

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月17日現在

機関番号：82708

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011年度～2012年度

課題番号：23780205

研究課題名（和文）クロマグロ仔稚魚の滞在深度と逃避反応行動に関する研究

研究課題名（英文）Study on Vertical migration and Escape response of the larval and juvenile stages of Pacific bluefin tuna.

研究代表者

福田 漠生 (FUKUDA HIROMU)

独立行政法人水産総合研究センター・国際水産資源研究所・くろまぐろ資源部・研究員

研究者番号：50581063

研究成果の概要（和文）：

クロマグロ仔魚は、孵化直後は遊泳能力が未発達であるが、体比重は海水よりも大きい。この魚がどのように遊泳能力を発達させ、滞在深度や遊泳方向を調節するか、どのように逃避行動を発達させるのかを行動観察実験から明らかにした。本種仔魚は体比重が増加する孵化後3日以降に遊泳能力を発達させ、水平方向に遊泳することで滞在深度を調節した。また、稚魚期への変態期である孵化後約20日で、旋回能力が大きく向上した。

研究成果の概要（英文）：

Although Pacific bluefin tuna (PBF) has larger body density than the sea water, their swimming ability is quite low during the early larval stage. We observed their swimming behavior and investigated how PBF control their swimming direction and depth by developing their swimming ability, and how they develop their escaping behavior. PBF larvae started to improve their swimming ability from 3 days post hatching and control their swimming depth by aggressive swimming in a horizontal direction. Their turning movement was improved around 20 days post hatching, which coincides with the metamorphosis from the larvae to juvenile.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：生態・行動・資源

## 1. 研究開始当初の背景

太平洋クロマグロ資源の持続可能な利用・管理は国際的な課題であり、特に消費量が極めて多い我が国が担う役割は大きい。海産魚類では、仔稚魚期の初期減耗が加入量の変動に強く影響するため、仔稚魚の分布や、生残・成長に影響を及ぼす要因を評価することは重要である。

そのため、本種においても調査漁業等が進められており、仔魚期の成長が生残に強く影響することが明らかにされた。しかし、既存の調査漁業では、過去の調査で蓄積された情

報を基に対象魚を探索する方法が採られており、本種の遊泳力が特に強くなる稚魚期以降に関しては採集個体数も少ない。これは、この時期の個体の資源量・生残・成長等の情報が不足する要因となっている。

このような実海域での調査の課題に対しては、本種の行動・生態学的な基礎知見を蓄積し、分布深度帯や漁具に対する反応行動を明らかにするアプローチが有効であると考えられる。かつては、本種が実験魚としての取り扱いが困難であったことから、このようなアプローチは十分には行われてこなかつ

たが、飼育技術が向上している近年は、適切な実験環境で幅広い成長段階の個体を扱うことが可能となっている。すなわち、滞在深度に影響を及ぼす要因や、漁具に対する反応行動を、直接観察することによって明らかにすることが可能になりつつある。

## 2. 研究の目的

クロマグロは孵化直後から一貫して海水より大きな体比重を有するが、遊泳能力は未発達な状態で孵化する。このような魚がどのようにして遊泳深度を調節しているのかは明らかでない。また、遊泳能力や漁具などの構造物に対しての逃避行動がどのように発達するかも定量的には調べられていない。

そこで本研究では、仔魚期から稚魚期にかけてのクロマグロの三次元行動を観察し、測定した外部形態の特徴および体比重と対比させ、行動の発達過程を明らかにすることを目的とした。特に以下の点について明らかにする。

- (1) 仔稚魚の遊泳力と滞在深度調節能力の発達過程について。
- (2) 仔稚魚の行動に与える光環境の影響について。
- (3) 仔稚魚の逃避行動の発達過程について。

