

クロマグロにおける衝突死の発生防止法について^a

石橋泰典,^{1*} 本領智記,¹ 倉田道雄,² 宮下 盛,² 澤田好史,² 岡田貴彦²

(種苗生産・養殖グループ)

¹近畿大学大学院農学研究科, ²近畿大学水産研究所

* isibasi@nara.kindai.ac.jp

クロマグロ *Thunnus thynnus orientalis* の大量生産には様々な問題が存在し,¹⁾ とりわけ、種苗生産過程に起こる衝突死の発生防止法の開発が最優先課題の一つとされている。著者らは、衝突死の発生原因を様々な角度から検討し、クロマグロの稚魚期には、コルチゾルストレス反応が顕著に発現する²⁾ とともに、薄明視を担う網膜の桿体細胞が発達することを明らかにした。³⁾ また、陸上水槽では、全長 12cm 前後に衝突死の多発することが知られている⁴⁾ が、その時期には筋肉重量比が高まるとともに、強制遊泳によって全魚体または普通筋の ATP 含量が著しく減少し、突進遊泳時のエネルギー出力が最大になることを報告した。^{4,5)} さらに、沖出し後には衝突による大量死が発生するが、クロマグロは輸送や取扱いに極めて敏感なストレス反応を示すと同時に、網、水槽壁、魚体などの視覚刺激に対して他魚種ではみられない極度の異常反応、へい死を示すことを明らかにした。⁶⁾

すなわち、クロマグロは輸送、ハンドリング、視覚刺激等の環境変化に対して著しいストレス反応を示すと同時に、水槽壁や生簀網への衝突死は、夜間に軽減された視覚刺激の影響が薄明時に再び高まり、驚愕した魚が突進遊泳することによって明け方に高頻度で発生すると考えられた。また一方で、明け方などの低照度条件が視力の低下を招き、有色物質に対する反応を助長することや、水槽壁、網などの認知度の低下を招いて、衝突死を誘発していることも予測された。これらの仮説が正しければ、夜間や薄明

条件を除くことにより、衝突死の発生を軽減できると考えられる。

そこで本研究は、クロマグロにおける衝突死の発生防止法を開発するため、衝突死の発生に及ぼす明暗条件および照度の影響を検討した。

試料および方法

実験 I 衝突死に及ぼす明暗条件の影響

夜間から明け方に衝突死が発生し易いことから、衝突死に及ぼす明暗周期の影響を検討した。供試魚は、近畿大学水産研究所大島実験場で自然産卵し、養殖種苗センター白浜事業場で飼育された 32 日令のクロマグロ稚魚とした。試験区は 12 時間毎に照明をつけた明暗区、24 時間照明をつけた恒明区、24 時間暗くした恒暗区の 3 区とし、暗幕で水槽を完全に覆った 3 t FRP 水槽 3 基にそれぞれ設置した。明期における照度は、水表面位置で 120 Lux になるようにそれぞれ設置した。供試魚を各水槽に 40 尾ずつ収容し、生産水槽で給与された飼料を飽食与えて 1 週間の流水飼育を行った。各試験区のへい死魚は、毎日、尾数および外傷を調べるとともに、ソフテックス写真の測定に供した。実験開始 3 日目に全試験区の水槽から午前および午後の 6 時に魚を 3 尾ずつ採取するとともに、実験終了時の恒明区については 3 時間ごとに 3 尾ずつの魚を採取し、各種化学成分の測定に供した。

実験 II 恒明条件における照度の影響 薄明時に衝突死が発生し易いことから、24 時間明条件における照度の影響を検討した。供試魚は、大島実験場で自然産卵し、養殖種苗センター白

^a クロマグロの衝突死とその発生防止法 -IV

浜事業場で飼育された 40 日令のクロマグロ稚魚とした。試験区は、いずれも恒明条件で、各水槽の水表面位置における照度を 1500 Lux, 150 Lux および 15 Lux になるように暗幕で水槽を完全に覆った 3 t FRP 水槽 3 基内にそれぞれ照明を設置した。供試魚を各水槽に 40 尾ずつ收容し、生産水槽で給与された飼料を飽食与えて 1 週間の流水飼育を行った。各試験区のへい死魚は、毎日、尾数および外傷を調べるとともに、ソフトテックス写真の測定に供した。実験開始 3 日目には、全試験区の水槽から午前および午後の 6 時に魚を 3 尾ずつ採取し、実験終了時には、生残魚を 4 時間ごとに 3 尾ずつ取上げ、各種化学成分の測定に供した。

