

論文の内容の要旨

水圏生物学専攻
平成 11 年度博士課程進学
氏 名 北川貴士
指導教官名 杉本隆成

論文題目 Study on the swimming behavior of immature Pacific bluefin tuna, *Thunnus thynnus orientalis*, and influence of the ocean environment in the western North Pacific

(西部北太平洋におけるクロマグロ未成魚の遊泳行動とそれに及ぼす環境要因に関する研究)

太平洋産クロマグロ *Thunnus thynnus orientalis* はスズキ目サバ亜目サバ科に属し、北太平洋の温帯海域に分布している。本種は魚類の中で最大級にまで成長し、かつ高速で遊泳しながら大回遊を行う。また肉質や経済性にも優れることから、水産業上重要な魚種のひとつになっている。しかし、1992 年の CITES (絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約) 第 8 回締約国会議において、大西洋産クロマグロ (*T. t. thynnus*) を絶滅危惧種に含めることが提案されるなど、最近年は漁業規制の動きが活発化している。このような厳しい国際情勢を反映して資源の国際的な管理の強化が求められており、より精度の高い資源評価や資源の将来的な動向予測の基礎となる知見が必要となってきた。特に、北太平洋における回遊生態、産卵・初期生態等を把握することは最重要課題と考えられるが、日本周辺海域における本種の回遊生態に関する知見はまだ少なく、そのほとんどは漁獲情報に基づく大まかなものである。

そこで本研究では、標識型小型記録器 (Archival tag) をクロマグロ未成魚の行動研究に適用し、個体の行動と個体が経験する海洋環境を同時に連続計測することにより、特に、西部北太平洋における未成魚期のクロマグロの遊泳行動とそれに影響を及ぼす物理・生物環境要因を明らかにし、本種の温帯水域への適応機構について考察することを目的とした。

用いた記録器の本体は、長さ 10cm、直径 16mm のステンレス製のシリンダーで覆われており、その一端に長さ 15cm、直径 2mm のケーブルがつながっている。ケーブルの先端は水温と照度のセンサーになっており、本体内に温度と圧力のセンサーがついている。記録器による計測間隔は 128 または 256 秒に 1 回で、最大 80 または 160 日間の記録が可能である。また、日出と日没の時

刻から毎日の緯度経度を推定することができる。独立行政法人水産総合センター遠洋水産研究所では、東シナ海対馬沖において、曳縄で漁獲されたクロマグロの腹腔内にこの記録器を装着し、1995年から1998年の冬季(11-12月)に合計229個体を放流している。放流個体は尾叉長43-78cmで、当歳もしくは1歳魚と推定されている。本研究ではこれまでに再捕・回収された32個体のタグに記録された水温、遊泳深度、腹腔内温度の時系列データを解析した。なお、再捕された32個体のうち20個体は放流後12ヶ月以内に東シナ海で、5個体は5ヶ月から12ヶ月以内に日本海で、もう5個体は4ヶ月から4年以内に黒潮・親潮移行域、残り1個体は2年以内に東部太平洋で再捕された。

解析結果の大要は以下の通りである。

1. 水温がクロマグロ未成魚の鉛直遊泳行動・分布に与える影響

クロマグロ未成魚の鉛直行動・分布の日周期及び季節変化、それらに及ぼす水温の影響を検討し、以下のことを明らかにした。

(1) 東シナ海において、冬季には、クロマグロは表層混合層内で夜間は表層、昼間はより深い水深を遊泳しており、遊泳深度の変化に日周期性が認められた。水温躍層が形成されていた南西海域まで大きく移動した数個体は日周期性がとくに顕著であったことから、躍層の発達が発達水深の日周期性を顕著にする要因であることが示唆された。(2) 一方、水温躍層の発達する夏季は、クロマグロは一日の大半をごく表層で過ごしており、躍層付近での急激な水温変化を避けて表層を滞泳していた。しかし、昼間には水温躍層を越える鉛直移動が短時間ながら頻繁にみられ、そのため日周期性は冬季より顕著になった。これらの結果から、空間的・季節的な環境水温の鉛直構造の変化が、本種の鉛直遊泳行動・分布を規定していることが分かった。

2. クロマグロの摂餌に伴う鉛直遊泳行動とその海域間比較

夏季にクロマグロが行う水温躍層を越えた鉛直移動の目的を把握するため、その摂餌との関係について検討を加えた。また、鉛直行動の遊泳海域(東シナ海、黒潮・親潮移行域、日本海)による違いとその要因について検討を行い、以下のことを明らかにした。

(1) 東シナ海から移行域へ移動した個体は、黒潮フロントや黒潮続流から生じた暖水渦の中で滞留していた。これらの海域では同時期の東シナ海ほど水温成層が発達していなかったにもかかわらず、クロマグロは表層を遊泳する傾向が強く、日出時と日没時にみられた鉛直移動を除けば50m以深への降下頻度は同時期に東シナ海を遊泳していた個体に比べ、有意に低いことが分かった。

