

# クロマグロ仔魚の比重変化

坂本 亘,<sup>1\*</sup> 高志利宣<sup>2</sup>

(環境保全・資源動態グループ)

<sup>1</sup>近畿大学水産研究所, <sup>2</sup>近畿大学水産研究所 COE 博士研究員

\*sakamoto@coral.cypress.ne.jp

現在、クロマグロの種苗生産では、激しい初期減耗が種苗の安定的大量供給を困難にしている。その初期減耗は大きく3つの減耗期に分ける事ができる: ①10日齢までの浮上死・沈降死, ②10~30日齢までの共喰い, ③30~50日齢までに発生する養殖施設への衝突死である。<sup>1)</sup> それらの中で、10日齢までの浮上死・沈降死による減耗が最も激しく、時には斃死率が80~90%に達する。浮上死とは、仔魚が水表面に浮上したとき、水表面の表面張力により捕捉されて再び水中に戻ることができずに死亡する現象である。<sup>2)</sup> 一方、沈降死とは、飼育水槽の底部まで沈降した後、浮上できずに死亡する現象である。<sup>2)</sup> 浮上死・沈降死には、仔魚の比重や遊泳力、遊泳方向、鰾の開鰾状況といった生物的要因と、飼育水の流動、比重、粘性、表面張力、水槽規模など物理的要因が関係していると考えられる。そのため、成長に伴う比重、遊泳力の変化など生物的要因に対応させて水槽内の流動や海水比重を調整し、より適切な飼育環境を構築することで、初期減耗低減が可能と考えられる。

過去の研究で、仔魚の比重は日齢とともに大きくなることが示されている。<sup>2)</sup> しかし、日齢ごとの比重にはばらつきがあり、この原因として仔魚の鰾の形成が関与している。つまり、仔魚の鰾は日中に収縮し、夜間に膨張する。<sup>3)</sup> 膨張した鰾はその浮力により仔魚の比重を軽くするように働く。このような昼夜間の鰾の膨張収縮は、比重に昼夜変化を促す可能性がある。また、仔魚の比重は成長とともに大きくなるが、鰾も成長とともに大きくなり、この鰾の容積の増加が比重に影響を及ぼしていると思われる。本研究では日齢および昼夜、成長に伴う比重変化を鰾の膨張・収縮と関連づけ

て調べ、解析を行った。さらに、成長に伴う比重変化の影響を考慮した飼育方法を検討した。

## 材料および方法

仔魚の比重の定量には、坂本ら<sup>2)</sup>により考案された2種類の海水中における沈降速度の比から比重を計算する方法を採用した。異なる比重( $\rho_e$ )、粘性率( $\eta$ )をもつ海水により上下2層に成層した水柱を考える。上層および下層中の仔魚の沈降速度の比をとり、 $\rho_f$ について展開すると、

$$\rho_f = \frac{V_2 \eta_2 \rho_{e1} - V_1 \eta_1 \rho_{e2}}{V_1 \eta_1 - V_2 \eta_2}$$

が得られる。下付きの1は上層、2は下層を表す。仔魚の比重 $\rho_f$ は2種の海水の粘性率と比重、個体の沈降速度から、得ることができる。

比重( $\rho_{e1}$ ,  $\rho_{e2}$ )と粘性率( $\eta_1$ ,  $\eta_2$ )の異なる2種類の海水を作成し、実験水槽内に2層に重層した水層を作成した。以下に手順の詳細を示す。1Lのメスシリンダーに、2種類の海水のうち、比重の大きい海水を最初に500 mL注入した。次に、比重の小さい海水を600~700 mL注入した。このとき2層の境界を明確に保つために、比重の大きい海水の上に厚さ1 mmの発泡ポリエチレン板を載せ、その上に比重の小さい海水をビニルチューブから静かに滴下した。

実験では麻酔した仔魚をピペットで1尾ずつメスシリンダーに入れ、上層と下層の一定区間において仔魚が自由落下する時間をストップウォッチで測定した。実験水槽を作成する前には2種の海水の、水温と塩分を水温・塩分計(COMPACT-CTアレック電子株式会社)で測定し、比重をUNESCO<sup>6)</sup>、粘性係数をMiyake and Koizumi<sup>7)</sup>により計算した。得られた海水比重および粘性係数、

沈降速度から仔魚の比重を計算した。

実験直前に全ての供試魚をデジタルカメラ付きの実体顕微鏡で撮影した。実験後、画像解析ソフトウェア ImageJ を用いて、仔魚の全長、鰾短径、鰾長径を測定した。鰾容積の算出には回転楕円の式、 $V = 4/3 \pi ab^2$  を用いた。<sup>4)</sup> ここで、a : 鰾の長径の半分、b : 鰾の短径の半分である。