## 3. 研究の方法

(1) 仔稚魚の遊泳力と滞在深度調節能力の発達過程について。

水産総合研究センター西海区水産研究所奄美庁舎で人工ふ化したクロマグロを養成し、孵化後 1-10 日までの個体の実験水槽内の行動を、2 台のデジタルビデオカメラを用いたステレオビデオカメラシステムで撮影した(図 1)。行動撮影実験は、日中(10:00 前後)と夜間(22:00 前後)の 1 日 2 回実施し、いずれも約 5,000 lx の照度条件で行われた。仔魚の飼育は、飼育タンクをエアレーションで曝気して行ったが、行動実験は曝気による水流が行動に影響を与えないよう止水下で行った。飼育水槽および実験水槽内の水温は  $27 \pm 1^\circ\text{C}$  に保った。

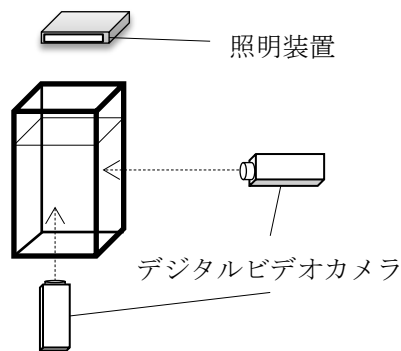


図 1. 実験装置

撮影された 2 台のカメラからの動画像をコンピュータに取り込み、3 次元動画計測ソフトウェア Move-tr/3D (コスモス社)を用いて仔魚の遊泳軌跡を 0.2 秒間隔の 3 次元位置座標データとして取得した。得られた時系列位置座標データから遊泳方向と遊泳速度を算出した。

行動実験に用いた個体は、実験終了後直ちに麻酔され、外部形態測定用に光学顕微鏡下で撮影された。撮影された静止画から、鰾の開腔状況および鰾の長径および短径、魚体の全長・体長・体高を測定した。

また、濃度の異なる食塩水中に落下させ、落下速度から体比重を測定した。

(2) 仔稚魚の行動に与える光環境の影響について。

上記 (1) の行動観察システムを用いて、0.01lx 以下の暗環境下で行動観察を行った。実験は日中と夜間の 1 日 2 回実施し、明環境下での実験結果と比較した。暗環境下での行動観察の際には、飼育施設全体を 0.1 lx 以下に暗転し、網膜が組織学的に暗順応する馴致時間を設けた。また、暗環境下での行動撮影には、本種が知覚できないとされている赤外線(波長 940 nm 以上)の LED 照明とカメラの夜間撮影機能を用いた。

(3) 仔稚魚の逃避行動の発達過程について。

近畿大学水産研究所大島実験場で人工ふ化したクロマグロを養成した。この養成クロマグロを孵化後 12-50 日(仔魚期から稚魚期)にかけて、円形水槽に 10 個体を搬入し、行動をデジタルビデオカメラおよび高速度ビデオカメラで撮影した。撮影された映像から水槽内全個体の遊泳軌跡を 2 次元位置座標データとして取得し、遊泳速度、巡回行動時の曲率半径、および個体間距離、遊泳の同調性を評価した。

行動実験に供した個体は、光学顕微鏡下で撮影し、全長・体長・体高と、尾鰭の推進力発生に関する幾何学的指標であるアスペクト比を測定した。

## 4. 研究成果

(1) 仔稚魚の遊泳力と滞在深度調節能力の発達過程について。

仔魚の体比重は、ふ化後 2 日までは 1.028 と海水よりもわずかに大きい程度であったが、ふ化後 3 日以降に急激に増加した。浮力調節器官である鰾は、ふ化後 3 日で発生したが、発生しない個体も見られた。

クロマグロ仔魚は、ふ化後 1-2 日の間は間欠的な鉛直方向への遊泳と、緩やかな落下を繰り返し、滞在深度をほぼ一定に調整した。ふ化後 3 日以降は、水平方向に遊泳する頻度が増え、遊泳を続けることで深度を一定に保った。遊泳速度は実験期間中に 5.3 mm 毎秒から 29.3 mm 毎秒まで向上した。

