

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870529

研究課題名(和文) イベントレコーダーによる高次捕食魚の摂餌生態の解明：高速運動解析からのアプローチ

研究課題名(英文) Studies on the feeding ecology of top predators using event recorders: a new approach from the analysis of fast-starts

研究代表者

河端 雄毅 (KAWABATA, Yuuki)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環シナ)・助教

研究者番号：50606712

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、イベントレコーダーと摂餌行動検出アルゴリズムを開発することで、高次捕食魚(ナミハタ)の摂餌生態を解明することであった。まず、既存の加速度・ジャイロセンサーを搭載したイベントレコーダーを開発したところ、測器の計測期間は飛躍的に増加した。続いて、ナミハタに加速度・ジャイロデータロガーを装着し、摂餌行動、逃避行動、個体間干渉時の突進遊泳を計測したところ、高精度で摂餌行動が検出可能なことが明らかとなった。この開発したロガーと発信機を用いて、野外にてナミハタの摂餌行動と移動をモニタリングしたところ、夜間に広い範囲を移動し摂餌を行うこと、昼間にはサンゴ礁にて休息することが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to understand the feeding ecology of a top predator (white-streaked grouper *Epinephelus ongus*), through developing the event recorder with the algorithm for detecting feeding behaviors. Firstly, we developed an event recorder with inertial sensors. The recording periods of the event recorder was substantially longer, compared to the current data-loggers. Secondly, we developed the algorithm to detect the feeding behaviors through the data-logger records. The results indicate that we can successfully identify *E. ongus* feeding behaviours using the data-logger records. Thirdly, we recorded the feeding behaviors and movements of *E. ongus* in the field, using the developed event recorder and acoustic telemetry. The results indicate that *E. ongus* move over larger areas at night for feeding, and rest in coral patches during the day.

研究分野：魚類行動学・魚類生態学

キーワード：バイオリギング 摂餌生態 ハビタット ハタ科 行動圏 捕食行動 サンゴ礁 資源管理

1. 研究開始当初の背景

多くの高次捕食魚は、重要な漁業資源であるとともに、摂餌を介して生態系下位の生物の安定に重要な役割を果たしている。そのため、これらの種の生息環境の変化や非計画的漁獲は、その資源量のみでなく、生態系全体の生物生産や多様性に影響を与える。そのため、高次捕食魚の摂餌生態を生息環境と併せて解析することは、その種の保全・管理、および生態系全体の生物生産・多様性を理解する上で、極めて重要な課題である。

従来、対象種の摂餌生態の解明には、胃内容物分析と潜水観察が用いられてきた。しかし、胃内容物分析では、捕獲時のスナップショットの情報しか得られない。また、潜水観察では、観察が可能な種・時間帯・季節に調査が限定される。そのため、ほとんどの魚種において、時々刻々と変化する生物・物理環境に対して対象種がどのように摂餌生態を変化させるかは明らかにされていない。これは、野外で連続的に摂餌行動を計測すること自体が困難であったことに起因する。

近年、多様なセンサーを搭載した小型記録計を装着し、連続的に対象種の行動を計測するバイオロギングが発展してきた。特に、2000年より実用化された加速度データロガーは尾鰭振動と姿勢角の計測を可能にしたため、様々な動物の行動分類(遊泳・休息・グライド等)が可能となった。しかし、捕食魚の摂餌行動は、同様に突発的な遊泳(突進遊泳)を伴う逃避行動と混同される。そのため、従来の加速度データロガーにより摂餌行動を特定することは不可能であった。

そこで、申請者らは突進遊泳のメカニクスに着目した。ハイスピードカメラを用いた水槽実験から、多くの捕食魚は摂餌時と逃避時の突進遊泳がそれぞれS-start、C-startと呼ばれる異なる遊泳運動を示すことが明らかにされている。また、申請者らは、予備実験により餌生物の種類(カニ・魚)に応じて、捕食者は遊泳パターンを変化させることを明らかにした。

