短 報

スパ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世古将太郎,^{1*} 市川光太郎,^{2,3} 土橋靖史,⁴
阿部文彦,⁴ 三田村啓理,^{3,5} 荒井修亮^{2,3}(2018年4月13日受付, 2018年9月12日受理,
2018年12月20日J-STAGE 早期公開)¹京都大学大学院農学研究科応用生物科学専攻,²京都大学フィールド科学教育研究センター,³(国研)科学技術振興機構, CREST,⁴三重県水産研究所, ⁵京都大学大学院情報学研究科Development of a method for attaching ultrasonic
transmitters to Japanese spiny lobsters
Panulirus japonicus by using spaghetti tagsSHOTARO SEKO,^{1*} KOTARO ICHIKAWA,^{2,3}YASUSHI TSUCHIHASHI,⁴ FUMIHIKO ABE,⁴HIROMICHI MITAMURA^{3,5} AND NOBUAKI ARAI^{2,3}¹Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Sakyo,
606-8502 Kyoto, ²Field Science Education and Research

Center, Kyoto University, Sakyo, 606-8502 Kyoto,

³CREST, Japan Science and Technology Agency, Kawa-
guchi, Saitama 332-0012, ⁴Mie Prefecture FisheriesResearch Institute, Shima, Mie 517-0404, ⁵Graduate
School of Informatics, Kyoto University, Sakyo, 606-8501
Kyoto, Japan

キーワード: イセエビ, タグ, 脱落, テレメトリー, 標識

イセエビ *Panulirus japonicus* は日本の温帯域の浅海に広く生息し, 単価が高く, 一般に漁獲が容易であることから沿岸漁業の重要な対象種となっている。資源管理や種苗生産のためには生態に関する知見が不可欠である。飼育下のイセエビの行動研究では, 明るさの変化が行動へ与える影響,¹⁾ 季節による摂餌量の変化²⁾や, 水温が摂餌行動に与える影響³⁾などが研究されてきた。野外での研究では, 千葉県, と歌山県ならびに徳島県による標識放流によってイセエビの移動や成長が研究され, Morikawa *et al.* による赤外線感知システムによって巣穴からの出入り行動が研究されている。⁴⁻⁷⁾ 一方, 海域に放流されたイセエビの行動を連続的に観察した知見はほとんどない。近縁種の *Panulirus* 属では超音波バイオテレメトリーを用いた放流実験⁸⁻¹⁰⁾が行われており, *P. argus* では1日に約900 m 移動することや同種の雌が7月に時速250–500 m で受信範囲から移出し, 1–3週間後に同じ岩礁に戻ってくるなどが報告されている。⁸⁾ また, *Homarus* 属でも同手法を用いての放流実験¹¹⁻¹⁵⁾が行われており, *H. americanus* では21日間の追跡に成功し, 90% 行動圏が27.4–111.6 m² であることや同種が夜行性であることが報告されている。¹¹⁾

超音波バイオテレメトリーは対象生物に超音波発信機を装着し, 発信機から発せられる信号を超音波受信機を

用いて受信することで, 長期間連続的に対象生物の位置を計測する手法である。イセエビの近縁種であるロブスターに関する先行研究^{8,11)}では, 発信機は頭胸甲へエポキシ接着剤を用いて接着されている。しかし, 頭胸甲へ接着された発信機は脱皮時に脱落し, 長期の調査や脱皮頻度の高い稚エビへの適用には不向きである。イセエビの長期追跡及び小型個体の追跡の実現は, 未解明な部分が多いイセエビの生態の一端を示す重要な知見となるとともに, 将来の増養殖のための貴重な知見となり得る。

脱皮に耐え得る標識として, 頭胸甲と腹節との背面間隙筋肉部にスパゲティタグを打ち込む手法がある。この手法による岡本と菊池¹⁶⁾の標識実験では, イセエビの大型個体と小型個体それぞれにスパゲティタグ1本ずつを装着し, 200日後の標識残存率を無標識個体の生存率により補正した値である有効標識率を調べたところ, それぞれ45.4%, 71.8%であった。

