

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成30年 6月19日現在

機関番号：35409

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26870772

研究課題名(和文) ナルトビエイの行動計測による二枚貝類等の食害防除対策と沿岸生態系への影響評価

研究課題名(英文) Monitoring activity of the Naru eagle ray to protect bivalve resources and to assess impact on the coastal ecosystem

研究代表者

渡辺 伸一 (WATANABE, Shinichi)

福山大学・生命工学部・准教授

研究者番号：20450728

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、貝類を捕食するナルトビエイに記録計を装着して本種の摂餌行動を詳細に分析し、貝類資源への食害を軽減する手法を考案し、さらに瀬戸内海の浅海域の生態系へ与える影響を評価することを目的としている。平成27年度までの調査で、沿岸域へ来遊したナルトビエイを捕獲し、記録計を装着し、数日後に回収する手法を開発した。また、平成28年度の調査でビデオカメラを装着して、行動を記録することで自然状態でのナルトビエイ摂餌行動や他個体との接触行動を記録することができた。平成29年度の調査では、さらに調査を継続して、ナルトビエイが摂餌する海底環境や他魚種との種間関係を示す映像データを記録することに成功した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a system to monitor activity of the Naru-eagle ray and to assess the impact on the shallow water ecosystem in Set-Inland Sea. We spent first two years (2014, 2015) to develop a procedure for effectively catching rays and attaching data-loggers to monitor its activity. In the third year (2016), using an animal-borne video camera system with an activity logger, we develop an algorithm to classify detail behavior of the species such as flapping, gliding, resting or feeding on seafloor. In the last two years (2016, 2017), we analyzed relationships among their activity, seafloor environments, and other encountered fish species.

研究分野：動物生態学

キーワード：バイオロギング バイオテレメトリー 食害 行動計測 加速度データロガー 瀬戸内海 沿岸生態
干潟

1. 研究開始当初の背景

ナルトビエイは、近年、九州から瀬戸内海の沿岸域において個体数が増加傾向にある大型のエイである。国内では1989年に長崎県五島列島で捕獲された後、分布域は急速に北上しており、瀬戸内海では、過去十年間で捕獲数が急増している。本種は二枚貝類を大量に捕食することから、アサリなどの資源量の減少の一要因としても注目されており、さらに混獲による漁具への被害も発生している。

瀬戸内海各地では、緊急の対策として、2003年から本種の捕獲駆除が行われている。捕獲数は、季節的に大きく変動し、6月から9月の水温が上昇する夏季に捕獲数が集中し、水温が低下する冬季にはほとんどみられなくなる。本種の移動回遊のパターンには、水温の変化が影響することが示されており、本種の分布北上には地球温暖化の影響なども要因として考えられている。しかし、本種の移動回遊の実態はこれまで明らかでない。ナルトビエイの移動回遊のパターンや捕食行動についての生態研究は、アサリなどの水産資源の減少を防ぎ、さらに気候変動による海洋環境への影響を知る上でも重要だと考えられる。

ナルトビエイの生態研究については、捕獲個体数の季節的変動や、その胃内容物分析の結果から、本種の出現時期と大まかな分布北上のパターン、さらに各地における食害被害の状況などが徐々に明らかになっている。また、食害防除の対策については、防除ネットや防除柵による二枚貝類の保護や、音響システムを用いたナルトビエイによる捕食行動の検出と防除などの応用研究も進められている。しかし、より効果的に防除対策を講じるためには、ナルトビエイの移動回遊のパターンや捕食行動を詳細に知る必要がある。つまり、個体単位でナルトビエイの行動を連続して記録することで、年間を通じた移動回遊パターンや沿岸部へ来遊する時期の捕食行動を詳細に調べ、防除・駆除対策の効果などを検証する必要があると考えられる。

