

— 原著論文 —

日本海における深海性ヨコエビ（フトヒゲソコエビ類；  
*Pseudorchomene* sp.）の捕獲と長期飼育の試み\*

石田 洋<sup>1†</sup>・向井 稜<sup>2</sup>・池内 絵里<sup>3</sup>・喜瀬 浩輝<sup>3</sup>・  
西島 美由紀<sup>3</sup>・井口 亮<sup>3</sup>・鈴木 淳<sup>3</sup>・鈴木 昌弘<sup>4</sup>

要 旨

日本海の表層型メタンハイドレート開発における環境影響評価に係る技術開発の一環として、これまでほとんど例のない深海底生性ヨコエビの生存状態での捕獲と長期飼育を試みた。回収時に閉鎖状態で現場の海水を保持できるベイトトラップを製作し、水深約 1,000 m の海底からヨコエビ (*Pseudorchomene* sp.) の捕獲に成功した。捕獲個体は、船上で大気に曝さず直ちに水温 1-2 °C の海水に収容したところ活発に遊泳し、陸上の実験室に冷蔵状態で輸送後も生存し続けた。飼育は複数容器で行い、10-20 日間隔で給餌した。脱皮間隔は 86±6 日であり、死亡個体あるいは個体数減少は脱皮後に見られ、容器内に 1 個体となってからは最長 548 日間生存した。無給餌では最長 141 日間生存した。個体数の減耗の要因は、脱皮不全あるいは脱皮した際の共食いのみと考えられた。本種は健全性を保った状態で飼育可能であり、毒性試験等の環境影響実験に利用できることが示唆された。

キーワード：メタンハイドレート，ヨコエビ，ベイトトラップ，深海，日本海

1. はじめに

日本海の深海底には「表層型メタンハイドレート」とよばれるタイプのメタンハイドレートが賦存しており、資源量の評価および開発技術が検討されている（天満，2022；Oyama and Masutani, 2017）。また、表層型メタンハイドレート開発にかかわる環境影響評価も検討され、実海域における海洋環境調査が行われている（鈴木，2022）。その調査では、メタンハイドレートの賦存状況や生態系・物質循環過程に係る研究がなされている（Ota *et al.*, 2024；Miyajima *et al.*, 2023；Asada *et al.*, 2022；Ota *et al.*, 2022；Ishida *et al.*, 2023）。また、ヨコエビを対象とした生物の遺伝子解析による生物多様

\* 2024 年 7 月 25 日受領 2025 年 1 月 6 日受理  
著作権：日本海洋学会，2025 年

1 公益財団法人海洋生物環境研究所 中央研究所  
〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田 300

2 株式会社日本海洋生物研究所  
〒142-0042 東京都品川区豊町 4-3-16

3 国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター  
地質情報研究部門  
〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 7

4 国立研究開発法人産業技術総合研究所 環境創生研究部門 環境  
生理生態研究グループ  
〒305-8569 茨城県つくば市小野川 16-1 産総研西事業所

† 連絡著者：石田 洋

e-mail：h-ishida@kaiseiken.or.jp

性、連結性などの評価が検討され、水深 600–1,000 m の複数の海域で、深海底に数日間設置したベイトトラップにより、複数の個体の捕獲に成功している (井口, 2021)。

ヨコエビは軟甲綱フクロエビ上目端脚目に含まれる小型甲殻類であり、種類が多く、形態、生態が多様で、淡水から海水、極域から熱帯、潮間帯から深海まで生息している (Lowry and Myers, 2017; 有山, 2016; 大塚・駒井, 2008; Ishimaru, 1994)。摂餌様式は植食性、捕食性、腐肉食性、懸濁物食性などであり、いわゆる「掃除屋」であるとともに、藻場など海草・藻類の消長に影響を与え、魚類等の餌となることにより高次の動物へ食物網を繋いでいる (Reynolds *et al.*, 2012; Stoner, 1979; 澤村, 1999; 櫻井, 2004)。

深海性のヨコエビに関しては、これまでにも、採取された試料から、種の同定、生活史の推定、有用成分の分析などが行われている (Frutos and Jażdżewska, 2019; Kobayashi *et al.*, 2012; Kaim-Malka, 2003)。総じて、ヨコエビは深海においては優占的であり、有機物の細分化、転換、高次捕食者への受け渡しなど、海洋物質循環において重要な役割を有すると考えられる。また、日本海の深海においては、ヨコエビがベニズワイガニ等の有用甲殻類の餌料となっている可能性があるとともに、食性の観点から摂食競合関係にもなると考えられる (養松, 2009)。よって、ヨコエビは、海洋物質循環および水産資源との関わりにおいて重要な役割を担うと考えられ、表層型メタンハイドレート賦存域に生息するヨコエビを対象とした影響評価実験は環境影響評価の重要項目の一つとなる。

海産性ヨコエビについては、*Corophium* sp. が、毒性試験の試験生物としても利用され、継代飼育技術、毒性影響試験技術検討が進められている (OSPAR Commission, 2006)。しかしながら、このヨコエビは浅海種であり、これによる実験結果が深海種の応答に当てはまるかどうかは不明である。環境影響評価実験に用いる生物は、現地性が望まれ、均質性が求められる。また、確からしさを向上させるためには繰り返し実験を行えるだけの量を確保する必要がある。さらに、その生活史の情報も望まれる。

本研究では、表層型メタンハイドレートが賦存してい

る日本海深海において、ベイトトラップによりヨコエビが捕獲可能であることが実証されていることに着目し、現地性の高い生物による環境影響評価実験の可能性を検討する目的で、ヨコエビの生存個体の採取および長期的な飼育を試みた。

