

クロマグロ仔魚の沈降死発生メカニズムに関する研究 (Mechanism of sinking death in Pacific Bluefin tuna larvae)

農学研究科 水産学専攻
博士後期課程 伊奈佳晃

クロマグロ *Thunnus orientalis* は成長が早く商業価値が高いため、養殖も盛んに行われている。しかしクロマグロの養殖用種苗は、主に天然で捕獲された幼魚が使用されている。そのためクロマグロ養殖生産量の上昇は、天然魚の漁獲圧の増加につながり資源への悪影響が懸念されている。今後クロマグロ養殖の持続的な発展を図るためには、天然資源に依存せず卵から成魚まで養殖を行う、いわゆる完全養殖技術の確立が必要不可欠である。クロマグロの完全養殖は近畿大学ですでに達成されているが、本種の人工種苗生産にはいまだ多くの課題が残されている。中でも仔稚魚期に発生する大量減耗を予防することが大きな課題としてあげられており、本研究で対象とした沈降死はその主な要因の一つとなっている。沈降死による仔魚の死亡率は90%に達することもあり、クロマグロ種苗の生産量を不安定にしている。沈降死とは夜間に仔魚が水槽底部で大量に死亡している現象とされているが、沈降死が夜間暗所で発生することや、対象となる個体が仔魚のため3~6 mm と小さく現象観察が極めて困難であることなどから、その発生メカニズムがいまだ解明されていない。そこで本研究では、特殊な撮影機器を用いることによって、夜間発生する沈降死の過程を撮影した。その結果から仔魚期の遊泳時のエネルギーを算出することにより、沈降死の発生メカニズムを本種仔魚の行動学的側面から明らかにする。

沈降死の発生動態

いつどのような個体が水槽底部に沈降しているのかを明らかにすることを目的に、孵化後2~9日目の個体を対象に、夜間鉛直分布の測定と仔魚の形態的特徴の計測を行った。高さ300 cmの直方体の水槽を上層（深度0~100 cm）、中層（100

～200 cm), 下層 (200～300 cm) および, 水槽底 (水槽底に接触した個体) の 4 つに分け仔魚の鉛直分布を測定した。その結果, 孵化後 4 日目以降では, クロマグロ仔魚の夜間鉛直分布は, 上層と水槽底に 2 極化する傾向がみられた。上層の個体には, 孵化後 3 日目以降に鰾が膨張した個体が確認されたが, 水槽底の個体では, 観察期間中に鰾が膨張した個体はまったく確認されなかった。上層に分布していた鰾膨張個体および鰾収縮個体の全長および遊泳能力の指標となる尾鰭のアスペクト比は, 底部に分布していた鰾収縮個体よりも大きくなっていた。鰾が収縮し, 遊泳器官の発達が遅れている個体が水槽底部に沈降し, 死亡していることが明らかとなった。この結果は, 沈降死には鰾の膨張の有無および遊泳能力が大きく影響していることを示している。

遊泳行動解析による沈降死発生過程の定量化

沈降死の発生に影響を与えることが示唆された仔魚の遊泳能力に着目し, 水槽内の遊泳行動の3次元解析と個体の形態的特徴を計測した。3次元遊泳行動解析から得られた遊泳速度および, 遊泳角度 (遊泳ベクトルが水平面となす角度) のデータを用いて, 形態的特徴の違いが沈降死に与える影響を調べた。あわせて, 昼と夜で行動特性に差があるかも調べた。その結果, 日中には鰾が収縮して活発に水平方向に遊泳し, 表層に分布する個体のみが確認された (昼間鰾収縮遊泳)。夜間の撮影では, 鰾が膨張し遅い速度で遊泳しながら表層に分布する個体と (夜間鰾膨張遊泳), 鰾が収縮し鉛直方向の遊泳行動を頻繁に行うことで一定深度以上を維持する個体 (夜間鰾収縮遊泳), さらに, 鰾が収縮し水槽底部へ沈降する個体 (夜間鰾収縮沈降) の3ケースに分類できた。これらの行動を示す個体から, 鉛直および水平方向の遊泳速度を解析した結果, 昼間鰾収縮遊泳個体は, 夜間の個体と比較して遊泳速度が速くなり, 特に水平方向の遊泳速度が速くなっていた。夜間では, 夜間鰾膨張遊泳個