2. 研究の目的

前述のように、ナルトビエイの食害防除に向けた取り組みは、日本各地で行われている。本研究のように Argos 送信機をもちいて移動回遊経路の特定の試みも行われてきた。しかし、追跡が技術的に困難であるため、詳細かつ長期的な行動計測の実現には至っていない。その一番の理由は、ナルトビエイの移動範囲が広く、個体追跡が難しいためであると考えられる。

本研究では、ナルトビエイの行動を野外環境で詳しく分析することで、最適な計測技術を開発する。また、本研究が瀬戸内海の内湾

環境という閉鎖海域で行うことにより、詳細な追跡が可能となると考えられる。たとえ瀬戸内海であっても、開放水域では超音波受信機の受信範囲で調査地全体をカバーすることはコスト面で難しい。しかし、湾内環境であれば、少ない受信機で調査地全体をカバーすることができる。よって、湾内環境でナルトビエイの行動を継続して追跡する技術を開発し、それをモデルケースとして、その手法を各地で適用することが期待される。そして、日本各地でナルトビエイにより生じた食害被害の解決や沿岸生態系への影響の評価を行うために貢献できるものと考えられる。

3. 研究の方法

申請者は、これまでにマイクロデータロガーとよばれる小型記録装置を動物に取り付け、その行動と動物を取り巻く環境との関わりについて研究してきた。マイクロデータロガーは、GPS や照度、地磁気センサなどで動物の居場所を特定し、さらに水温や深度センサによって動物の生息環境を評価できる。また、動物が運動によって生みだした加速度の変化を記録することによって、休んだり、動いたり、餌を食べたりするなどの詳しい行動を秒単位で記録することもできる。記録した加速度データは、1秒間に数十サンプルを超えた量となるため、長期間に渡って記録したデータを分析するには、これまで大変な労力を要した。申請者は、ハード面でデータロガーの開発に携わってきただけでなく、ソフト面での開発にも着手してきた。その経験を生かして、本研究では、ナルトビエイから得られた行動データを効率よく解析するアルゴリズムを開発する。つまり、データロガーで記録した加速度から、いつナルトビエイが、休んだり、泳いだり、餌を食べたりするのか詳細な行動の再現を試みる。

本研究では、瀬戸内海の沿岸域で捕獲したナルトビエイにデータロガーおよび超音波発信器を装着し、その行動を追跡する。研究初年度にデータロガーの装着と回収の手法を開発し、次年度以降にバイオリギングデータから行動を再現するアルゴリズム開発を行った。

上記手法が確立した後、その手法を使って、野外でナルトビエイの行動データを取得した。さらに、その成果を生かして、ナルトビエイの摂餌行動のパターンを分析した。

4. 研究成果

(1) 摂餌の発生頻度と深度

ナルトビエイに記録計を装着し、放流から2～4日後に回収した。加速度・深度データは9個体のデータ(計580時間)ビデオ

ータは視界不良のものを除外し、7 個体のデータ（計 51.5 時間）を解析した。ビデオデータから海底の環境と海底での摂餌行動を観察し、記録した加速度データと比較した。深度データより海底に着底し、上昇するまでの行動を海底イベントと定義した。摂餌行動が記録された海底イベントの発生時刻と深度、および 1 回の海底イベント中の合計摂餌時間を計測した。さらに発生時刻の昼夜および潮汐との関係を調べた。

ビデオデータから海底の環境が確認できたのは 128 回で、そのうち 126 回は砂泥、2 回は岩礁だった。摂餌は 1 個体で 2 回、12 時間後に砂泥で確認された。加速度・深度データから検出した海底イベントは計 5123 回、うち 750 回で摂餌が確認された。1 回の海底イベントの合計摂餌時間は 30 秒未満が全体の 90% 占めたが、最長で 13.4 分に及んだ。摂餌は昼より夜に多くみられ、とくに満潮 2 時間前後に多かった（図 1a）。摂餌深度は 1 - 3m が全体の 86% を占めた（図 1b）。

