発達によるガス産生によるものがあると考えられている。¹¹⁻¹³⁾ マダイ¹¹⁾とスズキ¹²⁾では流動パラフィンを用い、またストライプドバス *Morone*

*saxatilis*¹³⁾では水面にメッシュのスクリーンを取り付け水面と空気を遮断する方法によって、それらの仔魚が水面からの空気呑み込みにより鰾に最初のガスを導入し、開腔することが明らかにされている。一方、テラピア *Tilapia mossambica*¹³⁾の仔魚では、水面に油膜がある状態においても開腔することから、ガス交換機能の発達により開腔するものと考えられている。本研究では流動パラフィンを用いて水面と空気を遮断した水槽 (水面遮断区) で、また水面の油膜を除去しなかった水槽 (油膜非除去区) でカンパチ仔魚を飼育したところ、開腔率は対照とした油膜除去区よりも明らかに低く、仔魚の開腔が

Fig. 5 Longitudinal (A-F) and serial (G-O) cross sections of the swim bladder in larval greater amberjack. A-F, non-inflated swim bladder on 5 days after hatching (DAH); G, inflated swim bladder on 6 DAH; H, non-inflated swim bladder on 8 DAH; I, non-inflated swim bladder on 10 DAH; J, inflated swim bladder on 14 DAH; K, non-inflated swim bladder on 14 DAH; L, inflated swim bladder on 16 DAH; M, non-inflated swim bladder on 16 DAH; N, inflated swim bladder on 18 DAH; O, non-inflated swim bladder on 18 DAH. Scale bars indicate 100 μ m. Abbreviations: dt, digestive tract; gg, gas gland; nch, notochord; pd, pneumatic duct; rm, rete mirabile; sb, swim bladder.

障害された。さらに、カンパチ仔魚の鰾の発生過程を組織学的に調べたところ、消化管と鰾を連絡する気管の存在が確認された。以上のことから、カンパチ仔魚は水面

からの空気呑み込みによって鰾に最初のガスを導入し開腔する（鰾を膨張させる）ことが示された。

ウォールアイ *Sander vitreus*¹⁴⁾の仔魚では、水面から

空気を呑みこむことによって鰾にガスを導入する開腔行動がビデオ撮影によって確認されている。本研究では、定量的な観察は行わなかったが、飼育期間中には仔魚が水面やパラフィン層をつつく行動が観察され、この行動はウォールアイと同様に水面から空気を呑み込む行動であると推測される。本研究では、開腔個体は油膜非除去区では認められなかったが、流動パラフィンを用いた水面遮断区ではわずかに確認された。これはパラフィン層の存在によって通気由来の気泡が水面下に滞留しやすくなり、それを仔魚が呑み込んだことによるものと推測している。

仔魚が開腔するには、開口し、消化管と鰾が気管で連絡することが必要である。20～22℃で飼育したマダイ仔魚は、3～4日齢に摂餌を開始し、8～10日齢で鰾内にガスを認める個体が出現している。^{15,16)} 一方、伊勢田ら¹⁷⁾によると、18～19℃で飼育した場合、開腔個体の出現は8日齢であったが、21～23℃では4日齢であったことが報告されている。13.5～15.5℃で飼育したスズキ仔魚は、6日齢で開口し、摂餌開始翌日の8日齢に開腔個体が観察されている。¹⁸⁾ また、ストライプトランペッター *Latris lineata* 仔魚の開腔は、14℃では11日齢、16℃では9日齢で観察されている。¹⁹⁾ カンパチでは、仔魚が開口し、摂餌を開始する^{5,6)} 当日あるいは翌日の3～4日齢に開腔個体が確認された。このように、仔魚の開腔開始時期は、魚種によって、また飼育水温が仔魚の発育過程に及ぼす影響を通して大きく異なっていた。

今回、5日齢以降のほとんどのカンパチ仔魚で気管が鰾から分離・退行していることが観察された。マダイ^{15,16)} やスズキ¹⁸⁾ においても、開腔直後から気管の分離が観察されている。また、カンパチ仔魚の未開腔個体では、気管に由来すると考えられる中空部が鰾後側に観察された。これは、空気呑み込みによってガスが気管まで達したものの、気管が鰾から分離し、閉塞していたため、ガスが鰾内に取り込まれることなく残留し、形成されたものと推測される。この中空部は6日齢から観察され、この時点までには気管の鰾側が閉塞しているものと考えられる。したがって、平均水温 23～24℃程度で飼育したカンパチ仔魚の開腔可能期間は、3～4日齢(全長 4 mm 前後)であると推測される。

仔魚の開腔率の推移 組織調査用の仔魚を飼育した大型水槽と小型水槽(油膜除去区)では、気管が閉塞すると推察された5日齢を過ぎても開腔率は大きく上昇していた。スズキ¹²⁾ では、有気管期に空気呑み込みを阻害された個体は鰾腔内にガスを保有しないまま成長し、この間に鰾のガス交換能の発達により、鰾内ガスを産生貯留する個体が徐々に出現するため、鰾の開腔率は成長とともに漸増するとされている。この鰾のガス交換能の

発達による開腔は50日齢頃から認められ、マダイ¹¹⁾ でも知られている。今回のカンパチ仔魚でもスズキ¹²⁾ やマダイ¹¹⁾ と同様のメカニズムにより、有気管期を過ぎた個体が鰾内にガスを産生した可能性も考えられ、今後検討を要する。ただし、カンパチで気管閉塞後も開腔率が上昇する時期はスズキ¹²⁾ やマダイ¹¹⁾ に比較して若齢であることから、ガス交換能の発達により開腔率が上昇したのではなく、未開腔個体が比重の増加⁵⁾ によって、主に遊泳を止める夜間に水槽底に沈降し、死亡することによって見かけ上開腔率が上昇している可能性が高いものと考えている。

