

平成 23 年 9 月 1 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21780188

研究課題名（和文） クロマグロの環境刺激に対する反応行動誘発メカニズムの解明

研究課題名（英文） Induced behaviour in response to the environmental stimulation in Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*

研究代表者

鳥澤 真介（TORISAWA SHINSUKE）

近畿大学・農学部・研究員

研究者番号：80399097

研究成果の概要（和文）：クロマグロの環境刺激に対する反応行動誘発メカニズムを求めることにより、成長に伴って、光の受容感度が向上し、低照度域となる深海を含む沖合域に適応した行動が可能となることが分かった。また、成群個体の行動は、他個体との遊泳速度ベクトルの同調力および壁や生簀などの障害物との斥力といった力が支配的であることが明らかとなった。これらの結果から成長別に生存・適応可能な環境についての提言が可能になったと考えられる。

研究成果の概要（英文）：During growth of juvenils tuna (25–55 dph), the light intensity thresholds of schooling decreased from 5 to 0.05 lx. The thresholds of light intensities for the light adaptation of retinas in juveniles (25–55 dph) similarly decreased from 5 to 0.05 lx with growth. These data clearly indicate that the characteristics of schooling behaviour strongly correspond to the degree of vision development. These results suggest that juveniles can adapt to darker deep and off shore sea conditions during growth by developing improved visual capabilities

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：水産学

科研費の分科・細目：水産科学一般

キーワード：クロマグロ 行動生理 完全養殖 行動モデル

## 1. 研究開始当初の背景

高速遊泳や水深数百メートルに及ぶ潜水が可能となるよう特化したクロマグロは、太平洋を横断回遊するといった高い適応能力を持つ一方で、狭い空間内では生残・飼育が困難であるという適応特化の極端な両面を併せ持っている。

このクロマグロは近年その資源量の減少が世界的に重大な問題となっており、資源の回復と維持のための方策の実施が急務となっている。近畿大学水産研究所ではクロマグロの養殖に取り組み、完全養殖に成功した。今後は、この種苗生産技術を用いて、飽和状態となっている沿岸域での養殖に留まらず、

沖合域の生簀での飼育や天然海域への種苗放流をとおして、本種の資源の維持・管理の実施が現実のものとなるかもしれない。

しかし、特化の著しい本種においては、人の管理の下に安定して飼育・繁殖させることは非常に困難である。本種の行動がどのようにして発現するのか、その行動誘発機構を解明することが、その安定化を計るうえで非常に重要な要素となる。

これまででは、行動の誘発メカニズムに関する研究例は非常に少なく、知見が乏しかったため、本種の種苗生産技術の本格的な確立に向けて大きな障害となってきた。既存の研究では、魚類の行動に関する研究と刺激受容器の特性に関する研究はそれぞれの結果が比較されて議論されているものの、独立して実施されてきた。

行動の発現機構を明らかにするためには、このような性質の異なる結果の統合解析を、これまでとは異なるアプローチで解析する必要があるが、統合研究が十分に実施された例はほとんど見当たらない。

本研究の対象であるクロマグロ（マグロ類）でも生理学・行動学的な研究は着実に実施されている。視覚特性は明暗順応の順応変化に要する時間が Masuma et al. (2001) により組織学的に求められ、薄暮時の太陽光の照度上昇との比較から、行動に与える視覚の影響が示唆されている。また、Fritsches et al. (2003) によりマグロ類の視覚の感度特性が生理学的に求められ、行動生態に与える影響が議論されている。さらに、マグロ類の行動生態は Kitagawa et al. (2003) によって天然環境での行動が記録され、照度変化が行動に影響を与え、成長によりその特性が変化すると考察されている。しかし、現在までこれらの知見の統合化は試みられていない。

本研究では、これらの独立した研究の統合化を目指して、刺激の受容と反応行動の定量的な解析に取り組んでいる。その結果、これまでに本種幼魚の行動が視覚に大きく依存し、視覚特性が行動を決定付ける主な要因だということを明らかにした。