ナルトビエイは砂泥に着底し、主に夜間の満潮前後に 3m 以浅の海域で摂餌した。この摂餌環境と発生時刻は、餌となる二枚貝の習性と関係すると考えられる。アサリ等の二枚貝類の多くは、砂泥域の浅瀬に生息する。また、夜間の満潮時に海底の表層に現れ、植物プランクトンを摂餌する。このような二枚貝類の習性を利用して、ナルトビエイは効率よく摂餌していると考えられる。また、多くの場合で摂餌時間は短く、すぐに他の海底へと移動したが、10 分以上も同じ海底に留まり摂餌を続けることもあった。これは餌の密度に応じて、本種が摂餌に費やす時間を調節しているからだと考えられる。ナルトビエイは海底を掘り、餌が発見できない場合は、すぐにその場を離れ、他の海底で餌を探す。餌が発見できた場合は、その海底に長く留まり摂餌を続ける。こうした摂餌戦略により、広範囲を効率よく探索しているのではないかと考えられる。

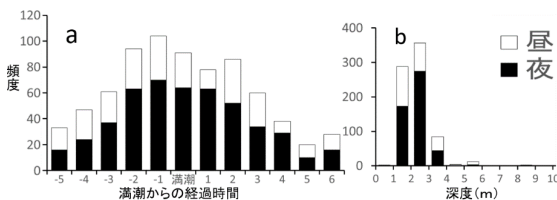


図 1 . 摂餌が発生する時間帯 (a) と深度 (b)

(2) 餌探索の時間と距離

ナルトビエイは低密度かつ局所的に分布する二枚貝を探して摂餌しているものと考

えられるが、その摂餌戦略は明らかになっていない。本研究ではデータロガーを用いた行動調査の結果から、本種の摂餌戦略を考察した。

2017 年 7~8 月に捕獲したナルトビエイ 5 個体に加速度・地磁気ロガーを装着し、放流から 96~120 時間の行動データを記録した。記録データから、摂餌がみられた海底での行動を 3 タイプ（探索、摂餌、摂餌後）に分類し、それぞれの時間と距離を算出した。

計 7761 回の着底のうち 557 回で摂餌が確認された。摂餌時間は探索時間に比べて有意に長く、摂餌距離は探索距離に比べて有意に短かった。また、摂餌後の時間と距離は探索・摂餌に比べて有意に短かった（図 2）。探索時間が摂餌時間より短いことから、ナルトビエイは着底後すぐに餌を探して掘る場所を決めていると考えられる。また、摂餌距離が短く、摂餌後の時間と距離が短かった。このことから、狭い範囲で摂餌し、餌がなければすぐに離底して、つぎの餌場へと移動していることが推察される。また、摂餌時間は探索時間と比べてばらつきが大きかった。これはナルトビエイが餌密度の違いに応じて、摂餌時間を調節しているからではないかと考えられる。つまり、餌が高密度で分布する場所では摂餌時間を延ばし、低密度の場所ではすぐに餌場を移動していることが予想される。以上のように、本種は探索と摂餌を繰り返すことで、効率よく広範囲を探索して、海底の二枚貝類を摂餌していることが推察される。

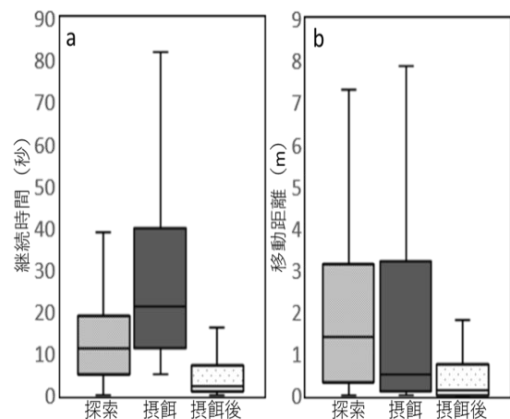


図 2 . 海底滞在中の各行動の継続時間 (a) と移動距離 (b) の比較

(3) 遭遇した魚類相と海底環境の比較

ナルトビエイ 15 個体にビデオカメラとデータロガーを装着し、2~12 時間記録した。得られた映像を 1 分毎に集計し、エイが遊泳した海底環境(砂泥・藻場・アマモ場・岩礁)