実験には、2004年8月5日に近畿大学水産研究所奄美実験場で養成中の天然クロマグロ親魚による自然卵から孵化した仔魚を使用した。孵化仔魚は近畿大学水産養殖種苗センター白浜事業場に輸送し、25℃に設定した1000L容ポリカーボネート水槽2器で飼育した。なお、正常孵化率は96.4%であった。飼育水槽には2日齢からナノクロロプシス、*Nannochloropsis* sp.を100万 cells/mLとなるように添加し、開口確認後(2日齢)、栄養強化済みワムシ、*Brachionus rotundiformis*を4 ind./mLに保つよう給餌した。実験は、一般に浮上死・沈降死が起こるとされる0日齢から10日齢までとし、日中と夜間の1日2回行った。実験時間は、日中の実験を9:00~12:00、夜間の実験を21:00~24:00に行った。1回の実験で仔魚30個体を測定した。

### 結果と考察

実験期間中の仔魚の全長、比重および鰾容積の変化をFig. 1に示す。実験期間中、仔魚の平均全長は直線的に増加していたが、5日齢頃よりばらつきが大きくなった (Fig. 1a)。仔魚の比重は、0日齢の日中から1日齢の日中まで直線的に増加していた (Fig. 1b)。1日齢以降、比重は日齢とともに大きくなる傾向にあるが、日中に大きく夜間に小さくなっている。クロマグロ仔魚の鰾は2日齢から確認された (Fig. 2c)。鰾の容積は日齢の経過とともに大きくなっている。また、4日齢以降、比重と同様に鰾の容積にも昼夜変化があり、鰾容

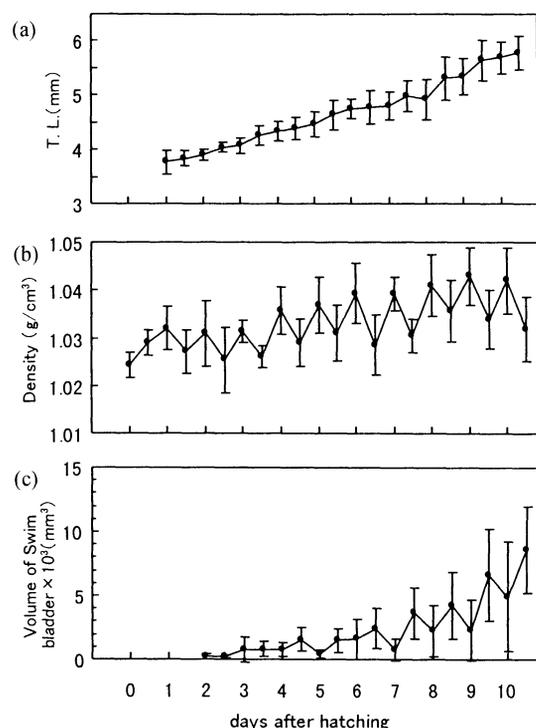


Fig. 1 daily change of the total length (mm) and that of larval density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) and Volume of swim bladder ( $\text{mm}^3$ )

積は日中よりも夜間の方が大きい。

鰾による浮力は仔魚の比重を軽くする働きがある。クロマグロ仔魚は鰾容積を昼夜で変化させるため (Fig. 1c)、それが昼夜間での比重の変化を引き起こしていると考えられる (Fig. 1b)。仔魚の比重と鰾の日変化を詳細に調べるため、Fig. 2に比重と鰾の日変化を日中と夜間に分けて示す。日中の比重は、1日齢から3日齢まで横ばいで、3日齢から10日齢まで増加している (Fig. 2a)。夜間の比重は、0日齢から2日齢まで減少、2日齢から8日齢までおおそ増加傾向にあり、8日齢から10日齢までは減少していた。日中と夜間の比重は0日齢を除くと全ての日齢において日中の比重が大きくなっており、日中と夜間の比重には有意差が認められた ( $p < 0.01$ )。鰾容積は、日中、夜間両方の時間帯で日齢とともに増加していたが、特に、8日齢以降に大きな増加を示した (Fig. 2b)。鰾容積は日中よりも夜間の方が大きくなっている。

次に、成長段階ごとの比重および鰾容積の変化を、鰾が収縮している個体と膨張している個体に分けて解析する。日齢による鰾の変化 (Fig. 2b)