本研究では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(体重163.2±38.8 g, 平均±標準偏差)10個体と小型個体(体重77.2±9.4 g)30個体を用いた。超音波発信機V5-1H (Vemco社, 長さ12.7 mm×高さ4.3 mm×幅5.6 mm, 空中重量約0.7 g, 水中重量約0.4 g, 以下V5)とV9-1H (同社, 長さ24 mm×直径9 mm, 空中重量約3.6 g, 水中重量約2.2 g, 以下V9)と大きさと重量が等しいダミーをエポキシ接着剤(コニシ社, クイック5)を用いて作成した。作成したダミーと標識番号札(長さ約10 mm, 幅約5 mm)をスパゲティタグ(先端部約10 mm, 頸部約20 mm)の先端に熱収縮チューブで固定し, ダミーとチューブの隙間を瞬間接着剤(コニシ社, アロンアルファ一般用)で固定したものをダミータグとした。ダミータグおよびスパゲティタグはタグガンを用いてイセエビの頭胸甲と腹節との背面間隙筋肉部に打ち込んだ。タグをつけない対照区には個体識別のため番号札を頭胸部に紐で括り付けた(電子付録 photo 1 参照, 以下標識番号札)。V5ダミータグ付小型個体10個体(頭胸甲長44.6±1.6 mm), 通常のスパゲティタグ付小型個体10個体(頭胸甲長43.3±2.1 mm), 個体識別用標識番号札付小型個体(タグ無し)10個体(頭胸甲長43.5±2.0 mm), V9ダミータグ付大型個体10個体(頭胸甲長57.2±4.6 mm)の4群を別々の水槽(1.8 m³, 1.43 m×2.37 m×0.71 m, FRP製)で飼育した(Table 1)。水槽内には塩ビ板で作成したシェルターを設置し, 海水は自然水温の砂ろ過海水を使用した。標識脱落の有無は, 毎朝飽食量を給餌(サバの切り身, オキアミ, ムラサキイガイ)する時に確認した。イセエビに光ストレスを与えないために, シェルター内にいる個体は確認しなかった。脱落日が不明で脱皮日が記録されているものは脱皮日を脱落日として計算した。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。

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。また全ての個体が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

Table 1 Summary of tagged lobsters by size, weight, length, retention period and molting days

	ID	Carapace length (mm)	Weight (g)	Retention period* (days)	Molting days
Small individuals with V5	1	44.0	77	55 (finished)	3
	2	45.3	82	55 (finished)	37
	3	41.0	71	32 (dead)	4
	4	43.5	84	55 (finished)	15
	5	45.1	83	55 (finished)	37
	6	43.7	74	31 (fell off)	31
	7	45.8	94	6 (fell off)	6
	8	45.4	88	15 (fell off)	15
	9	47.0	92	55 (finished)	30
	10	45.2	81	35 (fell off)	35
Small individuals with a spaghetti tag	21	46.2	85	1 (fell off)	1
	22	42.4	75	1 (fell off)	12
	23	40.6	62	1 (fell off)	45
	24	44.4	77	8 (fell off)	45
	25	43.4	74	2 (fell off)	2
	26	42.5	70	55 (finished)	6
	27	46.9	88	55 (finished)	6
	28	42.7	66	7 (fell off)	10
	29	43.6	74	7 (dead)	didn't molt
	30	40.2	56	8 (fell off)	8
Small individuals with no tag	31	42.1	70	14 (dead)	14
	32	45.4	83	24 (dead)	24
	33	44.3	86	55 (finished)	36
	34	42.1	70	24 (dead)	24
	35	44.6	82	55 (finished)	39
	36	46.5	90	30 (dead)	30
	37	40.2	64	24 (dead)	24
	38	41.5	67	16 (dead)	16
	39	44.3	79	55 (finished)	didn't molt
	40	44.2	73	14 (dead)	14
Large individuals with V9	11	49.1	98	2 (fell off)	didn't molt
	12	61.4	190	6 (fell off)	6
	13	57.4	155	6 (fell off)	didn't molt
	14	62.2	199	20 (fell off)	didn't molt
	15	56.9	161	14 (fell off)	14
	16	57.1	154	14 (fell off)	14
	17	60.7	187	49 (fell off)	49
	18	57.7	210	12 (fell off)	didn't molt
	19	49.4	99	no data	didn't molt
	20	59.6	179	no data	didn't molt

* finished: the tag remained attached until the end of the experiment; dead: the individual died during the experiment; fallen: tags fell off