と摂餌がみられた海底の環境(摂餌環境)を記録した。また、出現した魚種と撮影した海底環境および水深を算出した。各魚種の出現した環境の割合と水深を全体の撮影環境と比較した。

計 145 時間の映像から、海底環境の 67% が砂泥だった(図 3)。また、摂餌は計 141 回、99% が砂泥で、比較的深い海域で見られた。魚類は計 7 種 956 回撮影され、ナルトビエイ(57%)とクロダイ(34%)で全体の 9 割を占めた。両種ともに砂泥での出現割合が高いが、ナルトビエイは比較的浅い海域のアマモ場で、クロダイは深い海域の藻場で多く撮影された。

遭遇した魚類の 9 割がナルトビエイとクロダイだった。しかし、この結果が松永湾の魚類相を反映した結果とは考えられない。ナルトビエイが撮影したことによって、本種が好む環境を選択的に撮影したことで、同じ環境を好む魚種に偏ったことが考えられる。ナルトビエイは主に砂泥を遊泳し、摂餌は比較的深い砂泥で行われた。しかし、その間に遭遇した他のナルトビエイは、比較的水深の浅いアマモ場でも多く確認された。よって、ナルトビエイがアマモ場を摂餌以外の目的で利用する可能性がある。クロダイは、岩礁や藻場などの海底に固着した無脊椎動物を捕食する。しかし、クロダイが撮影された環境は砂泥と藻場で、撮影環境の割合とほぼ一致した。砂泥でナルトビエイの後方や腹面下を追尾する様子が映像から確認されており、エイが摂餌した際に掘り出された底生生物を捕食していることが推察される。瀬戸内海では、クロダイの増加がナルトビエイ同様に二枚貝類へ食害を与える要因と考えられている。両種が瀬戸内海の砂泥に集合することで、二枚貝類の資源減少を促進している可能性がある。

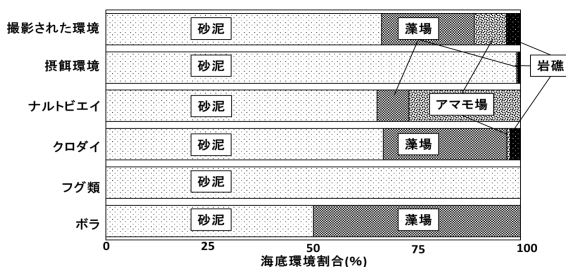


図 3 . 撮影された海底環境の比較

(4) 捕食が与える底生生物群集の影響

ナルトビエイが二枚貝を選択的に捕食し、アサリ等の資源の低下を引き起こすことが懸念されている。しかし、ナルトビエイの摂餌が底生生物に与える影響についての情報

は少ない。本研究では、ナルトビエイによる考えられる食痕がある地点とない地点で底生生物を調査し、ナルトビエイによる捕食が与える底生生物群集への影響を考察した。

2015 年 5~8 月(夏期)と 10~11 月(秋期)に岡山県笠岡市の干潟でナルトビエイによる考えられる食痕がある 26 地点とその周囲 2 m 以内の食痕のない 26 地点の泥を採取し、篩にかけて底生生物を採集した。採集した生物は種を同定し、多様性指数を夏期・秋期の食痕の有無に分けて算出した。さらに二枚貝綱・多毛綱などの各綱の個体数を求め、夏期・秋期および食痕の有無で比較した(図 4)。また、地点ごとに各綱の相対密度を算出し、綱間の相関係数を算出して、底生生物の種間関係を考察した。