(2) 摂餌に伴い腹腔内温度が一時的に低下することを利用して摂餌頻度を推定した結果、移行域の個体は東シナ海の個体に比べて昼間により多くの摂餌を行っていることが分かった。このことから、東シナ海ではクロマグロは水温躍層以深への鉛直移動を行うことで索餌しているのに対し、移行域ではクロマグロは主に水平移動を行いながら、フロント付近に集積しているカタクチイワシなどを摂餌している可能性があることが分かった。一方、日本海に移動した個体についても主に表層を遊泳することが分かったが、これは餌の鉛直分布に加え、表層の水温が他の海域に比べ著しく低いことなどが影響したものと推察された。このように鉛直遊泳行動の海域による違いに

は、海域の密度成層や餌生物のバイオマスや鉛直分布などが複合的に関与していることが示唆された。(3) どの海域においてもクロマグロは日出時と日没時に必ず潜行を行ったものの摂餌は見られなかったことから、この鉛直移動は朝夕の急激な照度変化を避ける反応行動であると考えられた。

3. クロマグロ未成魚の体温保持機構

クロマグロが水温躍層を避けて主に表層に滞在している理由に関して、クロマグロの体温（ここでは腹腔内温度）の低水温環境下での保持機構という観点からデータ解析を行い、以下のことを明らかにした。

(1) 腹腔内温度は、冬季には昼夜ともにまわりの水温より2℃ほど高く保たれており、この温度差は水温が変化してもほぼ一定であった。また尾叉長が大きい個体ほど温度差が大きくなる傾向があることから、温度保持に体の大きさが関係していることが示唆された。(2) 一方、夏季においても腹腔内温度は基本的に水温より高く保たれていたが、どの個体についても水温が低くなるにしたがい両者の温度差が大きくなる傾向が見られた。(3) 熱収支モデルを用いて、夏季における腹腔内温度の保持機構に関する検討を行った。その結果、腹腔内温度の保持には大きな熱的な慣性や高い発熱速度が重要であることが分かった。いったん体温が下がると回復するのに時間がかかるため、クロマグロは水温躍層下への長時間の侵入をできるだけ避けて主に表層混合層内遊泳する。侵入するにしても、体温への影響の小さい短時間の鉛直移動を行うことにより体温を保持しているものと考えられた。(4) 鉛直行動は日照量に左右され、照度が低下する曇りの日は鉛直移動の頻度とこれに伴う体温変動が減少することが分かった。

4. クロマグロの温帯域への適応機構

クロマグロが、熱帯・亜熱帯より水温の低い西部北太平洋の温帯環境にどのように適応しているのかを明らかにするため、本種の温帯環境下における腹腔内温度の保持能力の成長に伴う変化について検討し、以下のことを明らかにした。

(1) 本研究でのクロマグロの平均経験水温は15.0-20.7℃であり、本種の適水温範囲(12-22℃)にあった。また、腹腔内温度と水温との差は成長に伴い大きくなる傾向があったが、温度差の増大する割合は成長に伴い小さくなり、平均腹腔内温度は30℃を越えることはなかった。(2) 熱収支モデルを用いて推定したクロマグロ腹部の熱伝導係数は、成長に伴い減少する傾向を示すことから、腹部の断熱性が増大したことが示唆された。さらに、同じモデルで見積もった腹腔内の発熱速度も減少傾向を示すことから、本種の単位体重当たりの代謝速度は成長とともに減少することが分かった。(3) このことから、本種は成長に伴い体の断熱性が増大するものの、その一方で腹腔内の発熱速度も減少するため、体温は致死温度には至らず、それが体が大きくなっても温帯水域で活動することを可能にしているものと推察された。(4) ただし、このような温度保持機構を可能にするためには、温帯海域の低水温環境を利用することが必要不可欠であると考えられた。本種の主産卵場である日本南方の亜熱帯海域に留まり温帯海域に移動することができなければ、成長するに従いオーバーヒートを起こしてしまう危険性がある。そのためクロマグロは黒潮上流の外側反流域で産卵するものの、発生後すばやく黒潮に取り込まれることにより、少ないエネル

ギーコストで温帯海域に逃れることができ、その良好な餌料環境を利用可能にしているものと考えられる。

以上、本研究により、西部北太平洋におけるクロマグロ未成魚の鉛直遊泳行動の時間的・空間的な変化、それに影響を及ぼす水温と餌の鉛直分布構造、さらには温帯の低水温環境への適応機構とその意義について、新たな知見が得られた。これらの成果はいずれも、海洋構造に対応したクロマグロの摂餌・回遊生態の全体像を解明したものであり、本種の適正な資源管理を進めるための生態学的基礎をなすものと考えられる。