## 2. 材料と方法

### 2.1. 捕獲実験

#### (1) ベイトトラップ

ヨコエビの捕獲は、新潟県上越沖日本海の水深約 1,000 m におけるメタンハイドレート調査航海 (SS21-2; 2021 年 6 月 22 日出港, 7 月 13 日帰港) においてベイトトラップにより行った。

ベイトトラップは水密構造とし、船上に回収した際に、捕獲深度の海水とその水温を可能な限り保てるように入口に蓋ができる 2 種類を製作して用いた (Fig. 1)。一つは塩ビパイプを加工して、入り口が上を向いているタイプ (タテ型 (Vertical))、もう一つは、ニスキン採水器 (General Oceanics, 5 L) を利用し、入り口が水平方向に開いたタイプ (ヨコ型 (Horizontal)) であり、イメージ図は Ishida *et al.* (2023) に記載している。

ベイトトラップは、調査船「新世丸」に搭載されている遠隔操作の無人潜水機「はくよう 3000」(以降, ROV) により、メタンハイドレート胚胎域に形成されているバイオマットの近傍およびその対照となる海域の水深約 1,000 m において、タテ型およびヨコ型を、それぞれ 2 回および 1 回、数日間設置した (Table 1)。餌料には、現地で採取したマアジ、イカ類の切り身および内臓などを用いた。いずれのタイプのベイトトラップも ROV のマニピレーター操作によって、回収時に現場で蓋を閉じる仕組みとした。

#### (2) 捕獲試料の処理と観察

船上に回収したベイトトラップは、直ちに水温を計測した後、捕獲物を海水とともにクーラーボックスに流し入れ、そこからヨコエビを冷却した海水 (以降, 冷海水) 入りのチャック付きビニール袋 (株式会社生産日本, ユニパック I-8, 以降, ユニパック I) に 10 ml 容駒込ビペットの先端をカットした器具を使って、移し替えた。冷海

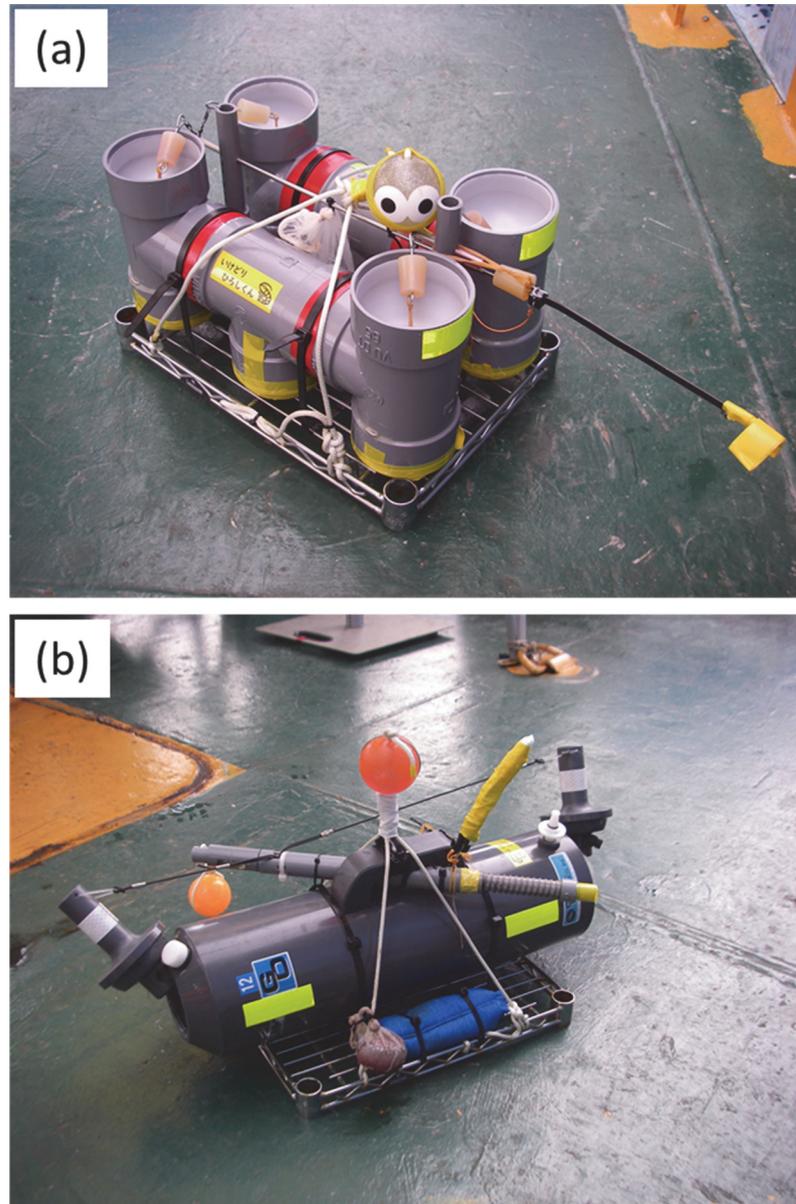


Fig. 1. Bait traps for capturing live deep-sea amphipods: (a) vertical and (b) horizontal.