(2) 仔稚魚の行動に与える光環境の影響について。

日中と夜間に関わらず、明環境より暗環境で鰾容積が大きく、体比重が小さいことが示された。また、実験期間中は一貫して、明環境下よりも暗環境下で遅く泳いだ。

また暗環境下では、水槽底面まで遊泳、あるいは落下した個体が観察されたが、多くの個体が鰾の発生していない個体であった。

これらの結果は本種仔魚が、夜間に活動度を下げることと、少ない運動で遊泳深度を保つために鰾を膨張させて体比重を小さくし、落下速度を遅くしている可能性を示している。

上記 (1) (2) の結果から、本種の遊泳能力の発達過程と、それによる遊泳深度の調節能の変化が明らかになった。すなわち、本種仔魚はふ化後 1-3 日の間に自発遊泳能を向上させ、3 日齢以降では積極的に水平方向に遊泳することで深度を一定に保つようになる。また、夜間に仔魚の活動度は下がるが、鰾を膨張させることで体比重を小さくし、少ない運動で深度を保っていた。ふ化直後から 2 日後までは体比重が相対的に小さく、緩やかな落下と間欠的な鉛直方向の遊泳で深度を保った。これらの新しい知見は、本種がどのようにして深度を維持しているかの機序の解明のみならず、本種の養殖・種苗生産技術にも資することから、学術的にも産業的にも訴求性の高い情報であると言える。

(3) 仔稚魚の逃避行動の発達過程について。

実験魚はふ化後 15 日 (体長 11 mm) 付近から変態を開始し、21 日 (体長 22 mm) にはほぼ全ての個体が稚魚期に移行した。変態期には外部形態も著しく変化しており、特に尾鰭では膜鰭の消失やアスペクト比の増加が認められた (図 2)。遊泳様式は仔魚期と稚魚期で大きく異なり、仔魚期には間欠的な高速遊泳が、稚魚期には連続的な巡航遊泳が観察された。これは、尾鰭の形態が団扇型から三日月型に変わったこと、魚体の成長と遊泳速度の向上により、レイノルズ数が増加し

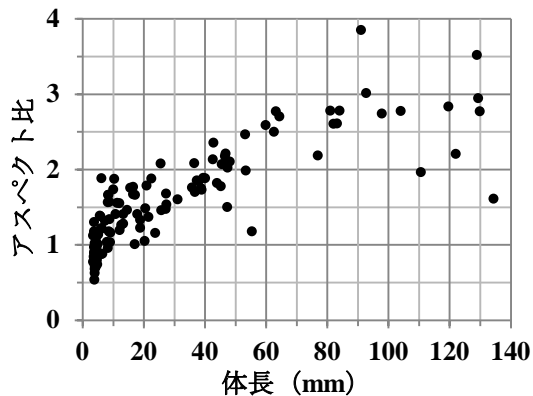


図 2. クロマグロ仔魚の尾鰭のアスペクト比の成長変化

慣性力が支配的となる環境へと遷移したことへの適応であると考えられた。

また、ふ化後 21 日 (体長 22 mm) 以降でそれ以前よりも速い速度で遊泳することが示された (図 3)。旋回運動時の遊泳軌跡から求めた曲率半径も、体長 20 mm 以降で旋回半径が小さくなっていることを示した (図 4)。