保持し、8 個体でタグが脱落し、1 個体が死亡した。また 9 個体が実験期間中に脱皮を行った。個体識別用標識番号札付小型個体は 10 個体のうち 7 個体が死亡し、9 個体の実験期間中に脱皮を行った。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、死亡はなかった。また 4 個体が実験期間中に脱皮を行った。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ッ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 (Fig. 1)。超音波発信機のダミータグを装着したスパゲッティタグの保持率を調べたのは本研究が初めてである。イセエビに装着したスパゲッティタグの保持率を調べた先行研究では、頭胸甲長 37.0–48.3 mm のイセエビのタグ保持率は 50 日で 50%,¹⁶⁾ 頭胸甲長 42.6–43.4 mm のイセエビのタグ保持率は 18 か月で 70.6%,¹⁷⁾ 頭胸甲長 42–44 mm のイセエビのタグ保持率は 1 年で 63%,¹⁸⁾ 頭胸甲 42.9 ± 2.78 mm のイセエビのタグ保持率は 35 日で 65.8%¹⁹⁾ であり、本研究の V5 ダミータグ付小型個体のタグ保持率と大きく異ならなかった。

Fig. 1 Retention rate of different types of tags attached to the Japanese spiny lobster *Panulirus japonicus*. V5, Small individuals with V5; No tag, Small individuals with no tag; spaghetti, Small individuals with a spaghetti tag; V9, Large individuals with V9.

一方、本研究のスパゲッティタグ区のタグ保持率は 20% であり、先行研究と比べて低かった。スパゲッティタグ区 10 個体のうち、実験開始から 2 日間以内に 4 個体でタグの脱落が確認されたことから、タグガンの打ち込みが浅かったと考えられる (Table 1)。

イセエビに装着したスパゲティタグは他個体にかじられて摩耗、破損することが知られている。²⁰⁾ 本研究でもかじられた痕のある脱落したタグが確認されており、他個体にかじられることでタグ保持率に影響が出た可能性がある。タグの脱落原因を明らかにするために、ビデオ撮影などの連続的な観察が必要である。

大型個体に装着した V9 ダミータグは全て脱落した。V9 ダミーの水中重量は V5 ダミーよりも 1.7 g 重く、大きさも V5 より大きく水の抵抗を受けやすい。タグの装着部位を見ると負荷がかかっているようにみえたため、負荷に耐え切れずに脱落したと考えられる。本研究結果からは正確には比較できないが、大型個体でさえ V9 ダミーの保持率は 0% であることから、小型個体でも V9 ダミーの保持率は高くはないと考えられる。

個体識別用の標識番号札を装着した個体は、死亡した 7 個体全てにおいて死亡日と脱皮日が一致し (Table 1), 脱皮途中で斃死した様子だったことから、標識番号札が脱皮を妨げたと考えられる。松田²¹⁾は頭胸甲長 65.3–99.1 mm のイセエビで本研究と同様の標識番号札を装着して個体識別を行っている。しかし、本実験で使った個体は松田が使用した個体より小さいため、標識番号札が脱皮時に妨げになったと考えられる。大島²²⁾は生簀での飼育実験で、本研究と同サイズ (頭胸甲長 40–50 mm) のイセエビが約 4 か月で平均 2 回以上脱皮すると報告しており、実験期間 55 日間の本研究で 10 個体のうち 9 個体が脱皮した結果と矛盾しない。イセエビや近縁種の先行研究では、タグ装着が脱皮回数や成長に影響を及ぼすことが報告されている。^{16,23)} 対照区として何も装着していない個体をダミータグ付き個体と同時に飼育し、ダミー付きタグによるイセエビの脱皮回数や成長率への影響をより慎重に検討する必要がある。

近年、バイオテレメトリーによって *Panulirus* 属や *Homarus* 属のロブスターの生態が明らかにされてきた。^{8–15)} しかし、それらの多くは発信機を頭胸甲に接着材で装着しており、稚エビであれば脱皮すると発信機は脱落する。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。一方で本研究の手法によって装着された V5 発信機は、イセエビ小型個体が脱皮を行っても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。

謝 辞

本研究の一部は、平成 25–30 年度の CREST, JST 海洋生物多様性および生態系の保全「データ高回収率を実現するバイオリギング・システムの構築 ～魚類の個体群・群集ダイナミクス解明に挑む～」により遂行された。また、この論文の執筆にあたり貴重なご意見をください、本研究のフィールド調査にご協力いただいた竹内泰介氏をはじめとする三重県水産研究所の職員の方々に厚く御礼申し上げる。

文 献

- 1) Koike T, Morikawa Y, Maegawa M, Morinaga T. Effects of underwater brightness on Japanese spiny lobster behaviour during nighttime scotophase. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1993; **59**: 1689–1694 (in Japanese with English abstract).
- 2) Koike T, Yamazaki H, Uchida M. Annual changes in Japanese spiny lobster feeding activity and related causes. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2003; **69**: 568–574 (in Japanese with English abstract).
- 3) Morikawa Y, Arakawa H, Koike T. Effects of water tem-

perature on diurnal feeding activity of Japanese spiny lobster *Panulirus japonicus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2000; **66**: 791–798 (in Japanese with English abstract).

