

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05784

研究課題名(和文)高精度バイオテレメトリーによるイセエビの人工種苗と天然種苗の逸散過程の比較

研究課題名(英文) Comparison studies on the dissipation process of the artificial and natural fingerlings of Japanese spiny lobster using fine-scale biotelemetry

研究代表者

荒井 修亮 (Arai, Nobuaki)

京都大学・フィールド科学教育研究センター・名誉教授

研究者番号：20252497

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は高精度な超音波バイオテレメトリーによって、放流直後のイセエビの逸散過程を解明することを目的とし、次の3項目を実施した。稚エビ期イセエビへの発信機装着手法の開発、飼育条件の違いが行動に及ぼす影響の解明、放流後の行動・移動に関する天然と人工種苗の比較

スパゲッティタグを用いた場合、小型個体では保持されるが大型個体は脱落するため、接着剤での装着が有効と分かった。監視カメラによる室内水槽での観察から飼育条件によらず夜行性を示すことが示唆された。実海域での超音波バイオテレメトリーによる放流実験から人工と天然イセエビの稚エビ期の滞在率に違いがあることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水中での高精度測位は、海洋生物を取り巻く環境が行動に与える影響の定量化に資するばかりでなく、「なぜ、その時、どのような目的で、そのような行動を行うか」という本質的な問いへの有効な解釈を与える手がかりの提示が期待できる。本研究の成果で稚エビ期のイセエビの放流直後の行動を超音波バイオテレメトリーで追跡できことを実証した。この成果は、イセエビの着底後の生態解明という学術的意義に資するとともに、沿岸漁業での重要種である本種の資源管理という社会的意義に資する。また本研究では極めて困難なイセエビの種苗生産技術の開発を行ってきた三重県水産研究所の協力の下、実施された課題であり、社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)： The purpose of our study was to elucidate the dissipation process of Japanese spiny lobster after the release using fine-scale ultrasonic biotelemetry, and the following three items were carried out. (1) Development of a transmitter mounting method for juvenile spiny lobsters, (2) Effects of breeding conditions elucidate the effects on behavior and movement after the release, (3) Differences in size, sex, natural and artificial affect the juvenile behavior and movement after release.

When the spaghetti tag was used, it was retained in the small size juvenile but detached in the large size. Therefore it was effective to be attached with an adhesive instead of the spaghetti tag. From the release experiment by ultrasonic biotelemetry in the actual sea area, it was illustrated that there is a difference in the residence time of artificial and natural spiny lobsters juveniles.

研究分野：海洋生物環境学

キーワード：イセエビ 超音波バイオテレメトリー 行動観察

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

## 1. 研究開始当初の背景

イセエビ (*Panulirus japonicus*) は房総半島以南の太平洋沿岸域の重要水産資源である。イセエビ資源の増殖を目的として、国および関係県において種苗生産、幼生飼育による放流用稚エビの人工生産に関する研究が行われてきた。特に「伊勢エビ」の名前の由来となった三重県では、約 85 年前から三重県水産試験場（現在、三重県水産研究所）において稚エビ生産の研究を開始し、1988 年に世界で初めて人工孵化した幼生を稚エビまで育てることに成功した（当時、三重県水産技術センター）。しかし人工生産した稚エビは、魚病によるへい死を防ぐ目的で試験的に投与される薬剤のために海へ放流することができなかった。こうした背景の中、同研究所では薬剤を使うことなく稚エビまでの生育に成功し、2015 年 8 月、世界で初めて人工生産稚エビの試験放流が三重県志摩市志摩町和具で実施された。放流直後、スクーバダイビングによるイセエビの追跡が行われたが、わずか一日ですべてのイセエビは放流域から逸散し、その後の追跡はできなかった。

近年、多くの海洋生物で超音波バイオテレメトリーによる研究が進展している。特に発信機や受信機の発達に従って、水中の位置計測が飛躍的に高度化しており、生簀内のマグロ当歳魚の群行動の再現や、実験池内のニホンウナギの周年に亘る巣穴の利用状況などの計測も可能となってきた。しかし、イセエビ、特に稚エビは、数週間～2 ヶ月程度の間隔で脱皮、同時に発信機も脱落することから長期間の追跡は困難と想定される。また発信機が脱落して見かけ上、移動しなくなっても、どの時点で脱皮したかを正確に判断することは困難である。