水には、あらかじめ ROV で採水された調査海域の海底直上の海水を 1-2℃ に冷却して用いた。ヨコエビを収容したユニパック I は、直ちに水温を 1-2℃ に設定した冷海水循環水槽に収容し、観察を行った。なお、冷海水循環水槽には、水槽に 80 L クーラーボックス (株式会社ベルモント, PLUKY), 海水冷却に活魚用冷却装置 (有限会社ニューマリズ, ウォータークーラー Js-75Z),

水循環用に水中ポンプ (有限会社ニューマリズ, マグネット水中ポンプ MWP-120-100) を用いた。

### (3) 個体の輸送と収容

観察の継続ならびに飼育方法を検討するため、海洋調査終了後に一部の試料を陸上の実験施設に輸送した。試料は、帰港する直前に、2021 年 7 月 9-13 日にかけて捕獲された個体から、目視により外観上同じ種類とみな

Table 1 Bait trap experiment and conditions of the captured samples.

| Date      |           | Dive name of ROV |          | Type of bait trap | Water temperature in the bait trap (°C) | Number of captured | Status of the samples   |
|-----------|-----------|------------------|----------|-------------------|---|--------------------|---|
| Deploy    | Recovery  | Deploy           | Recovery |                   |   |                    |   |
| 2021/6/23 | 2021/6/24 | JK02             | JK03     | Vertical          | 4.3                                     | 14                 | All survived.<br>The same species was dominant in appearance.   |
| 2021/7/4  | 2021/7/8  | JK13             | JK19     | Vertical          | 6.2                                     | 69                 | All survived.<br>The same species was dominant in appearance.<br>Most were active.  |
| 2021/7/9  | 2021/7/13 | UT08             | UT15     | Horizontal        | 6.6                                     | 200-300            | One individual was approximately 20 mm in length, and the majority were approximately 10 mm in length.<br>All survived.<br>The same species was dominant in appearance.<br>Most were active.<br>Four individuals were approximately 20 mm in length, and the majority were approximately 10 mm in length. |

される体長約 10 mm の個体を 10 ml 容駒込ピペットの先端をカットした器具で海水とともに吸いあげ、あらかじめ準備されたユニパック I の冷海水中に放ち、約 20 個体を収容した。それを 4 袋作成し、発泡スチロールの箱に入れ、船内冷蔵庫に静置した。これら操作は、水温が上昇しないように、保冷剤などを使って冷却しつつ行った。

2021 年 7 月 13 日に直江津港（新潟県上越市）に帰港した際、ヤマト運輸株式会社のクール宅急便で千葉県御宿町の公益財団法人海洋生物環境研究所中央研究所本所（以降、陸上施設）へ発送した。翌日（2021 年 7 月 14 日）受け取り、大型の冷蔵庫（ホンザキ社 HR180Z3；庫内設定温度 4 °C）に保管し、2021 年 7 月 17 日からヨコエビの入ったユニパック I を水温を 1-2 °C に設定した低水温循環水槽に収容した。

## 2.2. 飼育実験

### (1) 飼育と観察

捕獲後 5 日目（2021 年 7 月 18 日）に、個体を収容していたユニパック I の海水を、陸上施設地先の水深 10 m の海底付近からポンプアップされ、重力落下式で

砂ろ過され、施設の冷却器で水温を約 8 °C まで冷却し、さらに冷蔵庫で水温を 1-2 °C に調整した海水に入れ換えた。その後 15 日間観察した後（2021 年 8 月 4 日）、ヨコエビを飼育容器 7 個に数個体ずつ小分けして収容した。また、無給餌状態での生存期間を把握するため、捕獲後給餌していない個体をユニパック I に収容し、冷蔵庫に静置して観察を行った（無給餌区）。各飼育容器と無給餌区への収容個体数等を Table 2 に示す。

Fig. 2 に飼育の様子を示す。飼育容器には、1 L の透明ポリビン（瑞穂化成工業株式会社、塩ビ広口容器 I 型 1 L）および 250 ml の耐圧ガラスビン（柴田科学株式会社、ねじロビン 250 ml）を用い、棲息床として観賞魚用フィルター（寿工芸株式会社、立体マット 60）、珪砂（4 号（粒径 0.6-1.2 mm）、7 号（粒径 0.08-0.3 mm））を容器内に設置した。飼育容器は、設定温度を 1 °C とした温度調整機能付きの小型冷凍・冷蔵庫（澤藤電機株式会社、エンゲル MHD14F、以降、冷蔵庫）2 台に分けて静置した。

飼育実験は、個体を捕獲した 2021 年 7 月 13 日から 22 日間経過した 2021 年 8 月 4 日に開始し、全個体が死滅した 2023 年 2 月 2 日までの 549 日間実施した。

Table 2 Description of experimental rearing sections.

| Experimental sections | Reared bottle          | Initial number of individuals | Habitat materials   |
|-----------------------|------------------------|-------------------------------|---|
| Bottle 1              | 1L polyethylene bottle | 7                             | Plastic filtration materials for ornamental fish, Fine mesh   |
| Bottle 2              |                        | 7                             |   |
| Bottle 3              |                        | 11                            |   |
| Bottle 4              |                        | 12                            |   |
| Bottle A              | 250ml glass bottle     | 3                             | Plastic filtration materials for ornamental fish, Coarse mesh |
| Bottle B              |                        | 1                             | Silica sand #4 (grain diameter 0.6–1.2 mm)                    |
| Bottle C              |                        | 3                             | Silica sand #7 (grain diameter 0.08–0.3 mm)                   |
| No feeding            |                        | 4                             | Zippered plastic bag  |

