

クロマグロにおける衝突死の発生原因について^a

石橋泰典,^{1*} 岡田貴彦,² 澤田好史,² 宮下 盛,² 倉田道雄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* の種苗生産過程では、初期減耗、共食い、衝突死などの様々な問題が発生する。特に衝突死は、魚が大きくなってから発生するため、種苗生産上のダメージが非常に大きい重要課題とされている。^{1,2)}

衝突死は、およそ 30~60 日令の稚魚または若魚が突如として突進遊泳を行い、水槽壁や生簀網に衝突してへい死する現象である。この現象は、従来、陸上水槽や小型の生簀網で飼育すると高頻度で発生したが、30 m を超える大型生簀網の使用により、そのへい死を軽減することができるようになった。¹⁾ 現在の種苗生産では、陸上水槽で育った稚魚をできるだけ早く海上の網イケスへ沖出しすることにより、衝突死による減耗を少なくする方法が取られている。しかし一方で、沖出し後の翌日からわずか数日間に、全体の 40~70% に達する大量死の発生することが観察されるようになった。この原因は明らかではないが、現在、クロマグロの量産化を阻む極めて重要な課題とされ、その解決が急がれている。

沖出しの過程を区分すると、陸上水槽における魚の追い込み、手網による取り上げ、トラックや船による輸送、生簀網への収容作業に大別できる。この作業を魚における環境変化のストレスとして捕らえると、沖出し作業では、拘束、ハンドリング、高密度、輸送などのストレスが負荷され、生簀に収容後は、光、音、さらに生簀網などの構造物といった主に視覚的な環境変

化が負荷されることになる。これまでの研究により、クロマグロの稚魚期にはコルチゾル分泌に伴うストレス反応の起こることが明らかになった。²⁾ 沖出し作業およびその後には、上記の様々な環境変化が複雑に影響し、コルチゾルなどのホルモン分泌に伴うストレス反応が起こって、衝突死やスレが発生するのであろう。あるいは、ストレス状態で、別の刺激が引き金となって突進遊泳を引き起し、衝突死やスレによるへい死が増加する。沖だし後の数日間には、魚にこのような反応が起こり、大量へい死が発生すると考えられた。

そこで本研究は、クロマグロの視覚に関する特徴を明らかにするため、視覚刺激に対する魚の行動およびストレス反応等を調べて、衝突死の発生機構について考察した。

試料および方法

実験 I 網に対するストレス反応 クロマグロ稚魚では、沖出し後の翌日から大量死が発生し易いため、最初に網の設置に対する魚の反応を調べた。すなわち、陸上生産水槽で飼育中の 41 日令の稚魚を、屋内ビニールハウス内の透明 2t 水槽および目合い 2mm 径の網が撓まないように内部に設置された透明 2t 水槽にそれぞれ 20 尾ずつ収容し、魚の行動、摂餌量、生残率などを比較した。飼育水は流水方式とし、水温は $24.3 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、pH は 8.0 ± 0.1 、溶存酸素量は $6.7 \pm 0.1\text{mg/L}$ 、塩分 $34.7 \pm 0.1\text{PSU}$ であった。飼料は、生産水槽で使用されていたものを飽食量与えた。明暗条件は自然日長とし、

^a クロマグロの衝突死とその発生防止法 - II

魚の行動等は、視野が無くなるまで観察した。

実験 II 網の視覚刺激に対するストレス反応 実験 I の条件では、網の設置による視覚刺激と網への接触刺激の両者が影響すると考えられたので、透明 2t 水槽内に網を設置して海水を入れ、その中に透明 1t 水槽を設置した試験区を設けた。すなわち、魚は網を認識できるが、接触できないようにした。対照区は同様の構造で網を設置しないものとした。実験魚は陸上生産水槽で飼育中の 42 日令の稚魚とし、それぞれ 7 尾ずつ収容して、魚の状況、摂餌量、生残率などを比較した。飼育水は流水方式とし、水温は $24.9 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 、pH は 8.1 ± 0.1 、溶存酸素量は $6.8 \pm 0.1\text{mg/L}$ 、塩分 $34.8 \pm 0.1\text{ PSU}$ であった。飼料や観察条件は実験 I と同様にした。