実験 III 生産水槽における電照飼育と照度の影響 生産水槽において、明暗や照度の調節による衝突死の発生防止効果を確認するため、夜間の電照飼育と照度の影響を検討した。供試魚は、大島実験場で生産された 31 日令のクロマグロ稚魚とし、30t 生産水槽 10 基にそれぞれ 500 尾ずつ收容して、9 日間の流水飼育を行った。試験区は、一般的な生産方式とされる自然日長条件の対照区、夜間に 1.5, 15 および 150 Lux の照明をつけた、低、中および高照度区、午前 3 時 30 分より 20 分毎に 1.5 から 12 Lux までの照明を順次段階的につけ、明け方の低照度期間を長くした低照度時間延長区の 5 試験区とし、いずれも 2 区ずつ設けて生残率、全魚体コルチゾル含量等を比較した。低、中および高照度区の電照は、いずれも午後 6 時の日没前から午前 6 時の日の出後に行い、魚が設定した照度以下の条件を経験しないようにした。各試験区のへい死魚は、毎日、尾数および外傷を調べるとともに、ソフトテックス写真の測定に供した。また、各試験区から毎日 4 尾ずつの魚を採取して各種化学成分の測定に供した。実験終了時には、1 時間毎の夜間へい死魚数を確認するとともに、3 時間ごとに 4 尾ずつの魚を各試験区から採取し、各種化学成分の測定に供した。9 日間の飼育試験終了後には、全ての試験区を自然日長条件に

戻し、生残率等の変化を追跡した。

測定項目および方法 全魚体のコルチゾル含量は、エーテル抽出した後に、エンザイムイムノアッセイでそれぞれ測定した。抗体は、魚類のコルチゾルと高い反応を示す抗ウサギコルチゾル抗体 (FKA404-E, Cosmo Bio 製)、標識コルチゾルはホースラディッシュペルオキシターゼで標識したコルチゾル-3-CMO-HRP (FKA403, Cosmo Bio 製) をそれぞれ用い、POD (ELISA POD 基質 OPD キット, ナカライテスク製) を基質として発色させて、450nm の吸光度を測定した。

統計処理 各測定値は Bartlett's test で分散の検定を行ない、有意差のない場合には ($p>0.05$)、一元配置分散分析の後に Duncan の多範囲検定法で有意差を調べた。また、Bartlett's test で分散に差がみられた場合には、Kruskal-Wallis test の後に Mann-Whitney U -test を行ない、統計的有意差を検定した。

結果および考察

実験 I 衝突死に及ぼす明暗条件の影響 異なる明暗条件で魚を飼育した結果、24 時間暗

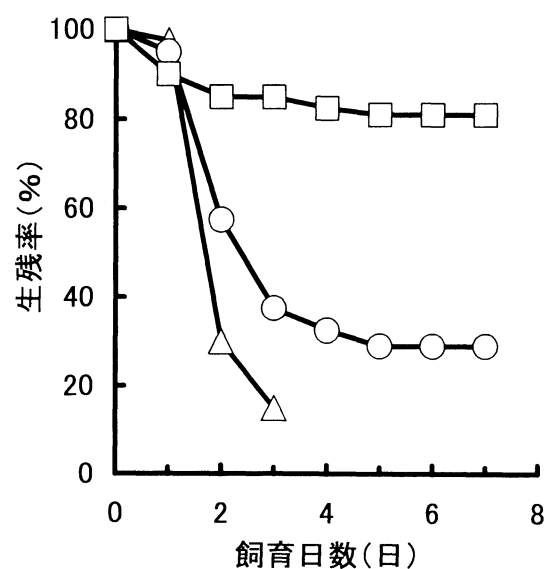


図1. クロマグロ稚魚の生残率に及ぼす明暗周期の影響. ○, 明暗区; △, 恒暗区; □, 恒明区.