甲殻類への発信機の装着は、外骨格である甲羅へ接着剤を使って比較的容易に行える。本研究代表者らはズワイガニの甲羅へ装着した超音波発信機で日本海水深 240m での移動追跡に成功している（<sup>①</sup>Mitamura et al, 2015）。またロブスターも同じく甲羅への接着で追跡された事例はある（<sup>②</sup>Bertelsen and Hornbeck, 2009 など）。しかし、これらは大きく成長した個体の場合であり、成長過程にあつて脱皮頻度が高い稚エビでは甲羅への接着によって追跡を行うことは困難である。稚エビの場合は脱皮後も発信機が保持されるように身肉に直接装着する必要があるが、小型個体では難しい。研究代表者らはすでに身肉を自切するマナマコへの超音波発信機の装着方法を試行錯誤の末に編み出した（<sup>③</sup>Fujino et al, 2017）。本研究課題では、本手法を基に稚エビ期イセエビに応用できるのでないかと着想した。

水中での高精度測位は、海洋生物を取り巻く環境が行動に与える影響の定量化に資するばかりでなく、「なぜ、その時、どのような目的で、そのような行動を行うか」という本質的な問いへの有効な解釈を与える手がかりを提示することが期待できる。

## 2. 研究の目的

本研究課題は高精度な超音波バイオテレメトリーによって、放流直後のイセエビの逸散過程を解明することを目的とした。特に、①脱皮頻度が高い稚エビ期イセエビへの発信機の装着法の開発、②飼育条件の違いが行動及ぼす影響の解明、③放流後の行動・移動に関する天然と人口種苗の比較に取り組んだ。

## 3. 研究の方法

三重県志摩市浜島地先において、超音波発信機 (V5-180, Innovasea 社) および超音波受信機 (VR2W-180kHz, Innovasea 社) を用いたテレメトリーを実施した。供試個体は三重県水産研究所で生産された種苗および天然個体を用いた。

### ① 稚エビ期イセエビへの発信機装着手法の開発

スパゲティタグに発信機のダミーを固定した標識をイセエビに装着し、その保持率を調べた。装着実験は 2016 年 7 月 7 日から 8 月 31 日までの 55 日間、三重県水産研究所で行った。供試個体として同研究所で飼育されているイセエビの大型個体 10 個体と小型個体 30 個体を用いた。超音波発信機 V5-1H (Vemco 社、以下 V5) と V9-1H (同社、以下 V9) と大きさと重量が等しいダミーを作成した。スパゲティタグを付けない対照区の個体識別には頭胸甲に装着するゼッケンを用意した。V5 ダミータグ付小型個体 10 個体 (平均頭胸甲長  $44.6 \pm 1.6$  mm)、通常のスパゲティタグ付小型個体 10 個体 (平均頭胸甲長  $43.3 \pm 2.1$  mm)、個体識別用ゼッケン付小型個体 (タグ無し) 10 個体 (平均頭胸甲長  $43.5 \pm 2.0$  mm)、V9 ダミータグ付大型個体 10 個体 (平均頭胸甲長  $57.2 \pm 4.6$  mm) の 4 群となるように設定し、各群を別々の水槽 (1.8 m<sup>3</sup>, 1.43 m × 2.37 m × 0.71 m, FRP 製) で飼育した。標識脱落の有無は、毎朝飽食量を給餌する時に確認した。V9 ダミータグ付大型個体群で実験期間中に脱皮をせず、脱落日が不明だった 2 個体はデータから除外した。

### ② 飼育条件の違いが行動に及ぼす影響の解明

ビデオ観察を用いて、給餌時刻の変更が日周行動に与える影響を調べた。実験は三重県水産研究所にて、2018 年 5 月 21 日から 10 月 30 日の期間に行った。給餌時刻を午前中に設定した天然イセエビ 10 個体と夕方に設定した天然イセエビ 10 個体、給餌時刻を午前中に設定した人工生産イセエビ 4 個体の 3 実験区を設定した。週 5 日、午前給餌群は午前中、夕方給餌群は夕方に生きたムラサキイガイを給餌した。水槽の直上に監視カメラ (HDCamerakit, BNT 社) を設置し、2018 年 5 月 21 日から 10 月 30 日にかけて連続撮影して観察した。