体が表層で遅い速度で遊泳して分布していたが、夜間鰾収縮遊泳個体は夜間鰾膨張遊泳個体よりも鉛直方向への遊泳が頻繁に見られ、また水平方向の遊泳速度は夜間鰾膨張遊泳個体およそ2倍大きかった。この結果は、夜間鰾収縮遊泳個体が夜間鰾膨張遊泳個体よりも深度維持に必要なエネルギーを多く必要としていることを意味しており、鰾の膨張の有無が夜間の遊泳時エネルギーの消費量に差を与え、それが沈降死の発生リスクに影響を与えていることを示唆している。

仔魚の遊泳エネルギーが沈降死発生に与える影響

クロマグロ仔魚の遊泳行動解析データから遊泳時エネルギー（遊泳に必要な力学的エネルギー）を推定した。全長5.0 mmの、夜間鰾膨張個体が遊泳により深度維持を1分間行う際に必要な遊泳時エネルギーは日中鰾収縮個体の8分の1であった。夜間では摂餌ができないため、鰾を膨張させることによって深度維持を可能とし、遊泳時エネルギーの消費を低く抑えられていると考えられる。一方、夜間収縮遊泳個体は夜間膨張遊泳個体よりも8.7倍と遊泳時エネルギーが大きくなり、日中収縮個体よりも大きくなった。この結果は、エネルギーが補給できない夜間にきわめて大きな遊泳時エネルギーを必要としていることを示している。これは夜間鰾収縮個体が、深度維持を行うために鉛直移動を頻繁に行っていたことが原因であることが実験観察からも明らかとなった。日中の照度環境と同様にした実験水槽に飼育水槽から移し、無給餌状態で遊泳させたところ、すべての個体が12時間以内に水槽底部に接触し、再び遊泳することはなかった。これは摂餌によるエネルギー供給が行われなかったことにより、個体が持続的に遊泳不可能となったためと考えられる。この持続遊泳から導き出した個体が持つ遊泳時エネルギー容量に基づいて推定した摂餌を全く行わない場合

の持続遊泳可能な時間夜間鰮膨張遊泳個体が96時間だったのに対し、夜間収縮遊泳個体では11時間となった。クロマグロの種苗生産現場では、夜間に照明を点灯させない時間をおよそ12時間としているため、夜間に鰮が収縮した個体が遊泳し続けることは困難であると推察される。これらのことから、夜間でも鰮が収縮した個体は、鰮が膨張した個体よりもエネルギー消費がかなり多くなるが、夜間であるために十分なエネルギーを補給することができない。その結果、遊泳を続けることができず水槽底に着底する。この状態のまま斃死に至った過程を種苗生産現場では沈降死としている可能性が高いと推察された。

クロマグロ仔魚の深度維持に必要な流動環境

夜間鰮が収縮していることによって、遊泳時エネルギーが増加することが沈降死の原因となることが示された。仔魚は水中重量と流体抵抗が釣り合うことによって一定の速度で沈降する。この速度を力学的に算出し、この流速を水槽内に鉛直上方に発生させれば仔魚が理論上沈降することはない。したがって、個体の深度維持に必要な遊泳時エネルギーを低減させることができ、沈降死を防除できることが期待できる。そこで鉛直上向きの流れを発生させる実験水槽を用意し、孵化後4, 6, 8日目の鰮収縮個体を水槽内に入れ、流れが仔魚の沈降に与える影響を評価した。仔魚の沈降速度は、どの日齢でもおよそ 1.0 TL s^{-1} であった。この流速以上の流れを与えたところ鰮収縮個体は沈降することなく一定の深度以上を維持することが可能であった。このオーダーの流速は 0.5 cm s^{-1} であり、これまで報告されていた流速よりも4分の1程度の弱い流れであった。クロマグロ仔魚の深度維持を支持するには、循環流ではなく鉛直上向きの一様流が重要であることが示された。このような流れを発生させる水槽が開発されれば、沈

降死を防除して生残率を向上させることが可能となり、クロマグロの種苗
量産化の達成につながると考えられる。