くした恒暗区の魚の生残率は3日目で15%を示し、12時間毎に照明をつけた明暗区でも5日目の生残率は29%程度になった。(図1)一方、24時間照明をつけた恒明区は80%前後の高い値を示した。へい死魚の状況を観察すると、恒暗区および恒明区に比べ、明暗区の魚で頭部や体側に激しい外傷を伴ったものが多くなった。これより、明暗の切り替えによって、衝突死が高頻度で発生する可能性が高いと考えられた。また一方で、暗条件を削除することによって、衝突死の発生を軽減できることが明らかになった。

実験Ⅱ 恒明条件における照度の影響 24時間明るくした恒明条件で魚を飼育した結果、15 Luxの低照度で飼育した魚の生残率は22%を示し、150および1500 Luxで飼育した魚の48および60%よりも低くなることが示された。(図2) また、へい死魚のソフテックス写真を撮影した結果、どの試験区でも80%前後の魚に副蝶形骨の骨折や椎骨異常の発生することがわかり、へい死魚の多くが、衝突死によって死んだことを示した。(図3) これより、恒明条件でも、15 Luxの低照度で衝突死などのへい死が発生し易く、明け方の低照度条件でへい死の起

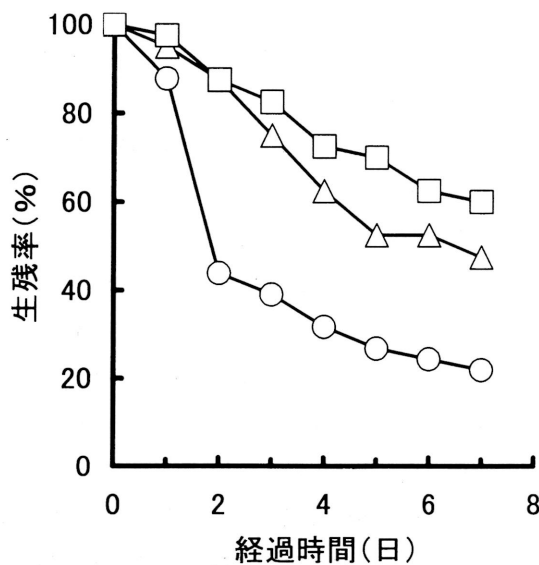


図2. クロマグロの生残率に及ぼす24時間明条件下の照度の影響. ○, 明暗区; △, 恒暗区; □, 恒明区.

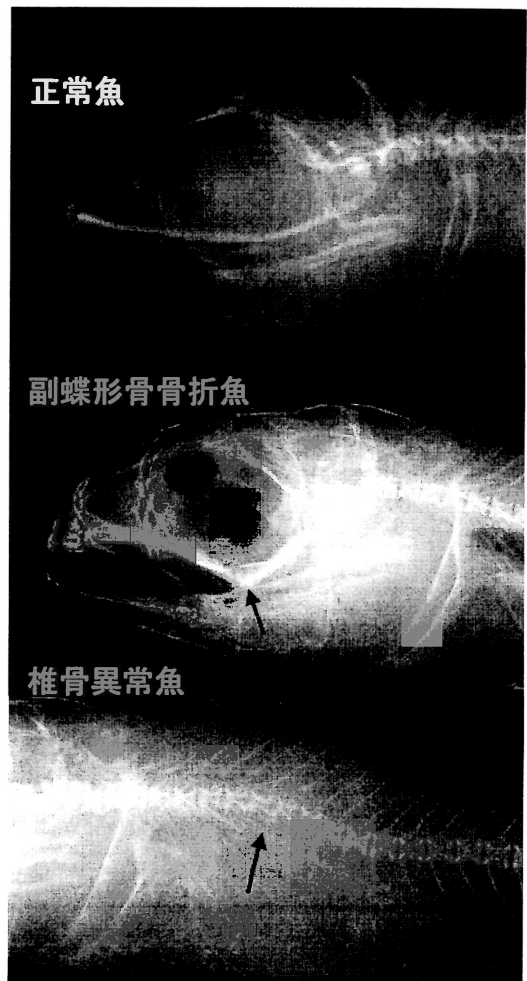


図3. 各試験区クロマグロのへい死魚に観察された副蝶形骨骨折魚および椎骨異常魚のソフテックス写真. 図中の矢印は、異常部位を示す各試験区のおよそ80%のへい死魚に上記の異常が観察された.