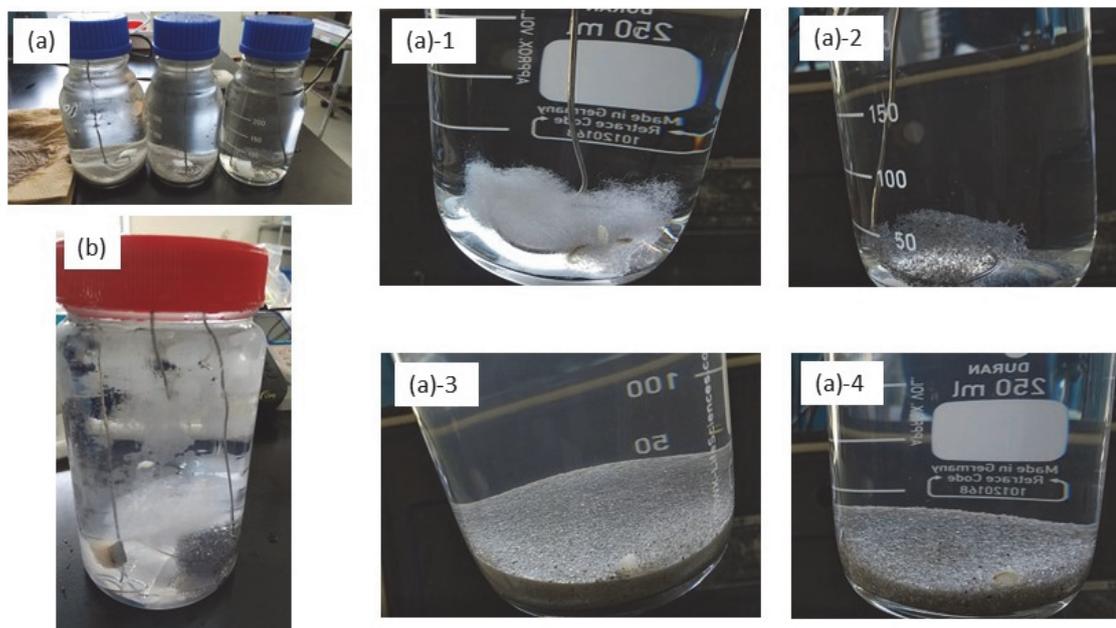


Fig. 2. Photographs of rearing bed materials in rearing bottles:

(a) 250 ml bottle: (a)-1 plastic filtration materials for ornamental fish, fine mesh; (a)-2 plastic filtration materials for ornamental fish, coarse mesh; (a)-3 silica sand #7 (grain diameter 0.08–0.3 mm); (a)-4 silica sand #4 (grain diameter 0.6–1.2 mm); (b) 1 L bottle with plastic filtration materials for ornamental fish, fine and coarse mesh.

ヨコエビの観察は、飼育開始初期段階では毎日、飼育100日目以降は3–10日間隔で行った。脱皮および死亡時は、写真撮影による記録を行った。

## (2) 給餌と換水

餌料は、マアジとした。マアジはSS21-2調査航海で釣獲し、凍結して持ち帰ったものを給餌時に半解凍し、

約 10 mm×10 mm×10 mm に切断して、ステンレス針金で作成した治具に固定して容器底付近に静置して与えた (Fig. 3)。給餌は 10-20 日間隔で行い、餌料に付着する様子、体色の変化などを記録した。

換水は、給餌翌日以降の容器内溶存酸素飽和度が 60% を下回った場合あるいは給餌 4 日後以内に行った。換水時は、餌料を除去し、冷海水を入れた別の容器にヨコエビを一時的に移して飼育容器と棲息床を洗浄した。その後、飼育水を全交換し、ヨコエビを戻して飼育を継続した。無給餌区の飼育水は交換せず、約 10 日ごとに水質をチェックした。

### (3) 水質測定

水温記録器 (Onset, UTBI001) を用いて 10 分間隔

で低水温循環水槽および冷蔵庫内の温度を記録した。飼育水の水質として、溶存酸素飽和度、pH および水温を、光学式溶存酸素センサー (HACH, LDO HQ10), pH センサー (東亜ディーケーケー株式会社, pH METER HM31P, ELP-032) および水温センサー (安立計器株式会社, HD-1100E) を用いて計測した。計測は、給餌前後および換水後に必ず行い、飼育開始初期段階では毎日、飼育 100 日目以降は 3-10 日に 1 回行った。

### 2.3. 種の同定と体長測定

飼育観察を開始して 97 日目に 8 個体を間引きし、種の同定を行うために遺伝子解析を行った。個体の写真を Fig. 4 に示した。今回使用した個体の遺伝子解析による