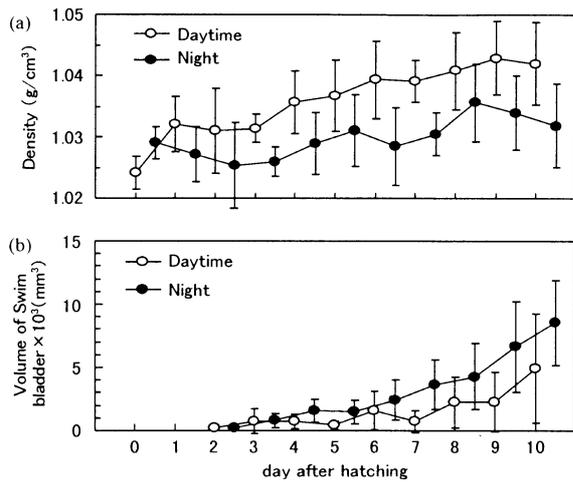


Fig. 2 Daily change of (a) larval density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) and (b) volume of swim bladder ( $\text{mm}^3$ )

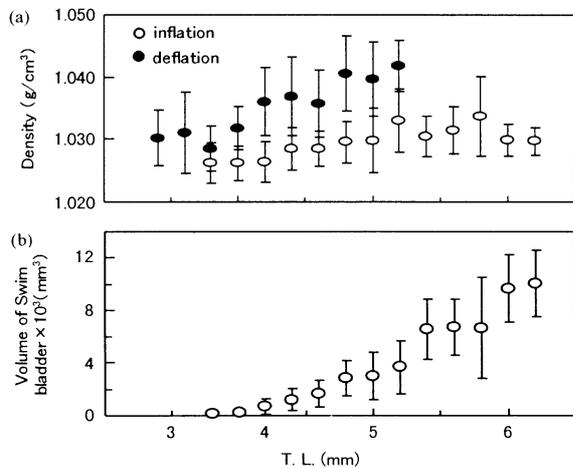


Fig. 3 Ontogenetic change of (a) larval density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) and (b) volume of swim bladder ( $\text{mm}^3$ ).

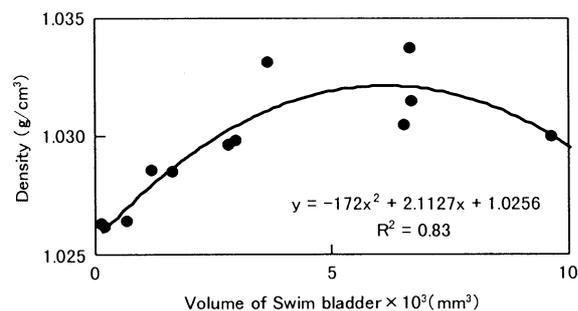


Fig. 4 Relationship between the larval density and volume of swim bladder.

より、鰾容積は昼夜変化することがわかる。夜間の個体は鰾が完全に膨ませていると仮定して、鰾が膨張している個体として夜間の個体のみを選び解析に使用した。鰾が収縮している個体の解析で

は日中と夜間の個体を使用した。仔魚の全長を  $0.2 \text{ mm}$  ごとに階級化し、成長にともなう比重、鰾容積の変化を Fig. 3 に示す。鰾が収縮した個体は全長  $5.2 \text{ mm}$  以上ではほとんど確認できなかったため、 $5.2 \text{ mm}$  以上では鰾収縮個体の比重を示していない (Fig. 3a)。仔魚の比重は全長  $5.2 \text{ mm}$  まで鰾膨張個体、収縮個体ともに成長に伴い増加していた。しかし、全長  $5.2 \text{ mm}$  以上では、鰾膨張個体の比重は横ばい、またはやや軽くなる傾向にあった。また、全ての成長段階において、鰾が膨張している個体のほうが、収縮している個体より比重が小さかった。鰾容積は、仔魚の成長に伴い増加しているが、全長  $5.2 \text{ mm}$  以上で階段状に急激に大きくなる傾向にある (Fig. 3 b)。

比重と鰾容積の関係を調べたところ、鰾容積が  $3.7 \times 10^3 \text{ mm}^3$  以下では、鰾が大きくなって比重は大きくなるが、それ以上になると比重は減少する傾向にある (Fig. 4)。比重と鰾容積との関係を、2 次関数で近似したところ、 $r^2 = 0.83$  となった。鰾容積が  $6.1 \times 10^3 \text{ mm}^3$  の時に 2 次関数は頂点となる。このことは鰾容積が  $6.1 \times 10^3 \text{ mm}^3$  以上では、成長による比重の増加よりも、成長にともなう鰾の浮力効果の方が大きくなる可能性を示している。