本研究では、これらの「摂餌時と逃避時の突進遊泳の違い」と「異なる餌生物に対する突進遊泳の違い」に着目し、加速度・ジャイロセンサーを搭載したイベントレコーダーを開発することで、摂餌行動の特定を試みた。本研究では、沖縄県八重山地方に生息する水産重要種ナミハタをモデル生物として設定した。ナミハタは八重山地方沿岸域において優占した高次捕食魚であり、異なる種類の餌生物(主にカニ、魚)を摂餌する。本種成魚は、捕獲が容易であることに加えて、ハンドリングのストレスに強いいため、飼育実験が容易である。また、同一海域への固執性が強い

ことから潜水により測器の回収が可能である。以上のことから、本種は、イベントレコーダーにより摂餌生態の動態を解明するモデルとして最適である。また、本種の漁獲量は近年減少しているため、早急な資源管理策の決定が課題となっている。そのため、摂餌生態の解明から資源管理策を提案するモデルとしても適している。

2. 研究の目的

本研究の目的は、イベントレコーダーと摂餌行動検出アルゴリズムを開発することで、長期に亘る高次捕食魚(ナミハタ)の摂餌生態を解明することであった。研究期間内に次の4点を行うことを計画した。(1) イベントレコーダーの開発、(2) 摂餌行動検出アルゴリズムの開発、(3) 野外での摂餌行動の計測、(4) 摂餌行動と生息環境の関係性の解析。

3. 研究の方法

(1) イベントレコーダーの開発

既存の加速度・ジャイロセンサーに、新たに閾値計測用の加速度センサーを搭載したイベントレコーダーを開発した。

(2) 摂餌行動検出アルゴリズムの開発

ナミハタ成魚6個体に加速度・ジャイロデータロガーを装着し、摂餌時(魚とカニ)と逃避時と個体間干渉時の突進遊泳を計測した。得られたデータから、突進遊泳の閾値を決定した。また、突進遊泳は、複数のパラメータ(加速度・角速度の振幅、角速度間の比等)を用いた統計手法により、事後的に行動を判別した。

(3) 野外での摂餌行動の計測

本実験は、沖縄県八重山諸島周辺海域で実施した。潜水時に釣りにより捕獲したナミハタ成魚20尾の腹腔内に、開発したイベントレコーダーと超音波発信機(V9, Vemco社製)を装着した。3台以上の受信機(VR2W, Vemco社製)を用いて超音波信号の到来時間差を調べることで、高精度(誤差約1m)で標識個体の位置推定を行った。なお、放流海域には、受信機19台と併せて、水温データロガーを設置した。

測器の回収は、放流から1~2カ月に行った。超音波信号から推定される生息パッチで潜水を行い、釣り・スピアフィッシングにより魚体ごと測器を回収した。

4. 摂餌行動と生息環境の関係性の解析

本解析では、得られたデータから摂餌行動の時刻・位置を抽出し、生息環境(海底基質、水温、潮流、照度)との関係性を調べた。まず、3で得られたデータから、摂餌行動が起こった時刻を推定した。また、位置情報の確率密度マップを作成することで、位置と海底

基質との関係性を調べた。海底基質は航空写真と潜水観察により地図化した。

4. 研究成果

(1) イベントレコーダーの開発

イベントレコーダーの開発により、測器の計測期間は飛躍的に増加した。具体的には、これまで200Hzの計測で2時間半の記録が限度であった小型のデータロガーにおいて、5日程度の記録が可能となった。より大型の電池を積んだ場合、数か月の計測が可能なることも確認した。しかし、ジャイロセンサーの立ち上がり時間が閾値計測後0.1秒後にしか立ち上がらないという課題も見つかった。

(2) 摂餌行動検出アルゴリズムの開発

本手法の摂餌検出率・誤検出率を算出したところ、魚摂餌で81%・7%、カニ摂餌で88%・7%が得られた(図1)。このことから、高精度で摂餌行動が検出可能なことが明らかとなった。また、角速度のデータを除いた場合、検出率は下がるものの、70%以上の精度で摂餌行動の検出可能なことが明らかになった。