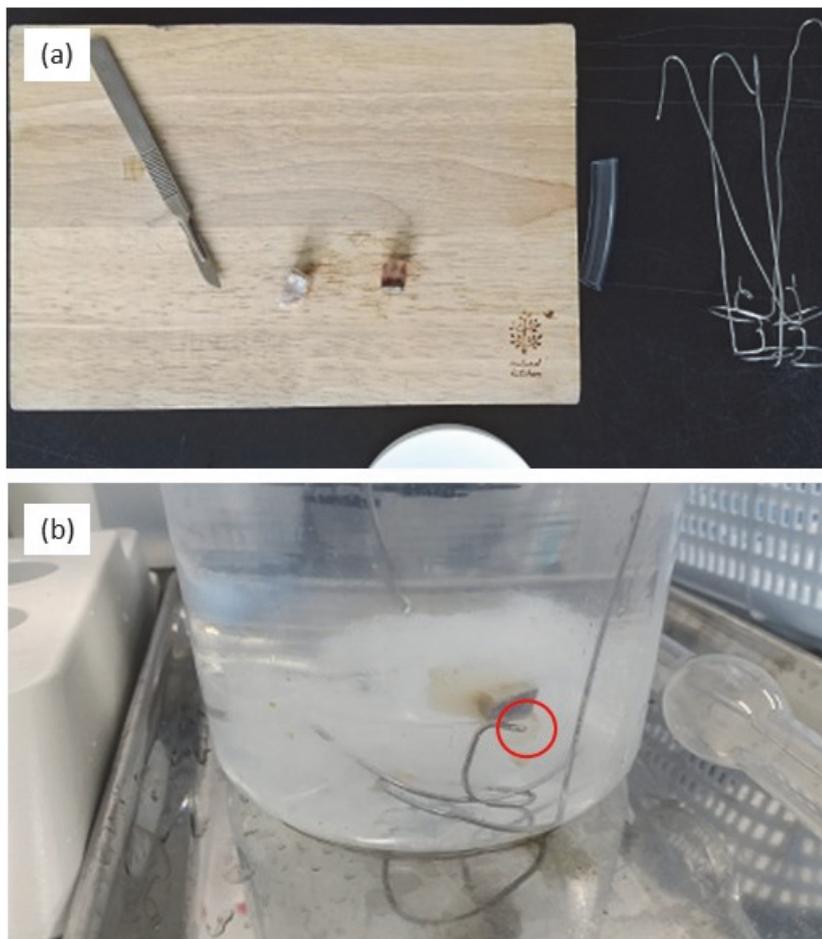


Fig. 3. Photographs of feeding jigs used in the rearing bottle: (a) preparation of bait (horse mackerel) and feeding jigs, and (b) appearance of feeding. Red circles indicate the feeding amphipods.



Fig. 4. Amphipod species identified as *Pseudorchomene* sp. by evaluating mitochondrial cytochrome oxidase subunit I gene sequences.

同定は、ミトコンドリアの cytochrome oxidase subunit I (*COI*) の遺伝子配列を対象に、我々の先行研究 (Ishida *et al.*, 2023) で行われており、Ishida *et al.* (2023) に示された SS21-2-16-SS21-2-23 に該当し、GenBank のアクセッション番号 OP900985-OP900992 で配列情報が登録されている。ヨコエビの全ゲノム DNA の抽出は、体全体から DNeasy Blood and Tissue kit (QIAGEN, Hilden) を用いて行った。ポリメラーゼ連鎖反応 (PCR) 増幅は、TaKaRa Ex Taq™ (タカラバイオ株式会社) を用いて、Geller *et al.* (2013) に記載の方法に従い、jgHCO2198 および jgLCO1490 を用いて部分 *COI* について行い、PCR 産物について株式会社マクロジェン・ジャパンにおいて双方向の塩基配列を決定した。

体長は、ヨコエビが丸くなった状態で、第一触角基部から腹節後端まで背側に沿った長さとし、飼育中に死亡した個体および水面にトラップされた個体について、デジタルカメラで撮影して計測した (Fig. 5(a))。また、脱皮殻は採取し、実体顕微鏡下で定規と共に、多くの脱

皮殻で形状が残っていた体節の 9 節について、可能な限り同じ形となるようにして撮影した (Fig. 5(b))。計測は、撮影した画像を、画像処理ソフト (ImageJ) を用いて行った。脱皮殻と生体の両方が水面にトラップされていた場合は、採取した脱皮殻のサイズを求めてから生体のサイズと対比して、生体の体長を計測した。

### 3. 結果

#### 3.1. 捕獲実験

捕獲結果を Table 1 に示す。ベイトトラップの設置・回収は 3 回実施し、2 回がタテ型、1 回がヨコ型で、1 回あたりの捕獲数は 14 から約 300 個体であった。ベイトトラップを揚収した際、ベイトトラップには海水が満たされ、蓋が閉じて封入された状態であり、水温は 4.3–6.6 °C (現場水温は 0.3–0.5 °C) であった。その際の海表面水温および気温は、それぞれ 18–20 °C および

