

Vertical Foraging-Search Behavior and Life History Characteristics of the Dolphinfish,
Coryphaena hippurus, in the East China Sea
(東シナ海におけるシイラの採餌に係る鉛直遊泳行動および生活史特性に関する研究)

長崎大学大学院生産科学研究科
古川 誠志郎

海洋は3次元的な広がりを持つことから、海洋生物は水平方向に加えて鉛直方向の広大な範囲を生息域としている。一方、シイラ、マグロ類等の捕食者が餌生物を探索する海洋中では、物理・生物環境が時空間的に変化する。そのため、海洋構造のこのような変動は種の成長と繁殖の基盤となる摂餌戦略に影響を及ぼすことから、個体がどのように環境変化にตอบสนองして回遊し、餌を探索しているかは、水産学的、行動学的に興味深い課題である。例えば、近年、生息する海域の水温構造によって、捕食者が遊泳パターンを変化させるという事例がマグロ属魚類を対象として次々と報告されている。変温動物である魚類は種に固有の水温適応性に応じて、餌を探索しながら水中を移動すると考えられるが、その詳細が明らかにされた捕食性の浮魚類は未だ少ない。そこで本研究では、高次捕食魚類であるシイラを対象に、東シナ海を調査海域として、この研究課題に取り組んだ。シイラは、熱帯から温帯海域にかけて全球的に表層を中心に分布する捕食性の浮魚類でありながら、生活史の基本的な特性、遊泳行動様式についてはほとんど明らかにされていない。

東シナ海は広大な大陸棚を有することから、夏季には水温躍層が発達して強く成層する一方で、秋季以降は海面冷却と風の影響で表層から底層まで鉛直混合することがよく知られている。したがって、バイオロギング手法を用いて深度と温度を同時に記録すれば、東シナ海に生息するシイラの鉛直遊泳行動と個体が経験する水温履歴を得て、水温環境の変化に対する行動応答を解析できると考えた。さらに、シイラは東シナ海と隣接する太平洋の両海域に生息するが、このような大陸棚上と外洋域では海域の基礎生産量が著しく異なる。このような生物生産力が異なる2つの海域間でのシイラの鉛直遊泳様式を比較して、生物生産性の変化にตอบสนองして餌生物を探索するパターンがどのように変化するかについても精査した。

そこで本研究では、1) 本種の基礎的な生活史特性の把握するために年齢、成長、生殖年周期、成熟特性を調べた。次に、2) 東シナ海北部海域と台湾南東の外洋域を回遊する個体を対象として、水温構造の季節変化が鉛直遊泳行動に及ぼす影響について調べた。最後に、3) 東シナ海北部海域と台湾南東海域から得られたシイラの鉛直遊泳データを統計学的に解析して、海域の基礎生産性の変化に伴う餌探索様式を比較、検討した。

東シナ海北部海域におけるシイラの年齢と成長および繁殖特性 (第1章)

2008年5月から2010年5月にかけて、東シナ海北部海域で、シイラの年齢と成長および成熟特性を、鱗、耳石を用いた年齢査定および、生殖腺指数 GSI の季節変化と生殖腺の組織学的観察によってそれぞれを調べた。141 個体の小型個体 (全長 TL 9.5 - 237.0 mm) の耳石に形成された日輪と、137 個体の大型個体 (FL 412 - 1124 mm) の鱗に形成された年輪を計数して個体の年齢査定を行い、尾叉長との関係を、最尤法を用いて Von Bertalanffy の成長曲線にあてはめた。Von Bertalanffy の成長曲線は雄が $FL_t = 1049 [1 - \exp \{-0.835 (t + 6.975 \times 10^{-14})\}]$ で、雌が $FL_t = 938 [1 - \exp \{-1.029 (t + 6.975 \times 10^{-14})\}]$ であった (ここで、 t は年齢、 FL_t は t 歳時における尾叉長を示す)。また、329 個体の生殖腺指数 GSI の季節変化と、そのうちの 229 個体の生殖腺を組織学的観察に供したところ、本種の産卵期は 6 月から 8 月で、その最盛期は 7 月であった。生殖腺の発達段階から成熟が確認された個体の最小の尾叉長は、雄が 524 mm、雌が 514 mm で、共に満 1 歳以下であった。生殖腺の発達段階から成熟が確認された個体の最小の尾叉長は、雄が 524 mm、雌が 514 mm で、共に満 1 歳以下であった。同海域で本種は、雌雄を問わずに孵