本研究では、水面の油膜を除去したにも関わらず、仔魚の開腔率に変異がみられた。このようなカンパチ種苗生産における開腔率の変異は、これまでにも報告されており、^{5,7)} 仔魚の開腔には水面の油膜の状態以外の要因も関わっているものと考えられる。カンパチ仔魚の開腔率は、通気量が多いと低下することが報告されており、⁵⁾ これは水面での仔魚の開腔行動が物理的に妨げられることに起因するものと考えられる。また、カンパチ仔魚の鰾の開腔は暗黒条件下ではほとんど認められないことも知られている。⁷⁾ 今後、カンパチ種苗生産における開腔率を向上・安定化するためには、仔魚の開腔行動に関連する“仔魚の活力”評価手法を検討するとともに、仔魚の活力、行動に及ぼす様々な環境要因について検討する必要がある。

謝 辞

親魚養成・採卵および仔魚の飼育にご協力いただいた佃水産総合研究センター増養殖研究所上浦庁舎と古満目庁舎の職員各位に厚くお礼申し上げます。また、本研究を行う上で補助いただいた増養殖研究所玉城庁舎の松成宏之氏と当時の東京海洋大学学生の林 知宏・吉村綾子の両氏に深謝する。本研究は、農林水産技術会議による新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「カンパチ種苗の国産化及び低コスト・低環境負荷型養殖技術の開発」における試験研究の一環で実施した。ここに記して感謝の意を表する。

文 献

- 1) Nakada M. Yellowtail culture development and solutions for the future. *Rev. Fish. Sci.* 2002; **10**: 559-575.
- 2) 高岡 治. カンパチ. 「水産増養殖システム1 海水魚」(熊井英水編) 恒星社厚生閣, 東京. 2005; 31-43.
- 3) 虫明敬一. カンパチ人工種苗の大量生産と養殖技術の高度化への挑戦. *日水誌* 2006; **72**: 1158-1160.
- 4) 塩澤 聡, 竹内宏行, 廣川 潤. カンパチ種苗生産方法の改良. *栽培技研* 2003; **31**: 11-18.
- 5) 照屋和久, 浜崎活幸, 橋本 博, 片山俊之, 平田喜郎, 鶴岡廣哉, 林 知宏, 虫明敬一. カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化. *日水誌* 2009;

- 75: 54-63.
- 6) Hamasaki K, Tsuruoka K, Teruya K, Hashimoto H, Hamada K, Hotta T, Mushiake K. Feeding habits of hatchery-reared larvae of greater amberjack *Seriola dumerili*. *Aquaculture* 2009; **288**: 216-225.
 - 7) 平田喜郎, 浜崎活幸, 今井彰彦, 照屋和久, 岩崎隆志, 浜田和久, 虫明敬一. カンパチ仔魚の生残, 成長, 摂餌および鰾の開腔に及ぼす光周期と水温の影響. 日水誌 2009; **75**: 995-1003.
 - 8) 宮下 盛. 種苗生産における浮上および沈降死. 日水誌 2006; **72**: 947-948.
 - 9) Kitajima C, Yamane Y, Matsui S, Kihara Y, Furuichi M. Ontogenetic change in buoyancy in the early stage of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1993; **59**: 209-216.
 - 10) 北島 力, 山根康幸, 松井誠一. クロダイ仔稚魚の発育に伴う比重の変化. 日水誌 1994; **60**: 755-762.
 - 11) 北島 力, 塚島康生, 藤田矢朗, 渡辺 武, 米 康夫. マダイ仔魚の空気呑み込みと鰾の開腔および脊柱前彎症との関連. 日水誌 1981; **47**: 1289-1294.
 - 12) 林田豪介, 塚島康生, 松清恵一, 北島 力. 人工種苗スズキの鰾異常と脊柱前彎症の関連. 長崎水試研報 1984; **10**: 35-40.
 - 13) Doroshev SI, Cornacchia JW. Initial swim bladder inflation in the larvae of *Tilapia mossambica* (Peters) and *Morone saxatilis* (Walbaum). *Aquaculture* 1979; **16**: 57-66.
 - 14) Rieger PW, Summerfelt RC. Microvideography of gas bladder inflation in larval walleye. *J. Fish Biol.* 1998; **53**: 93-99.
 - 15) 隆島史夫, 荒井泰晴, 野村 稔. 人工種苗マダイの鰾形成異常について. 東京水産大学研報 1980; **67**: 67-73.
 - 16) 山下金義. マダイ仔魚の鰾の分化. 魚類学雑誌 1982; **29**: 193-202.
 - 17) 伊勢田引志, 石原 勝, 隅田征三郎, 尾脇満雄, 田畑重行. マダイ人工種苗の奇形防除対策研究-II. 熊本水試報 1979; **1**: 7-9.
 - 18) 牧野 直, 内山雅史, 岩波重之, 遠山忠次, 田中 克. スズキの仔魚期における鰾の分化と発達. 日水誌 1995; **61**: 143-150.
 - 19) Trotter AJ, Pankhurst PM, Battaglene SC. Morphological development of the swim bladder in hatchery-reared striped trumpeter *Latris lineata*. *J. Appl. Ichthyol.* 2004; **20**: 395-401.