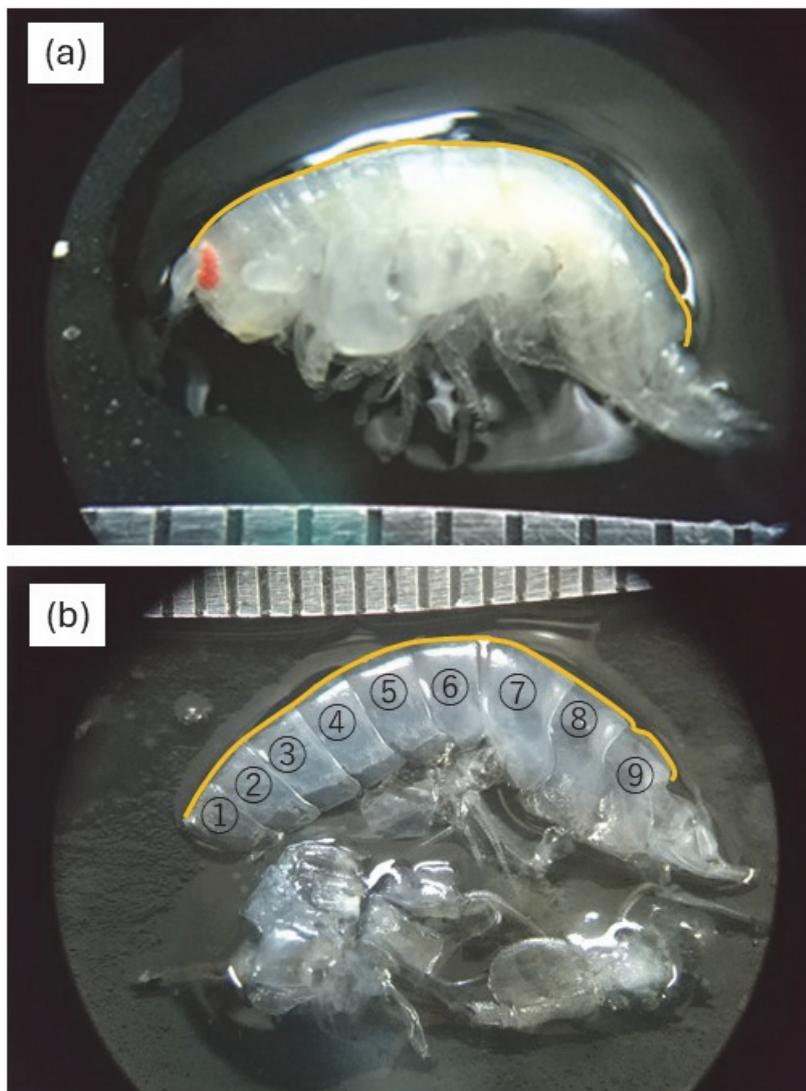


Fig. 5. Body size measurement: (a) dead body and (b) exuvia.

25-28℃であった。捕獲されたヨコエビ個体は、いずれも全個体生存していた。ROV 潜航の JK19 および UT15 で捕獲された個体は、冷海水循環水槽に収容後、船上で全個体が生存し続けた。JK19 捕獲個体は、船上で急性影響実験の検討に用い、影響の負荷が少ない試験区の個体は生存し続けた。UT15 捕獲個体は、観察継続および飼育を検討するため、約 80 個体を陸上施設に輸送した。捕獲後から約 40 日間は、死亡個体は認められなかった。

### 3.2. 飼育実験

#### (1) 水質

船上から輸送、飼育に至るまでの冷海水循環水槽および冷蔵庫の温度変化を Fig. 6 に示す。

輸送時は 4℃を超え、一時的に 7.5℃まで上昇し、陸上施設に受け入れるまで 4℃以上が約 40 時間継続した。陸上施設に受け入れて以降は、冷海水循環水槽では 2℃未満、冷蔵庫では昼間に上昇する case があったが、概ね 3℃未満を維持していた。

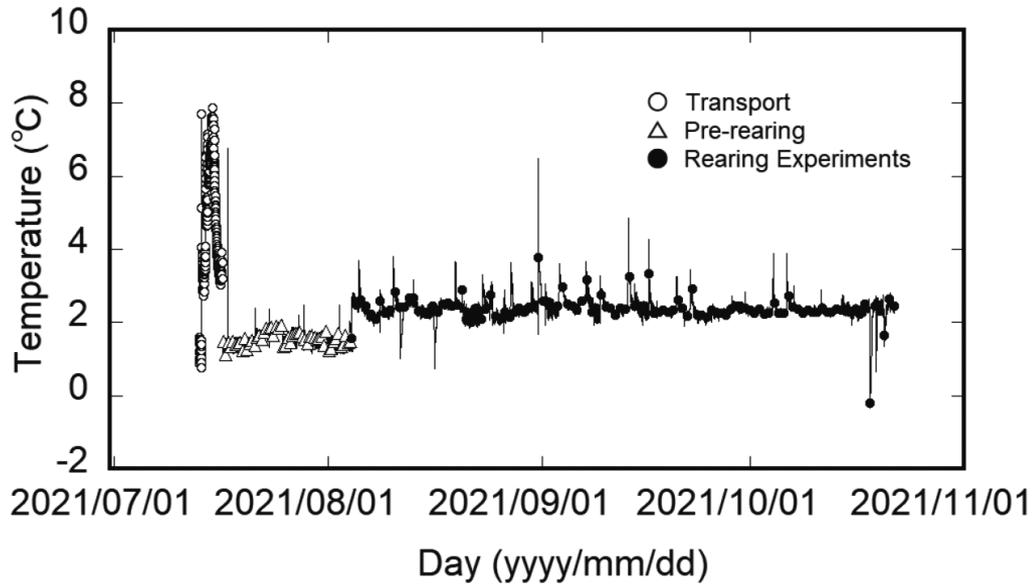


Fig. 6. Temperature of the refrigerated container housing a rearing bottle.

飼育水の水温，溶存酸素飽和度および pH は，最小値－最大値，平均値±標準偏差が，それぞれ 1.3–4.5，2.5 ±0.5 °C，26.5–92.4，72.6±7.2% および 7.2–8.1，7.8±0.05 であった。溶存酸素飽和度および pH は，給餌後の翌日から 3 日後に低下し，それぞれ 50% および 7.5 を下回ったが，換水することでおおむね 80% および 8.0 弱に回復した。

飼育水を，深海の海水から施設地先の表層水へ入れ替えたが，入替直後から約 24 時間経過時において，衰弱や死亡した個体は認められなかった。

(2) 生残率，個体数，脱皮殻数

調査船から陸上施設に輸送した約 80 個体内，他の実験に使用した個体を除いた 44 個体を用いて飼育実験を開始した。Fig. 7 に全個体の生残率，個体数および脱皮殻数の経時変化を示す。なお生残率は，観察を開始した 97 日目に 8 個体（容器 1 と容器 3 から 4 個体ずつ）を他の実験用に間引いたため，飼育開始から 98 日目以降の生残率については，97 日目の生残率（50%）に，間引いた時点からの生残率（間引き時を 100% とする）を乗じることによって求めた。97 日目の間引く前の生残率は 50±28% で，個体数は 20 であった。実験終了時（549 日目）の全脱皮殻の数は合計 79 個となり，初期個体数と脱皮殻数から脱皮率を求めたところ，脱皮率