監視カメラによる動画データから 1 分ごとに画像を抽出し、各画像についてイセエビの位置がシェルター内かシェルター外かを判定した。シェルター外にいた場合は次の画像までの 1 分間を外出したとして、1 時間ごとのシェルター外滞在時間を算出した。

シェルター外滞在時間に影響する要因を調べるため、一般化加法混合モデルを構築した。応答変数を 1 時間ごとのシェルター外滞在時間 (分)、説明変数を時刻、性別 (雌雄) 雌雄、実験区、体長とした。性別雌

雄、実験区はカテゴリカル変数とした。また、シェルター外滞在時間と時間帯の関係を調べるため、日中(6:00~18:00)、消灯後(18:00~21:00)、夜間(21:00~3:00)、点灯前(3:00~6:00)の1時間ごとのシェルター外滞在時間を多重比較した(Tukey-Kramer test)。

### ③ 放流後の行動・移動に関する天然と人工種苗の比較

調査は三重県志摩市浜島町浜島地先で、2018年度、2019年度に行った。2018年度は人工4個体、天然19個体、2019年度は人工8個体、天然8個体を実験に供した。人工個体については、いずれも三重県水産研究所で畜養されていた個体であり、2019年度では前年の夏に孵化した1歳種苗、2018年度では前前年夏に孵化した2歳種苗を用いた。天然個体は調査地付近で刺し網によって漁獲された個体のうち人工個体にサイズが近い個体を使用した。追跡には超音波発信機V5-1H(2018年度)とV5-2H(2019年度)(Vemco, Canada)を使用した。個体の位置をモニタリングするために、設置型超音波受信機VR2W-180kHzとHR2(Vemco, Canada)を用いた。

全受信範囲で1日に2回以上の受信があった場合、その日にその個体が受信範囲に滞在したとみなし、個体ごとに受信範囲内での滞在日数を調べた。1日ごとの受信範囲に滞在している個体数を全個体数で割ることで、人工群、および天然群それぞれの滞在率を算出した。ある個体の連続した受信の間隔が5分以内のとき、その間の時間を受信時間とした。また、1日ごとの昼間(6:00~18:00)と夜間(18:00~6:00)の総受信時間を算出し、マンホイットニーのU検定を用いて比較した。放流後2日以内に受信が途絶えた個体は、受信時間の解析から除外した。

## 4. 研究成果

### ① 稚エビ期イセエビへの発信機装着手法の開発

V5ダミータグ付小型個体は10個体のうち5個体がタグを保持し、4個体でタグが脱落し、1個体が死亡した。タグを保持し続けた5個体はすべて実験期間中に脱皮を行った。スパゲティタグ付小型個体は10個体のうち2個体がタグを保持し、8個体でタグが脱落し、1個体が死亡した。個体識別用ゼッケン付小型個体は10個体のうち7個体が死亡した。V9ダミータグ付大型個体は8個体のうち8個体でタグが脱落した。死亡はなかった。本研究の小型個体は、55日間で30個体のうち28個体が脱皮を行った。V5ダミータグを装着していた実験群の保持率はスパゲティタグのみを装着していた実験群の保持率より有意に高かった(the log-rank test,  $p=0.0345$ , Fig. 1)。

本研究でのV5ダミータグ付小型個体のタグ保持率は55日目に50%であった。本研究でのV5ダミータグ付小型個体のタグ保持率は、スパゲティタグ付き小型個体の保持率を有意に上回った。大型個体に装着したV9ダミータグはすべて脱落した。個体識別用のゼッケンを装着した個体は、死亡した7個体すべてにおいて死亡日と脱皮日時が一致していることから、ゼッケンが脱皮を妨げたと考えられる。

本研究の小型個体は31日間で30個体のうち23個体が脱皮した。接着剤による発信機の装着は脱皮頻度の高い小型個体の長期追跡には不向きである。本研究の装着方法は、イセエビ小型個体が脱皮を行ってもV5発信機が脱落しない可能性が比較的高い。本研究の手法によって、重要水産資源であるイセエビの行動生態の解明が期待される。