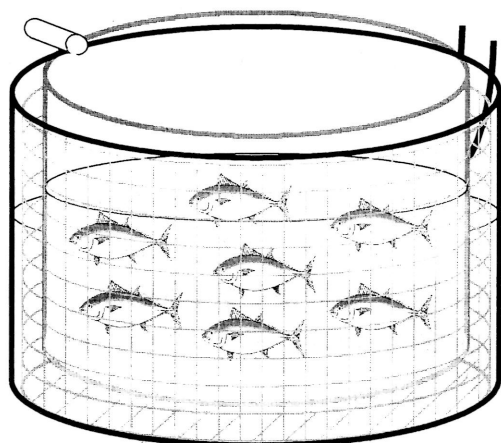


図1. 網の視覚刺激に対する反応の試験水槽概略図

実験 III 色および明度に対する影響 網、水槽の色や明度など、何に反応するかを調べるため、視覚刺激に対する反応が著しいと考えられる小型水槽を使って検討した。すなわち、28 および 29 日令の稚魚を色相では、赤、青、緑および黄色、明度では透明、白、灰および黒色と色の異なる 10L 水槽、それぞれ 3 水槽ずつの計 24 水槽に魚を 3 尾ずつ収容し、照度 5000Lux で 4 時間の観察を行った。飼育水は、止水条件で通気を行い、水温は 26.5°C であった。

実験 IV 有色物質に対する反応と照度との関係 有色物質に対する反応が低照度下でも発生するかどうかを調べるため、明度に対する反

応を様々な照度条件で比較した。すなわち、透明、黒および白色の 30L 水槽を 1 組として 25、250 および 2500 Lux の照度条件下にそれぞれの水槽を設置し、40 日令の稚魚を収容して、行動、生残率および全魚体コルチゾル含量を調べた。各水槽は 3 水槽ずつの計 27 水槽を設置し、止水条件で通気を行った。水温は 24.8°C 、観察時間は 3 時間とした。

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ロ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 網に対するストレス反応 生産水槽から移した直後に、透明水槽では、魚の顕著な変化は見られず活発な摂餌行動が示されたが、網設置水槽の魚は体色が黒化し、摂餌行動も鈍くなった。また、網設置区では、自然日長下で暗くなるまでに 1 尾のへい死魚が確認されたが、対照区には観察されなかった。翌朝 6 時の照度 500 Lux までに魚を観察すると、対照区では 2 尾の死亡が観察され、生残率は 90% となった。一方、網設置区では 20 尾全てがへい死し、生残率は 0% になった。また、へい死状況を調べた

結果、対照区ではヤセたものが死んで顕著な外傷はみられず、輸送などの処理が影響したと考えられた。これに対し、網設置区ではほとんどの魚で著しい頭部損傷が認められ、飛び出しによる死亡も観察された。これより、夜間から明け方にかけて、視覚刺激に対する反応で魚が衝突死を起こしたと考えられた。一方で、試験区には網が設置されており、魚が夜間に網へ接触した可能性も考えられた。

実験 II 網の視覚刺激に対するストレス反応 実験 I の結果が視覚刺激によるものか網との接触によるものかを明確にするため、実験 I と同じ透明水槽と網設置水槽をそれぞれ作成し、さらにその中に透明水槽を沈めて魚を收容した。その結果、摂餌に関しては実験 I とほぼ同様の傾向が観察され、網設置区の魚の摂餌量は対照区よりも低下する傾向を示した。また、收容日の暗くなるまでに、両区ともへい死魚は観察されなかったが、翌朝 6 時、照度 500 Lux 以下の生残率は、対照区が 100 % であるのに対し、網設置区は 0 % であった。さらに、網設置区で死んだ魚はいずれも激しい頭部損傷を伴い、水槽から飛び出したものが多数観察された。これより、夜間から薄明時にかけて、網の視覚刺激に対する顕著な反応が起こり、衝突死などの大量死が発生することを確認できた。

実験 III 色および明度に対する影響 網または水槽の色および明度に対する影響を調べた結果、小型水槽内ではクロマグロ特有の特徴的な行動を示すことがわかった。すなわち、クロマグロ稚魚は、有色の小型水槽に收容してしばらくすると、水槽壁面に接する表層を突進遊泳したり、底面・壁面に体をこすり付けたりする狂奔行動、水槽中央部できりもみ状態などを示す異常行動などを示し、その後横転してへい死することが観察された。水槽色を比較すると、色相の中では黄色で狂奔反応の高いことや、白色などの明度が高いものに顕著な反応を示すことが観察された。(表 1) 一方、黒色や緑色水槽ではその反応は低くなったが、一部の魚に