これらの行動学・生理学的見地からの異なる性質の研究結果は、近年発展が目覚ましい数値シミュレーションを用いた魚群行動のメカニズムを探る数理的手法を適用して、魚類の行動を外力の線形結合で表す数理モデルを構築することによって、統合解析が可能となると考えられる。

そこで、刺激受容特性と行動特性の統合解析を魚群行動の数理モデルを用いて実施し、環境変化に伴う外部刺激に対する反応行動に内在している行動誘発メカニズムを明らかにすることを試みた。

## 2. 研究の目的

本研究においては、クロマグロの変態直後の幼魚 25 日齢から性成熟する親魚までを成長段階をおって実験を実施し、環境変化による外的刺激に対する反応行動の誘発メカニズムを成長段階別に明らかにする。

- 1) まず光環境に注目して、外的刺激の受容特性として、光の知覚能力を明暗順応能力と視力から求め、成長に伴うその発達過程を明らかにする。
- 2) 刺激反応行動の特性は、照度別の行動特性を定量的に評価し、成長による特性変化を明らかにする。
- 3) 次に重要な要因となる沖合養殖での水深の変化との関係を求める。この水深の変化は海水の光の透過率の低さにより、光環境にも影響するため、深度別に上記の光強度別の視覚・行動特性を明らかにする。
- 4) 同時に、水温、流速および空間サイズも実験環境の変数として解析を実施する。
- 5) これらの結果を統合して、外的刺激に対する反応行動の数理モデルを構築し、刺激に対する反応行動に内在する行動誘発のメカニズムを明らかにする。これらから、成長に伴う刺激受容特性と知覚能力および行動生態・行動生理における発達・特化・獲得の過程を明らかにする。
- 6) さらに、種苗生産・養殖現場で望まれる環境変化により、本種はどのような行動を誘発するのかを明らかにし、天然海域と同様な行動（養成時に問題となっている突発的高速遊泳などを起こさない）本種にとって望ましい環境とはどのようなものなのかを提案する。

## 3. 研究の方法

クロマグロの環境変化による外的刺激の受容特性、反応行動特性を求め、刺激に対する行動の数理モデルを構築することにより統合解析を実施し、反応行動誘発メカニズムを解明する。

クロマグロの外的刺激受容は感覚器の受容特性（特に視覚）を生理学的に求め、外的刺激は環境モニタリング用記録器で計測し、その刺激に対する反応行動特性は行動学的手法により水中・ステレオ・カメラと生物装着式記録計を用いて、3次元の生物行動情報を明らかにする。

これらの統合解析には、工学的アプローチである刺激反応行動の数理モデル（個体ベースモデル）を構築することで、外的刺激と反応行動の関係の本質を明らかにする。

こうして構築した反応行動の数理モデルから、対象魚が外的刺激を受けることによって、どのような反応行動を創発するのか明らかにすることを試みる。

さらに、本種の成長に伴う行動誘発機構の変化を求め、生理・生態的な適応や特化の過程を探ることができるだけでなく、数理モデルを用いることで、本種にみられる照度変化や閉鎖空間における突発的な高速遊泳のような特異的な行動の誘発機構、およびその防止策の提案と行動制御の可能性を探る。

#### 4. 研究成果

本研究ではクロマグロの刺激受容特性を生理学的、反応行動を行動学的に調べ、刺激反応行動の数理モデルを構築することで統合化し、外的刺激により対象魚がどのような反応行動を創発するのか、その行動誘発機構の解明を目的として研究を実施した。

照度変化により発現するクロマグロ幼魚の行動の特性は、3種類の成長段階の幼魚(孵化後25, 40, 55日齢)を用いて、近畿大学水産研究所の陸上生簀内で求めた。本種の行動において、最も特徴的な群行動に着目して定量解析を実施した結果、成群個体間での相互作用の指標となる遊泳速度ベクトルの平行性の指標から、極性の高い群の形成状態からまとまった群を形成しない状態へと行動特性が大きく変化する光強度は成長段階で異なることが明らかとなった。孵化後25, 40, 55日齢の供試魚はそれぞれ5.0, 0.5, 0.05 lxと照度閾値が成長段階ごとに10分の1の光強度となり、成長に伴って閾値が低照度に大きく移行することが分かった。