### ② 飼育条件の違いが行動に及ぼす影響の解明

一般化加法混合モデルの結果から、時間が1時間ごとのシェルター外滞在時間に対して有効な説明変数であることが示された(Wald検定:  $P<0.001$ )。その一方で、性別、由来、体長は有効な説明変数ではなかった( $P>0.05$ )。時間帯ごとのシェルター外滞在時間を多重比較した結果、午前給餌人工個体、午前給餌天然個体、夕方給餌天然個体の各群について、1時間ごとのシェルター外滞在時間は消灯後、夜間、点灯前、日中の順で有意に長かった。天然個体は、給餌時刻に関わらず夜行性を示したため、給餌時刻の変更による日周行動への影響は見られなかった。給餌時刻の変更は行動の日周性に影響を及ぼさないことが明らかになった。

### ③ 放流後の行動・移動に関する天然と人工種苗の比較

放流1ヶ月後の受信範囲への滞在率は、人工75.0%・天然21.1%(2018年度)、人工75.0%・天然12.5%(2019年度)であった。放流後48時間以内に受信が途絶えた個体は、2018年度は人工0個体(0%)・天然15個体(78.9%)、2019年度は人工1個体(12.5%)・天然3個体(37.5%)であった。人工個体に比べて天然個体の方が放流後48時間以内に受信が途絶える割合が高い傾向にあった。人工個体は実験期間を通して徐々に滞在率が低下していったが、放流直後に大きく低下する様子は見られなかった。実験期間を通して人工個体の方が高い滞在率を示した。人工個体の滞在率が高いという本研究の結果により、イセエビが栽培漁業の対象種として適していることが改めて確認された。

個体ごとに、昼間(6:00~18:00)の受信時間と夜間(18:00~6:00)の受信時間を比較した。2018年度は人工3個体(75.0%)、天然4個体(100%)は昼間と比較して夜間の受信時間が有意に長かった( $P<0.05$ )。2019年度は人工7個体、天然6個体について解析を行い、このうち人工4個体(57.1%)、天然4個体(66.7%)は昼間と比較して夜間の受信時間が有意に長かった。人工種苗も天然個体と同様に夜行性を示すことが示唆された。

クルマエビやガザミなど暖海性、沿岸性の甲殻類は大量に種苗放流されているが、バイオテレメトリーによる研究例がなく、本研究はわが国初となる。本研究の成果からイセエビの行動や移動範囲は様々な要因の影響を受けていることが明らかになると想定される。全国の漁獲量は1,000トン程度(平成26年は1,297トン)ではあるが、沿岸地域にとって重要な水産資源として次世代に引き継ぐ価値ある資源である。種苗の大

量生産が困難なイセエビにおいて、放流直後の行動生態に関する知見は、放流効果の向上に資する貴重な知見となる。さらに開発した手法は水産上重要な甲殻類の行動・移動の調査にも適用が可能であり、これら甲殻類の移動追跡の研究手法確立は水産学上の意義が大きい。

<引用文献>

- ① H. Mitamura, T. Ohtani, T. Ozaki, N. Yoshida, N. Arai. Regular behavior and movement patterns in snow crabs at dark continental shelf. Abst., 3rd International Conference of Fish Telemetry, 100p, 2015.
- ② R. D. Bertelsen and J. Hornbeck. Using acoustic tagging to determine adult spiny lobster (*Panulirus argus*) movement patterns in the Western Sambo Ecological Reserve (Florida, United States). *The Royal Society of New Zealand*, **43**, 35-46, 2009.
- ③ T. Fujino, H. Sawada, H. Mitamura, R. Masuda, N. Arai, Y. Yamashita. Single spaghetti tagging as a high-retention marking method for Japanese common sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Fish. Sci.* **83**, 367-372, 2017.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 世古 将太郎, 市川 光太郎, 土橋 靖史, 阿部 文彦, 三田村 啓理, 荒井 修亮	4. 巻 85
2. 論文標題 スバゲティタグを利用したイセエビへの超音波発信機の装着法の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本水産学会誌	6. 最初と最後の頁 67～69
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2331/suisan.18-00022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 義江健吾・竹内泰介・土橋靖史・市川光太郎・荒井修亮・三田村啓理
2. 発表標題 バイオロギングによる人工生産・天然イセエビの稚エビ期の行動比較
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 義江健吾・世古将太郎・竹内泰介・土橋靖史・市川光太郎・荒井修亮・三田村啓理
2. 発表標題 バイオロギングによる水圏生物の行動情報の取得-1 人工生産イセエビ種苗と天然イセエビ種苗の日周性に関する研究
3. 学会等名 平成31年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------