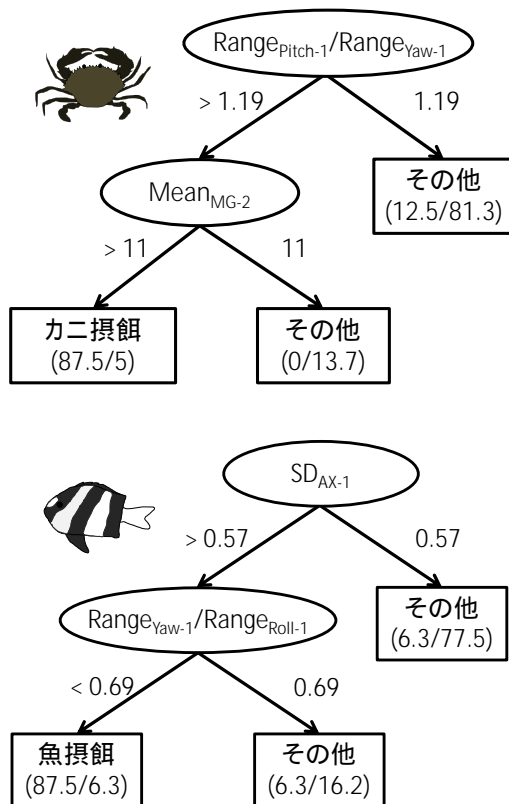


図1. カニ摂餌と魚摂餌の検出アルゴリズム。加速度と角速度のデータから複数のパラメータを組み合わせた決定木により、高精度でこれらの摂餌行動を検出可能なことが明らかになった。

(3) 野外での摂餌行動の計測

釣り・スピアフィッシングにより20尾中9尾の再捕獲に成功した。イベントロガーの不

良により1尾データが得られなかったため、8尾の摂餌行動データと20尾の詳細な位置情報を取得した。

(4) 摂餌行動と生息環境の関係性の解析

イベントレコーダーのデータから、昼間比べて夜間によく摂餌にともなう突発的な運動を行うことが分かった。また、超音波発信機の受信パターンから、昼間にはサンゴ礁にて大きな移動を行わず、夜間には砂地に小さなサンゴパッチが散在する場所を動き回ることが明らかになった。また、昼間と同じサンゴ礁で休息する複数個体においては、夜間には異なる場所を利用することが明らかになった。一方、個体の夜間の利用海域は、実験期間(約2カ月)を通してほとんど変化しないことが明らかになった。以上から、ナミハタ成魚にとって、昼間の休息場としてサンゴ礁が、夜間の摂餌場としての砂地とサンゴパッチが広がる生息場が重要であることが示唆された。また、保護区等により本種を保全する上では、昼間の狭い行動範囲・生息地(サンゴ礁)だけでなく、夜間の広い行動範囲・生息地を保護する必要があることが示唆された。

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6件)

Kawabata Y, Nanami A, Yamamoto K, Sato T, Kuwahara K, Koga M, Kawaguchi K, Yamaguchi T, Ohta I, Kawabe R, Nishihara G, Yagi M, Soyano K. Duration for migration and reproduction of males is dependent on energy reserve, in a fish forming spawning aggregations. *Marine Ecology Progress Series*. in press. doi: 10.3354/meps11380. 【査読有】

Kawabata Y, Nishihara G, Yamaguchi T, Takebe T, Teruya K, Sato T, Soyano K. The effect of spine postures on the hydrodynamic drag in *Epinephelus ongus* larvae. *Journal of Fish Biology*. 2014. 85, 1757-1765. 【査読有】

Kawabata Y, Noda T, Nakashima Y, Nanami A, Sato T, Takebe T, Mitamura H, Arai N, Yamaguchi T, Soyano K. Use of a gyroscope/accelerometer data logger to identify alternative feeding behaviours in fish. *The Journal of Experimental Biology*. 2014. 217, 3204-3208. 【査読有】