が 100% を超えたのは 104 日目，実験終了時は 180% であった。無給餌の個体は，捕獲後 60 日目に 1 個体となり，141 日目に全て死亡した。

Fig. 8 に各飼育容器の生残率，個体数および脱皮殻数の変化を示す。上述した通り，容器 1 および 3 は 97 日目に 4 個体ずつ間引いている。各容器において，脱皮の直後に個体数減あるいは死亡が確認された。初期個体数が 1 個体の容器および各容器において個体数が 1 個体となって以降は，最短で 155 日間，最長で 548 日間，生残率は 100% を維持していた。脱皮殻は，無給餌においても 71 日目に確認された。無給餌を除いた脱皮殻が認められた間隔は，個体が識別・追跡可能になって以降，77–94 日であり，平均と標準偏差で 86±6 日となった。最も長く生存した個体の脱皮殻数は 6 個であった。

3.3. ヨコエビの種類と大きさ

捕獲されたヨコエビは，船上において形態的特徴を目視観察したところ，その大部分がフトヒゲソコエビ上科 Lysianassoidea の一種と考えられた。陸上施設に輸送し，飼育実験に用いた個体内，遺伝子解析を行った 8 個体は，その全てが同上科に属する *Pseudorchomene* の一種と同定された (Ishida *et al.*, 2023)。

体長を測定したヨコエビは 17 個体で，体長は，最小

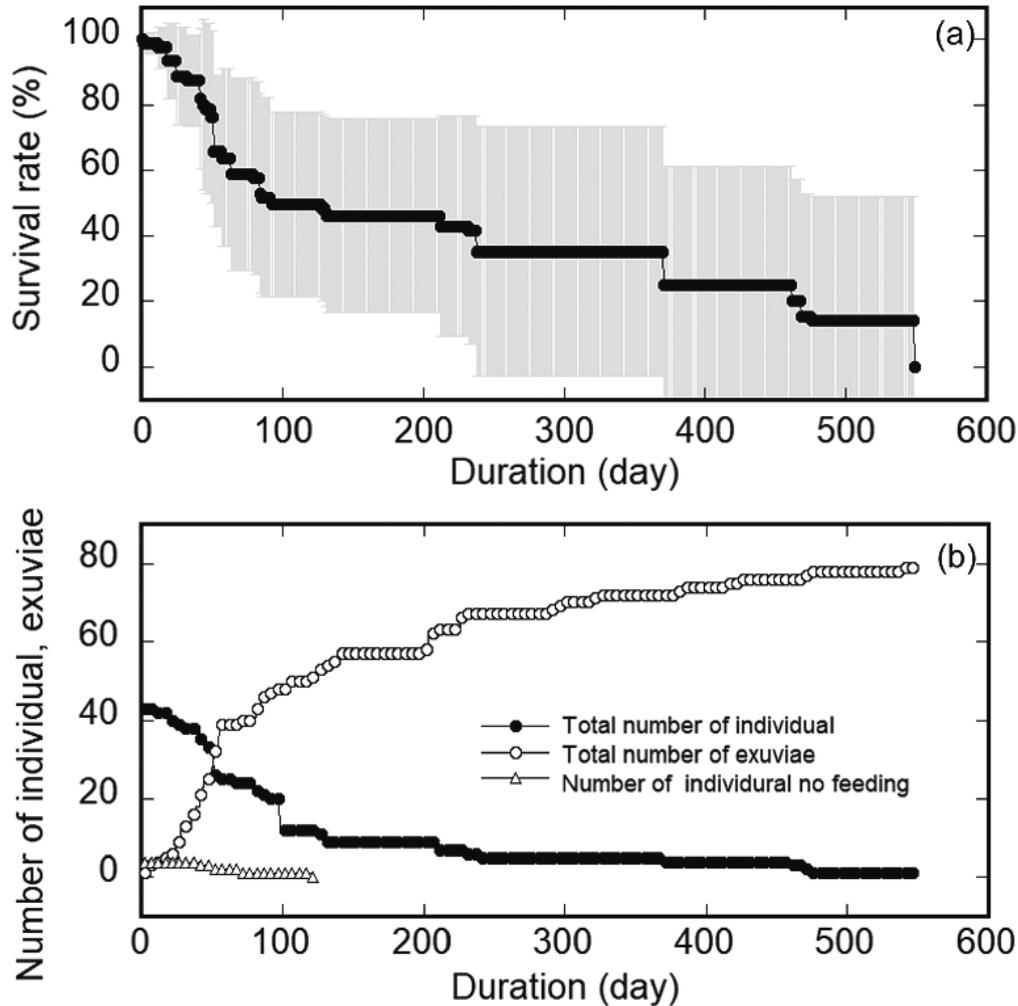


Fig. 7. Survival rate, number of individuals, and number of exuviae during the rearing period. Day 0 is August 4, 2021. (a) Mean survival rate with standard deviations. (b) Number of individuals and exuviae.