狂奔が観察された。これに対し、本実験条件下の透明水槽に收容された魚は、異常行動やへい死などを全く示さなかった。すなわち、色相や明度に対するクロマグロの反応に、違いのあることは観察されたが、それと同時に、近距離に存在する有色物質に対して、極度の狂奔反応を示す特徴のあることが明らかになった。

表1. クロマグロ稚魚の異常行動およびへい死率に及ぼす水槽色および明度の影響 (%)

水槽色	狂奔・異常遊泳率	横転率	死亡率
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
透明	0 ^a	0	0
明度	白 100 ± 0 ^b	55.6 ± 50.9	0
	灰 55.6 ± 50.9 ^{abc}	22.2 ± 19.2	22.2 ± 19.2
	黒 55.6 ± 19.2 ^c	22.2 ± 19.2	11.1 ± 19.2
色相	赤 88.9 ± 19.2 ^{bc}	77.8 ± 19.2	22.2 ± 19.2
	青 88.9 ± 19.2 ^{bc}	33.3 ± 33.3	11.1 ± 19.2
	緑 44.4 ± 38.5 ^{ac}	11.1 ± 19.2	0
	黄 100 ± 0 ^b	22.2 ± 38.5	22.2 ± 38.5

^{abc} 異なる文字間に有意差あり (P<0.05).

飼育水槽の色によって、成長³⁾やストレス反応⁴⁾などに違いのあることは一部の魚で報告されている。しかし、背景色に対して急激なへい死を伴う異常現象は、これまでのところ他魚種では観察されていない。すなわち、近距離の物質に対して極度に怖がる性質こそが、クロマグロ特有の衝突死発生原因であると考えられた。クロマグロの突進遊泳は、日中、魚体どうしが近づきすぎ、個体間距離が小さくなることによっても発生することが観察されている。¹⁾ クロマグロは、環境変化に対して逃避行動的な適応様式を取るため、²⁾ 自然界では天敵等の物質の接近に対し、極度に過敏な反応が求められるのであろう。このことが、陸上水槽や小型生簀網での衝突死発生に強く関与すると考えられる。

実験 IV 有色物質に対する反応と照度との関係 クロマグロの有色物質に対する反応と照度との関係を調べた結果、25 Lux の低照度で、透明水槽の魚の行動、全魚体コルチゾル含量に顕著な変化はみられなかったが、黒色水槽では、コルチゾル含量の増加傾向が観察された。また、白色水槽ではコルチゾル含量の増加以外に狂奔やへい死率の増加が示された。さらに、その

影響は照度が高くなるほど大きくなることがわかった。すなわち、薄明時や明け方の低照度下でも有色物質に対して異常行動が発現すると考えられた。

クロマグロの衝突死は、陸上水槽などでは日中にも観察されるが、経験的には薄明時に多く発生すると考えられている。⁵⁾ また、クロマグロ稚魚の網膜運動反応による暗順応から明順応への変化は、7.52 Lux で起こり、反応の完了までに15分を要することが報告されている。⁶⁾ これらの知見および本実験の結果から、クロマグロは、薄明時の視覚刺激に対して突進遊泳を引き起こし、衝突死を引き起こす頻度が高いと考えられた。特に、実験ⅠおよびⅡで観察された網の視覚刺激に対する大量へい死は、夜間に網の影響が軽減され、薄明時に再びその刺激が增強されて驚愕・突進遊泳による衝突死を招いたものと考えられる。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。生産現場でみられる沖出し後の大量へい死は、沖出しの翌日から数日の間に発生し、その後には少なくなる。沖出し作業や環境変化によるストレスとともに、網などの視覚刺激に対する反応が、強く関与するのであろう。

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水産研究所大島実験場、近畿大学養殖種苗センター白浜事業場、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) Tamazouzta L, Chatain B, Fontaine P. Tank wall colour and light level affect growth and survival of Eurasian perch larvae (*Perca fluviatilis* L.) Aquaculture 182, 85-90, 2000.
- 4) Rotllant J, Tort L, Montero D, Pavlidis M, Martinez M, Wendelaar Bonga SE, Balm PHM. Background colour influence on the stress response in cultured red porgy *Pagrus Pagrus*. Aquaculture 223, 129-139, 2003.
- 5) Kumai H. Present state of bluefin tuna aquaculture in Japan. Suisanzoshoku 1997; 45: 293-297.
- 6) Masuma M, Kawamura G, Tezuka N, Koiso M, Namba K. Retinomotor responses of juvenile bluefin tuna *Thunnus thynnus*. Fisheries Sci. 67, 228-231, 2001.