Nanami A, Kawabata Y, Sato T, Yamaguchi T, Kawabe R, Soyano K. Spawning migration and returning behavior of white-streaked

grouper *Epinephelus ongus* determined by acoustic telemetry. Marine Biology. 2014. 161, 669-680. 【査読有】

Noda T, Kawabata Y, Arai N, Mitamura H, Watanabe S. Animal-mounted gyroscope/accelerometer/magnetometer: *in situ* measurement of the movement performance of fast-start behaviour in fish. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2014. 451, 55-68. 【査読有】

Noda T, Kawabata Y, Arai N, Mitamura H, Watanabe S. Monitoring escape and feeding behaviours of cruiser fish by inertial and magnetic sensors. PLoS ONE. 2013. 8(11): e79392. doi:10.1371/journal.pone.0079392. 【査読有】

〔学会発表〕(計 8 件)

名波 敦、太田 格、佐藤 琢、河端雄毅、秋田雄一. 繁殖集団をつくる生物の保全生態学的研究 -サンゴ礁魚類のナミハタを例にして-. 第62回日本生態学会大会. 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市). 2015年3月19-22日.

野田琢嗣、河端雄毅、奥山隼一、三田村啓理、小泉拓也、荒井修亮. バイオリギングによる水圏生物の行動情報の取得 5. ジャイロセンサ搭載データロガーの開発と水圏動物の行動モニタリングへの応用. 平成26年度日本水産学会春季大会. 740. 北海道大学(北海道函館市). 2014年3月27-31日.

河端雄毅、野田琢嗣. データロガーを用いた魚類における突進遊泳(Burst swimming)の定量化. 第25回魚類生態研究会. 18. 九州大学(福岡県福岡市). 2014年2月15-16日

Kawabata Y, Noda T, Nakashima Y, Nanami A, Sato T, Mitamura H, Arai N, Yamaguchi T, Soyano K. Benthic crab or elusive fish: a technique for monitoring feeding behaviors on multiple prey types in fish using a gyroscope/acceleration data-logger. 9th Symposium by Japanese Society of Bio-Logging Science. 17. Tokyo, Japan. Nov 7-8, 2013.

Yamaguchi T, Kawabata Y, Takebe T, Nanami A, Sato T, Teruya K, Soyano K. Gonadal development and spawning migration of white-streaked grouper. 9th International Conference on the Marine Biodiversity and Environmental Fisheries Science of the East China Sea. 30. p. 102.

Keelung, Taiwan. Sep 29-Oct 1, 2013.

Kawabata Y, Noda T, Nakashima Y, Nanami A, Sato T, Hiromichi Mitamura, Nobuaki Arai, Tomofumi Yamaguchi and Kiyoshi Soyano. Toward the development of the feeding event recorder: classification of the fast-start behaviors of white-streaked grouper *Epinephelus ongus* using gyroscope/accelerometer. 9th International Conference on the Marine Biodiversity and Environmental Fisheries Science of the East China Sea. C1. Keelung, Taiwan. Sep 29-Oct 1, 2013.

Kawabata Y, Noda T, Nakashima Y, Nanami A, Sato T, Mitamura H, Arai N, Yamaguchi T, Soyano K. A biomechanics approach to feeding ecology of fish in the wild: an animal-attached gyroscope/accelerometer for detecting the different feeding behaviors of white-streaked grouper *Epinephelus ongus*. P. 127. 9th Indo-Pacific Fish Conference. Okinawa, Japan. June 24-28, 2013.

Nanami A, Kawabata Y, Sato T, Yamaguchi T, Soyano K. Reproductive movement to the spawning ground and homing ability of white-streaked grouper *Epinephelus ongus* determined by acoustic telemetry. P. 126. 9th Indo-Pacific Fish Conference. Okinawa, Japan. June 24-28, 2013.

〔その他〕
ホームページ
<https://sites.google.com/site/kawabatalaboratory/home>

6. 研究組織
(1)研究代表者
河端 雄毅 (KAWABATA, Yuuki)
長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環シナ)・助教
研究者番号: 50606712