Fig. 3a より個体の鰾容積が  $6.1 \times 10^3 \text{ mm}^3$  以上になる全長は  $5.2 \text{ mm}$  以上である。日齢で見るとこれは 8 日齢以降 (Fig. 1a) となる。夜間の比重の日変動でも、8 日齢以降に仔魚の比重は軽くなる傾向にある。また、鰾容積もこの時期に急激に大きくなっている。そのため、8 日齢以降の個体では、鰾による比重調整能力が強くなりつつあると考えられる。

鉛直流がない水柱内での個体の位置変化は、個体の上方への遊泳と下方への重力沈降の差により説明できる。しかし、クロマグロ仔魚の遊泳速度・遊泳持続時間は未知である。ここでは得られた比重の変化から、クロマグロ仔魚の初期減耗低減について考察する。本研究の結果より、鰾の膨張・収縮により日中の比重は大きく、夜間の比重が小さくなることが分かった。このことは、飼育水槽

内の昼夜毎の流動調節が、クロマグロ仔魚の飼育には重要であることを示している。石田<sup>3)</sup>のクロマグロ仔魚の遊泳行動の観察結果を見ると、クロマグロ仔魚は3日齢までは昼夜とも底層に分布するが、3日齢以降は日中に表層、夜間に底層に分布することを報告している。この結果は、本研究で得られた結果と矛盾している。つまり、本研究の比重の結果から予想される分布は、日中は比重が大きいので仔魚の分布は底層に集中し、一方、夜間の比重は小さくなるので表層で分布のピークが示されるはずである。この矛盾は、クロマグロ仔魚の遊泳行動と、鰾の役割を考察することによって解消できると考えられる。鰾の膨張は個体の浮力と遊泳にかかる抵抗力の増加を伴うため、敏捷な遊泳を妨げる。クロマグロは日中に摂餌を行うため、日中は鰾を収縮させ個体にかかる抵抗力を減じて、遊泳力およびそれによって得られる揚力を増し活発に行動する。一方、摂餌を行わない夜間には、その逆に遊泳力も揚力も弱くなると考えられる。しかし Fig.2 に示したように夜間でも個体の比重は海水よりも大きく、もし遊泳をとめてしまえば重力により自然沈降して、下層に分布することになる。このことは、次の段階として、クロマグロ仔魚の飼育に適切な日中・夜間の流動と遊泳力との関係を解析して定量化する必要があることを示している。また、海域におけるクロマグロ仔魚採集において、夜間50-70m層での採集量の多いことは、夜間は逃避能力が低くかつ低層にいるため採集量が増すことを示し、一方日中の活発な逃避行動およびそれを可能にしている遊泳力が、日中の採集個体数を少なくしていることと、大きく関係していることを示唆している。<sup>5)</sup>

本研究では、クロマグロ仔魚の比重の系時的日変化・昼夜変化、および体長増加に伴う比重の変化を明らかにした。海洋のように、表層から深層まで鉛直移動することが不可能な養殖クロマグロ仔魚の浮上死・沈降死低減対策としては、仔魚の分布を飼育水槽の表層にも底層にも偏らせないことが有効であろう。クロマグロの鉛直位置は、クロマグロの遊泳能力と重力沈降の均衡、それを補

助する飼育水槽の流動で決定される。今後は、仔魚の比重だけではなく、飼育水槽内での仔魚の分布・行動変化の把握、仔魚遊泳速度の測定などを行い、それらを総合的に解析し、適切な飼育物理環境を構築する予定である。

#### 謝辞

本研究の実施に当たり、近畿大学水産養殖種苗センター白浜事業場の宮下 盛教授、那須敏郎氏、小田誠二氏、COE 研究員中川至純博士、河野博俊氏、橋本卓也氏をはじめ多くの方に多大なるご協力を頂いた。厚く御礼申し上げます。

#### 文献

- 1) 宮下 盛. クロマグロの種苗生産に関する研究. 近畿大学水産研究所報告, 2002 ; 8 : 1-171.
- 2) 坂本 亘, 岡本杏子, 上土生起典, 家戸敬太郎, 村田 修. クロマグロ仔魚の成長に伴う比重変化. 日水誌 2005 ; 71 : 80-82.
- 3) 石田昌史. 人工孵化クロマグロの初期減耗に関する研究. 修士論文, 近畿大学, 奈良. 2003.
- 4) Hunter JR, Carol S. Diel changes in swim bladder inflation of the larvae of the northern Anchovy, *Engraulis mordax*. Fish. Bull. 1976; 74: 847-855.
- 5) 遠洋水産研究所クロマグロ仔稚魚採集調査. 俊鷹丸第 1 次調査航海報告, 1999, p.1 - 89.