化から翌年の産卵期には成熟し、産卵群に加入するものと考えられた。
印刷公表予定論文 (2) Fisheries Science、投稿中。

東シナ海北部海域と台湾南東海域におけるシイラの鉛直遊泳様式に及ぼす水温構造の影響 (第2章)

東シナ海北部海域で 2007 年 5 月、9 月、10 月、11 月、2008 年 6 月および 2010 年 5 月、7 月にシイラ 成魚 8 個体 (FL : 67 - 90 cm) に加速度データロガーと自動切り離し回収装置を取り付けて放流し、4 - 48 時間の行動データを得た。また、台湾南東海域にてシイラ成魚 12 個体にアーカイバルタグを装着して放流し、そのうちの 2 個体 (FL: 54・72 cm) の回収に成功し、3 - 10 日の深度・水温の時系列データを得た。東シナ海北部海域の放流群は $43.4 \pm 27.7\%$ の時間を表層 (0 - 5 m) で遊泳し、平均潜行深度は 10.6 ± 10.4 m から 47.7 ± 19.7 m であった。水温躍層下への潜行はほとんど認められず、台湾南東海域の放流群も同様の傾向を示した。一般化線形混合モデルを用いて解析したところ、躍層深度が深くなるほど、潜行深度も深くなることが予想された ($p < 0.001$)。つまり、本種は水温躍層による急激な水温変化を避けること、そして餌の探索に伴う鉛直移動は表層混合層に限定されることを指摘した。さらに、本種は潜行中でのみ滑空遊泳を行い、躍層深度が深くなる秋季には、夏季に比べて滑空遊泳に費やす時間が増加した。本種の滑空遊泳は、躍層深度が深く、広範囲の深度帯を探索可能なときに、より少ないエネルギーで餌探索するための適応的行動である可能性が示唆された。

印刷公表論文 (1) Environmental Biology of Fishes、印刷公表予定論文 (1) Deep Sea Research II、投稿中。

餌環境に応じた漂泳性捕食魚類 3 種の餌探索行動の統計解析 (第3章)

第2章で用いた東シナ海北部海域から得られた 8 個体、台湾南東海域で得られた 2 個体の深度データを解析に用いた。まず、深度時系列データの確率過程に着目し、深度の時間差分から 10 - 120 秒あたりのステップを計算し、その確率分布を求め海域間での比較を行った。その結果、本種の水温適応性に基づく遊泳層の規定は、両海域で変化しなかったにも関わらず、生物生産が高い東シナ海北部沿岸では、ステップの確率分布が有限分散の指数分布となったことからブラウン運動による鉛直方向の探索パターンとなっていた。一方、相対的に餌生物のバイオマスの低い台湾南東の太平洋上では、無限分散の冪 (べき) 分布となり予測不能な長距離移動を含むレヴィフライトでの探索を行っていたことが発見された。先行研究により、レヴィフライト的探索は、散在する餌との遭遇率を最大化するように進化したという理論的予測がなされている。本研究の結果から、本種の餌探索パターンは餌の豊度に応じた法則性を示すと考えられ、レヴィフライト最適探索仮説を野外で実証した成果となった。

本研究の特筆すべき成果は、1) 本種は当歳時に急速に成長し、1 歳までに性成熟して、産卵期は 6 月から 8 月であること、2) 本種の遊泳層は水温躍層により規定されて表層混合層内を鉛直移動していること、3) 餌生物量の多寡に応じてレヴィフライトとブラウン運動の間で、餌探索パターンをスイッチングするという予測を検証したことにある。

本種で明らかとなった急速な成長と早期成熟は、餌探索に係るコストとベネフィットの最大化するような効率的な餌獲得戦略が必須条件となるはずである。本種は、表層混合層内に群集するカタクチイワシを中心とした小型浮魚類を捕食することが知られている。本研究では、その深度分布が表層混合層内に規定されることを明らかにしたが、分布の決定要因が水温適応性に基づくだけでなく、餌生物の分布と重なるように適応した可能性を示唆している。また、餌生物を安定的に利用するには、餌生物と本種の分布が重なるだけでなく、その餌生物と効率的に遭遇し摂餌する適応戦略が必要となる。レヴィフライトは、まばらに分布する餌との遭遇率を最大化する探索理論として知られているが、餌生物が豊富な環境下ではブラウン運動で十分に効率的と予測されており、本種は餌量の多寡に応じて探索様式をスイッチングすることで、餌生物が少なくなる条件下でも必要なエネルギーをより効率的に獲得できるよう行動的に適応しているものと推定された。