多様性指数は夏期に食痕がある地点で有意に高かった。夏期に食痕がある地点では、多毛綱、軟甲綱が多く、食痕のない地点では二枚貝綱が多かった。また、二枚貝綱の相対密度と多毛綱および軟甲綱の相対密度には有意な負の相関が見られた。食痕のある地点では、二枚貝綱の中でニッコウガイ科、マテガイ科が優占したが、食痕のない地点では群生するイガイ科(特にホトトギスガイ)が優占した。以上の結果から、ナルトビエイが笠岡市沿岸海域に多く来遊する夏期には、ナルトビエイの直接的な捕食と砂泥を掘り返すことにより、二枚貝綱が減少し、代わりに多毛綱や軟甲綱が増えることで、底生生物群集の多様性が高まることが考えられる。

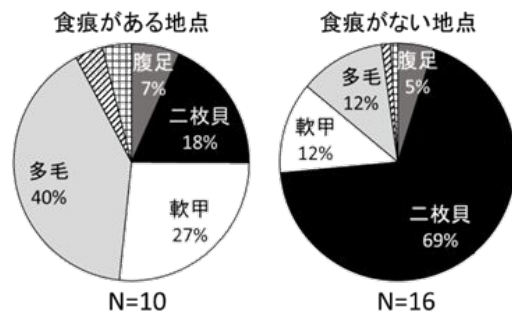


図 4 .ナルトビエイの食痕のある地点とない地点での底生生物相の比較

5 . 主な発表論文等

[学会発表](計 8 件)

石黒直生, 松井健介, 岩本遼, 渡辺伸一
ナルトビエイが撮影した広島県松永湾の魚類相と海底環境.. 日本水産学会春季大会(口頭発表)(2018 年 3 月、東京)

渡辺伸一

10 年後のバイオロギング - バイオロギングはどう発展するのか? - 第 13 回 日本

バイオロギング研究会シンポジウム(実行委員長)(2017年11月、福山市)

石黒直生, 廣瀬友明, 岩本遼, 松井健介,
渡辺伸一

ナルトビエイが撮影した広島県松永湾の魚類相 .日本バイオロギング研究会シンポジウム (ポスター発表)(2017年11月、福山市)

渡辺伸一, 岩本 遼

瀬戸内海におけるナルトビエイの摂餌行動: ビデオ・加速度記録計による観察 . 日本水産学会春季大会 (口頭発表)(2017年3月、東京)

Shinichi Watanabe

Monitoring activity of the keystone species in the costal ecosystem of the Seto Inland Sea, Japan . Symposium: the SIMSEA Regional Symposium 2016 [Oral Presentation] (26-28 September 2016, Quezon City, Philippines).

渡辺伸一

Ocean Ninja Monitoring Project: 海洋生物を使った環境モニタリング手法 . 第49回水環境フォーラム山口 講演会(招待講演)(2016年8月、山口市)

西周太郎, 渡辺伸一

岡山県笠岡市神島東村干潟におけるナルトビエイの食痕の有無による底生生物群集の比較 . 平成28年度日本水産学会春季大会 (口頭発表)(2016年3月、東京)

岡本沙希子, 品川憲良, 渡辺伸一

瀬戸内海沿岸におけるナルトビエイの遊泳・採餌行動 . 平成28年度日本水産学会春季大会 (口頭発表)(2016年3月、東京)

[図書](計2件)

渡辺伸一 他(日本バイオロギング研究会編) 京都通信社、バイオロギング2 - 最新科学で解明する動物生態学、2016年、223pp.

佐藤克文、青木かがり、中村乙水、
渡辺伸一、丸善プラネット社、野生動物は何を見ているのか バイオロギング奮闘記、2015年、197pp.

[その他]

ホームページ等:

大学研究室 HP

<http://org.fukuyama-u.ac.jp/marine-bio/koudou/>

大学研究室 Facebook ページ

<https://www.facebook.com/海洋動物行動学研究室-490177271045805/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡辺 伸一 (WATANABE, Shinichi)

福山大学・生命工学部・准教授

研究者番号: 20450728