- 4) 石田 修, 田中種雄. 大原地先海域におけるイセエビの移動・成長及び放流効果. 千葉県水産試験場報告 1985; **43**: 41–50.
- 5) 金丸浩吉, 金丸誠司. 熊野周辺海域におけるイセエビの資源生態の研究. 和歌山県水産試験場事業報告 1980; 107–185.
- 6) 高木俊祐, 天真正勝, 山添喜教. イセエビ標識放流調査. 平成 8 年度徳島県水産試験場事業報告書 1998; 43–46.
- 7) Morikawa Y, Norman CP, Nuka T, Nagata Y. Development of a monitoring system to record the activity patterns in juvenile Japanese spiny lobsters, *Panulirus japonicus*. *J. Jpn. Soc. Mar. Surv. Tech.* 2003; **15**: 17–23.
- 8) Bertelsen RD, Hornbeck J. Using acoustic tagging to determine adult spiny lobster (*Panulirus argus*) movement patterns in the Western Sambo Ecological Reserve (Florida, United States). *N. Z. J. Mar. Freshwater Res.* 2009; **43**: 35–46.
- 9) Bertelsen R. Characterizing daily movements, nomadic movements, and reproductive migrations of *Panulirus argus* around the Western Sambo Ecological Reserve (Florida, USA) using acoustic telemetry. *Fish. Res.* 2013; **144**: 91–102.
- 10) Giacalone VM, Barausse AB, Gristina M, Pipitone C, Visconti V, Badalamenti F, D'Anna G. Diel activity and short-distance movement pattern of the European spiny lobster, *Palinurus elephas*, acoustically tracked. *Mar Ecol.* 2015; **36**: 389–399.
- 11) Morse B, Rochette R. Movement and activity levels of juvenile American lobsters *Homarus americanus* in nature quantified using ultrasonic telemetry. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2016; **551**: 155–170.
- 12) Wiig JR, Moland E, Haugen TO, Olsen EM. Spatially structured interactions between lobsters and lobster fishers in a coastal habitat: fine-scale behaviour and survival estimated from acoustic telemetry. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2013; **70**: 1468–1476.
- 13) Skerritt DJ, Robertson PA, Mill AC, Polunin NVC, Fitzsimmons C. Fine-scale movement, activity patterns and home-ranges of European lobster *Homarus gammarus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2015; **536**: 203–219.
- 14) Watson WH III, Vetrovs A, Howell WH. Lobster movements in an estuary. *Mar. Biol.* 1999; **134**: 65–75.
- 15) Smith IP, Collins KJ, Jensen AC. Movement and activity patterns of the European lobster, *Homarus gammarus*, revealed by electromagnetic telemetry. *Mar. Biol.* 1998; **132**: 611–623.
- 16) 岡本一利, 菊池信介. イセエビの生存・脱皮に及ぼすアンカータグ標識装着の影響と標識残存率. 静岡県水産試験場研究報告 1998; **33**: 11–14.
- 17) 島 康洋. 新しい栽培種として期待される甲殻類. 日本栽培漁業協会事業年報・平成 5 年度 1995; 328–334.
- 18) 成生正彦, 長谷川雅俊, 山田博一. 南伊豆海域におけるイセエビ標識放流再捕結果の検討—I 標識の有効性の検討. 栽培漁業技術開発研究 2007; **35**: 29–41.
- 19) 高木俊祐, 船越 進, 山添喜教. イセエビ資源生態調査. 平成 5 年度徳島県水産試験場事業報告書 1995; 55–80.
- 20) 高知県. 稚エビの標識試験. 平成 10 年度放流技術開発事業報告書, 水産庁振興部開発研究課, 東京. 1999; 7–9.
- 21) 松田浩一. 「ベルソープックス 035. イセエビをつくる」成山堂書店, 東京. 2010.
- 22) 大島泰雄, 井上正昭, 小津寿郎, 高橋玄宣. イセエビの蓄養について. 水産増殖 1960; **7**: 11–24.
- 23) Dubula O, Groeneveld JC, Santos J, van Zyl DL, Brouwer SL, van den Heever N, McCue SA. Effects of tag-related injuries and timing of tagging on growth of rock lobster, *Jasus lalandii*. *Fish. Res.* 2005; **74**: 1–10.