同時に、照度別行動実験時の本種幼魚の光受容特性の指標として、実験終了直後の供試魚の眼球における網膜の明暗順応状態を網膜運動反応指標により組織学的に調べた結果から、行動特性と同様に、明順応から暗順応に移行する照度が25, 40, 55日齢でそれぞれ5.0, 0.5, 0.05 lxとなり、成長段階ごとに10分の1の光強度へと照度閾値が成長に伴って低照度に移行していることが明らかとなった。

これらの結果から、照度環境別の行動特性と明暗順応特性の成長変化は全くずれることなく一致しており、本種幼魚の行動特性は光の受容特性と環境光強度に大きく支配されていることが分かった。クロマグロ幼魚において、行動特性の変化する境界値となる光強度環境は、その高い照度に適応した視覚特性を反映して、他魚種の幼魚に比べてとても高い照度域であることも明らかとなった。

さらに、個体ベースの群行動モデルを用いて、行動実験結果から、当該魚の魚群行動モデルのパラメータを決定し、各個体の行動を支配する作用力の大きさを比較した。群行動モデルから算定された群形成個体の行動に働く支配的な力は、他個体と遊泳速度ベクトルを同調させる力および水槽壁や生簀網地

などの空間内の障害物に対する斥力であることが明らかとなった。

また、行動特性の変化する光強度閾値未満の照度環境下では、個体が一定の速度を保持しようとする力が卓越し、他個体との速度の同調力は減少し、水槽壁などに対する斥力が大幅に減少することが分かった。

行動特性変化を誘発する光強度の境界値よりも明るい環境下では、通常の行動を示すが、それ未満の暗い環境下では、群の形成にまとまりがなくなるだけでなく、水槽壁や生簀への接触と衝突を引き起こしやすく、体表に傷がつくなどストレスのかかる状態であり、養殖時の斃死を生じる原因を誘発しやすい環境となると考えられた。

以上の結果から、本種の行動には、遊泳空間の光環境が最も支配的な影響を与えることが明らかとなった。クロマグロは成長に伴って、深海を含む低照度域でも行動可能な光受容能力を持つようになり、成長とともに沖合海域へと適応できるようになることが示唆された。一方、クロマグロの養殖においては、本種幼魚期には他魚種の幼魚よりも明るい環境が生存のために必要なことが明らかとなったため、孵化後25日齢魚では5.0lx, 40日齢魚では0.5lx以上の照度環境で飼育する必要があると考えられ、上記の環境での本種幼魚の飼育が望ましいと提言する

#### 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8件)

- 1) Shinsuke TORISAWA, Hiromu FUKUDA, Katsuya SUZUKI, and Tsutomu TAKAGI: Schooling behaviour of juvenile Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* depends on their vision development *Journal of Fish Biology* (印刷中), 査読有
- 2) Shinsuke TORISAWA, Minoru KADOTA, Kazuyoshi KOMEYAMA, Katsuya SUZUKI, and Tsutomu TAKAGI: A digital stereo-video camera system for three-dimensional monitoring of free-swimming Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, cultured in a net cage. *Aquatic Living Resources* **24**, 107-112 (2011). 査読有
- 3) Hiromu Fukuda, Shinsuke Torisawa, Takeshi Yamane and Tsutomu Takagi: Concernment