りやすいことが示唆された。また一方で、24時間150 Lux以上の照度を保つことによって衝突死の発生をかなり軽減できることがわかった。

実験Ⅲ 生産水槽における電照飼育と照度の影響 自然日長区の魚の生残率は、実験開始から直線的に低下し、9日目に平均64%の低値を示したが、夜間の照度を150 Lux以上に設置した高照度区では80%前後の高い値を示した。一方、夜間の照度が1.5および15 Luxの低および中照度区、並びに、低照度時間延長区の9日目の生残率は、50~60%程度を示し、自然日長区よりも低くなることが示された。飼育10日目より、全ての試験区を自然日長条件に戻し、生残率等の変化を調べた結果、生残率の差異が小

さくなる傾向を示したが、急激な大量死等は発生しなかった。また、へい死魚のソフテックス写真を撮影した結果、どの試験区でもほとんどの魚に実験Ⅱと同様の副蝶形骨の骨折や椎骨異常の発生が観察され、へい死魚の多くが、衝突死によって死んだことを示した。さらに、実験9日目における各区魚の血漿コルチゾル含量を3時間毎に測定し、全ての平均値で試験区毎に比較した結果、有意な区間差は認められなかった。

以上の結果、24時間150 Lux以上の照度を保つことによる衝突死の発生防止効果が、生産レベルでも確認された。また、それらの処理を行っても、クロマグロは高いストレス状態にならないことや、処理後に自然日長条件へ戻しても大量死等の発生しないことが確かめられ、実用レベルで利用できることが明らかとなった。

衝突死の発生機構 本実験の結果、夜間や明暗周期などで経過する150 Lux以下の低照度期間をなくすと生残率が増加すること、15 Lux以下の低照度条件を設置すると逆に衝突死などの死亡魚が増加すること、これらのへい死魚はほとんど骨折していることがそれぞれ示された。すなわち、水槽壁や生簀網への衝突死は、夜間に一度軽減された視覚刺激が薄明時に高まり、驚愕した魚が突進遊泳することによって明け方に高頻度で発生すると考えられた。これは、近距離の有色物質を極度に怖がるクロマグロ特有の性質⁶⁾に基づくと考えられるが、15 Luxでは、すでに明順応の起こることも報告されている。⁷⁾ 低照度条件では、錐体細胞による視精度や桿体細胞による薄明視などの視覚機能が曖昧になり、有色物質に対する反応が助長されるのかもしれない。また一方で、衝突多発期には、遊泳能力を十分に制御できずに水槽壁等へ衝突し易いことも報告されている。¹⁾ 明け方の低照度条件では、薄明時に有色物質等に驚

愕した魚が、十分に水槽壁や生簀網等を認知できず、衝突死が発生し易いことも予想できる。いずれにしても衝突死は、有色物質を極度に怖がるクロマグロ特有の性質が主因で発生すると考えられるが、低照度条件でのへい死魚の増加は、視力や薄明視等の視覚機能の低下に伴う相乗作用がそこに関与することを意味するのだろう。

謝 辞

本研究の実施にあたり、ご協力を頂きました近畿大学養殖種苗センター白浜事業場の那須敏郎、小田誠二両技術係長、近畿大学水産研究所大島実験場の方々、並びに水産増殖学研究室の教職員、学生諸氏に深謝致します。

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) 石橋泰典, 森川真理, 岡田貴彦, 那須敏朗, 小田誠二, 宮下 盛. クロマグロのストレス反応とその発育変化. 同書, 2005.
- 3) 松浦良太, 大畑尚輝, 澤田好史, 石橋泰典. クロマグロにおける視細胞の標識方法と発達過程. 同書, 2005.
- 4) 石橋泰典, 本好知央, 岡田貴彦, 澤田好史, 熊井英水. 強制遊泳に伴うクロマグロのエネルギー代謝と衝突多発期前後の変化. 平成16年度日本水産学会講演要旨集, 鹿児島, 2004; 867.
- 5) 本好知央, 倉田道雄, 岡田貴彦, 石橋泰典. クロマグロにおける衝突多発期前後のエネルギー代謝と強制遊泳の影響. 平成17年度日本水産学会講演要旨集, 東京, 2005; 550.
- 6) 石橋泰典, 澤田好史, 宮下 盛, 岡田貴彦, 倉田道雄. クロマグロにおける衝突死の発生原因について. 同書, 2005.