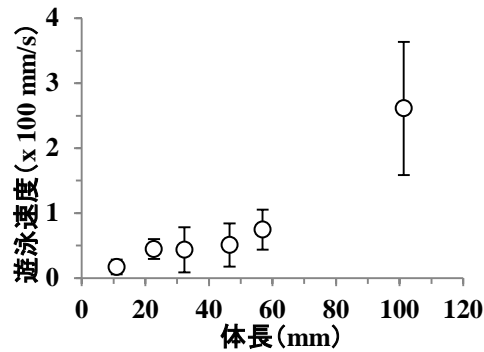


図 3. 遊泳速度の成長変化

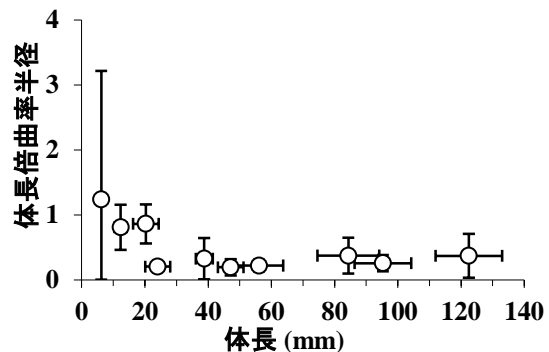


図 4. 遊泳速度の成長変化

これらの結果は、仔魚期から稚魚期への変態期に顕著な外部形態の変化が起こり、それに伴って遊泳速度や旋回半径などの運動性能が向上することを示唆している。またこれらの運動性能の向上は、逃避行動の発達に強く寄与すると考えられる。

また、本種の群れの形成は、遊泳様式が巡航遊泳に移行したふ化後 21 日から 24 日の間 (22-32 mm TL) に発現した。これらの結果を統合的に考察すると、本種が仔魚期から稚魚期に起こる外部形態や体組織の変化に伴って、まず個体行動を発達させ、その後に集団行動である群れ行動を発達させていることが示唆された。

上述の (3) の成果は、クロマグロ仔稚魚の行動を定量評価し、外部形態の特徴の成長変化と対比した初めての成果である。一部の結果は、実海域での仔魚の輸送をシミュレートした数値モデルの入力データとしてや、水槽内での遊泳行動をシミュレートするモデルの基礎データとしてなど (主な発表論文 (2)), 様々な分野で応用されている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

(1) H. FUKUDA, S. TORISAWA, T. TAKAGI. Ontogenetic changes in schooling behavior and visual sensitivity during larval and juvenile stages in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*. BULLETIN OF FISHERIES RESEARCH AGENCY, 査読有, 採録決定.

(2) M. KADOTA, S. TORISAWA, T. TAKAGI, K. KOMEYAMA, H. FUKUDA. Analysis of juvenile tuna movements as correlated random walk. Fisheries Science, 査読有, 77, 2011, 993-998.

URL:<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12562-011-0434-8>

(3) H. FUKUDA, Y. SAWADA, T. TAKAGI. Ontogenetic changes in behaviour transmission among individuals in the schooling of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. Aquatic Living Resources, 査読有, 24-2, 2011, 113-119.

DOI: 10.1051/alr/2011136.

(4) S. TORISAWA, H. FUKUDA, K. SUZUKI, T. TAKAGI. Schooling behaviour of juvenile Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* depends on their vision development. Journal of Fish Biology, 査読有, 79, 2011, 1291-1303.

DOI: 10.1111/j.1095-8649.2011.03113.x.

[学会発表] (計 5 件)

- ① 福田 漢生. 魚群構成個体数によるクロマグロの群構造の違いについて. 平成 25 年度日本水産学会春季大会. 平成 25 年 3 月 29 日. 東京都品川区.
- ② 伊奈佳晃. クロマグロ仔魚の個体発生変化と飼育水槽内の鉛直分布との関係. 平成 25 年度日本水産学会春季大会. 平成 25 年 3 月 29 日. 東京都品川区.
- ③ H. FUKUDA. Changes in Synchronicity, Cohesion, and Swimming speed of Pacific bluefin tuna school during the first year of their life. 2nd CLIOTOP シンポジウム. 平成 25 年 2 月. ニューカレドニア, ヌーメア, フランス.
- ④ 福田 漢生. クロマグロ仔魚の遊泳行動の発達過程. 平成 24 年度日本水産学会春季大会. 平成 24 年 3 月 29 日. 東京都品川区.
- ⑤ H. FUKUDA. Ontogenetic changes in Schooling behavior and Visual sensitivity of Pacific bluefin tuna during larval and juvenile stages. The joint FRA-CLIOTOP Workshop. 平成 23 年 9 月 22 日. 静岡市清水区.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 漢生 (FUKUDA HIROMU)

独立行政法人水産総合研究センター

国際水産資源研究所 研究員

研究者番号: 50581063