- of rheotactic reaction and schooling behaviour traits of the dwarf sweetfish, *Plecoglossus altivelis* on a capture process of the set-net “eri”. *Fisheries Engineering* (印刷中), 査読有
- 4) Kazuyoshi Komeyama, Minoru Kadota, Shinsuke Torisawa, Katsuya Suzuki, Yuichi Tsuda and Tsutomu Takagi: Measuring the swimming behaviour of a reared Pacific bluefintuna in a submerged aquaculture net cage. *Aquatic Living Resources* **24**, 99-105 (2011). 査読有
  - 5) Shinsuke Torisawa, Minoru Kadota, Kazuyoshi Komeyama, Katsuya SUZUKI, and Tsutomu Takagi: There-dimensional monitoring for free-swimming Pacific bluefin tuna cultured in a net cage using a digital stereo-video camera system. *Proceedings of IFREMER International symposium 2010*. 115-118 (2010), 査読なし.
  - 6) Hiromu Fukuda, Shinsuke Torisawa, Yoshifumi Sawada and Tsutomu Takagi: Ontogenetic changes in schooling behaviour during larval and early juvenile stages of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. *Journal of Fish Biology* **76**, 1841-1847 (2010), 査読有
  - 7) Hiromu Fukuda, Shinsuke Torisawa, Yoshifumi Sawada and Tsutomu Takagi: Developmental changes in behavioral and retinomotor responses of Pacific bluefin tuna on exposure to sudden changes in illumination. *Aquaculture* **305**, 73-78 (2010), 査読有
  - 8) Katsuya SUZUKI, Shinsuke TORISAWA and Tsutomu TAKAGI: NUMERICAL ANALYSIS OF NET CAGE DYNAMIC BEHAVIOR DUE TO CONCURRENT WAVES AND CURRENT. *Proceedings of 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* **4**, 1513-1520 (2009), 査読有
- [学会発表] (計 8 件)
- 1) 鳥澤真介・門田 実・米山和良・浅海 茂・小林次彦・高木 力: クロマグロ沖合養殖施設の研究開発’10-V ステレオカメラによるクロマグロの3次元モニタリング, 平成23年度日本水産学会大会, 東京海洋大学, 品川, 平成23年3月(2011, 要旨発表)
  - 2) S. Torisawa, M. Kadota, K. Komeyama, K. Suzuki and T. Takagi: A technique of three-dimensional monitoring for free-swimming Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* cultured in a net cage using a digital stereo-video camera system. IFREMER international symposium, September 1-3, SETE, France (2010)
  - 3) K. Komeyama, T. Takagi, S. Torisawa, K. Suzuki, Y. Tsuda, S. Asami and T. Kobayashi: Measuring the swimming behaviour of a cultivated pacific bluefintuna in an aquaculture net cage. IFREMER international symposium, September 1-3, SETE, France (2010) “Best poster award”
  - 4) 鳥澤真介・高木 力・鈴木勝也・米山和良・浅海 茂・沼口隆之・小林次彦: クロマグロ沖合養殖施設の研究開発’09-IV 遊泳するクロマグロの3次元モニタリング, 平成22年度日本水産学会大会, 日本大学, 藤沢, 平成22年3月(2010)
  - 5) 高木 力・鈴木勝也・鳥澤真介・米山和良・浅海 茂・沼口隆之・小林次彦: クロマグロ沖合養殖施設の研究開発’09-I 生物

作用が養殖施設に与える影響, 平成 22 年度日本水産学会大会, 日本大学, 藤沢, 平成 22 年 3 月 (2010)

- 6) 鈴木勝也・鳥澤眞介・米山和良・高木 力:  
クロマグロ沖合養殖施設の研究開発'09—II NaLA を用いた浮沈式養殖施設の挙動解析, 平成 22 年度日本水産学会大会, 日本大学, 藤沢, 平成 22 年 3 月 (2010)
- 7) 米山和良・高木 力・鳥澤眞介・鈴木勝也・津田裕一・浅海 茂・沼口隆之・小林次彦:  
クロマグロ沖合養殖施設の研究開発'09—III 養殖施設における養殖クロマグロの行動計測, 平成 22 年度日本水産学会大会, 日本大学, 藤沢, 平成 22 年 3 月 (2010)
- 8) K. Suzuki, S. Torisawa, and T. Takagi:  
NUMERICAL ANALYSIS OF NET CAGE DYNAMIC BEHAVIOR DUE TO CONCURRENT WAVES AND CURRENT. 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2009 May 31 - June 5, 2009, Honolulu, Hawaii, USA (2009).

[図書] (計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鳥澤 眞介 (TORISAWA SHINSUKE)  
近畿大学・農学部・研究員  
研究者番号: 80399097