10.9 mm, 最大 17.6 mm, 平均 12.9 mm (標準偏差 1.5 mm) であった。飼育個体のサイズは、目視により、開始時は最小から平均サイズであり、最大サイズとなったのは 548 日間生存した個体であった。脱皮間隔と脱皮殻サイズの計測結果を Fig. 9 に、脱皮間隔と脱皮殻サイズの関係から最小二乗法により求めた傾きを Table 3 にそれぞれ示す。脱皮殻は直線的に大きくなっており、脱皮間隔を 86 日とした場合、脱皮毎に平均値として約 0.55 mm ずつ大きくなっていった。脱皮殻と生体の両方が水面にトラップされていた際に計測した、脱皮殻のサイズと生体のサイズの関係を Fig. 10 に示す。両者の間には、相関係数 ( $r$ ) が 0.96 という高い正の相関が認め

られた。Fig. 10 から得られる脱皮殻のサイズと生体のサイズの関係式を用いた場合、生体の成長速度は、脱皮毎に約 0.73 mm ずつ大きくなると見積もられた。

## 4. 考察

### 4.1. 捕獲とその後の扱い

本研究においては、捕獲現場の海水保持が可能な 2 つの型式のベイトトラップを製作し、これらにより捕獲されたヨコエビ個体の全てが生存していた。SS21-2 航海では、海水を保持しない従来型式のベイトトラップに

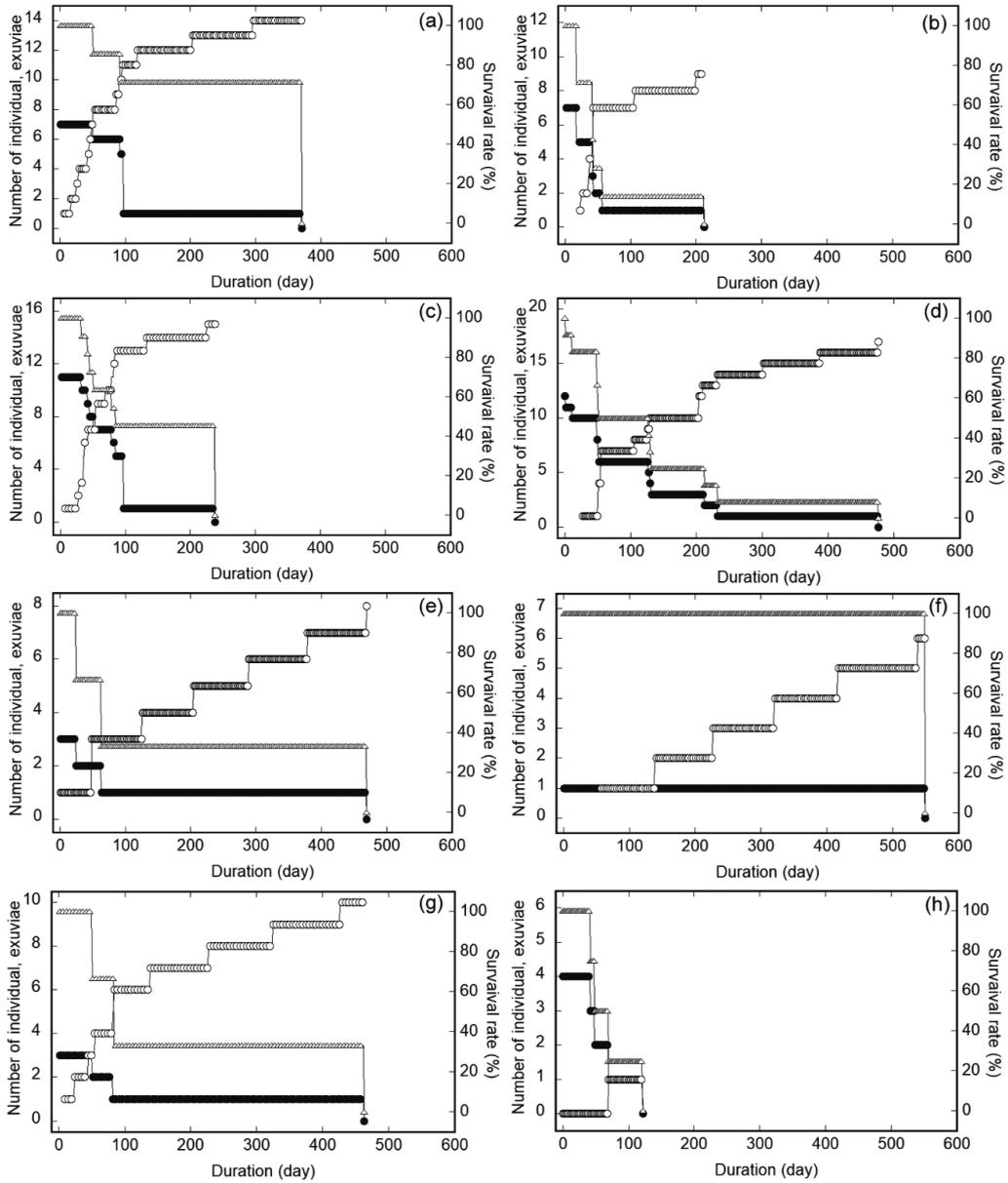


Fig. 8. Number of individuals (●), exuviae (○), and survival rate (△) in each rearing vessel during the rearing period. Results for Bottles 1–4 are shown in: (a), (b), (c), and (d); results for Bottles “A,” “B,” and “C” are shown in: (e), (f), and (g); and results for the bottle without feeding are shown in (h). The different treatments are listed in Table 2.

よるヨコエビ捕獲も行っている。そのベイトトラップは、2021年7月12日に行われたROV潜航調査(UT13, UT14)において設置および回収され、約250個体が捕獲されている。それら個体から65個体を冷海水中に收容して生存状態および回復状況を確認したところ、8個

体の動作は確認できたが、それ以外のほぼ全てが24時間経過後においても動作が確認できなかった。よって、深海からヨコエビを生存状態で採取するためには、本研究で用いたような海水保持型のベイトトラップを用いることが有効と考えられる。輸送については、本研究では

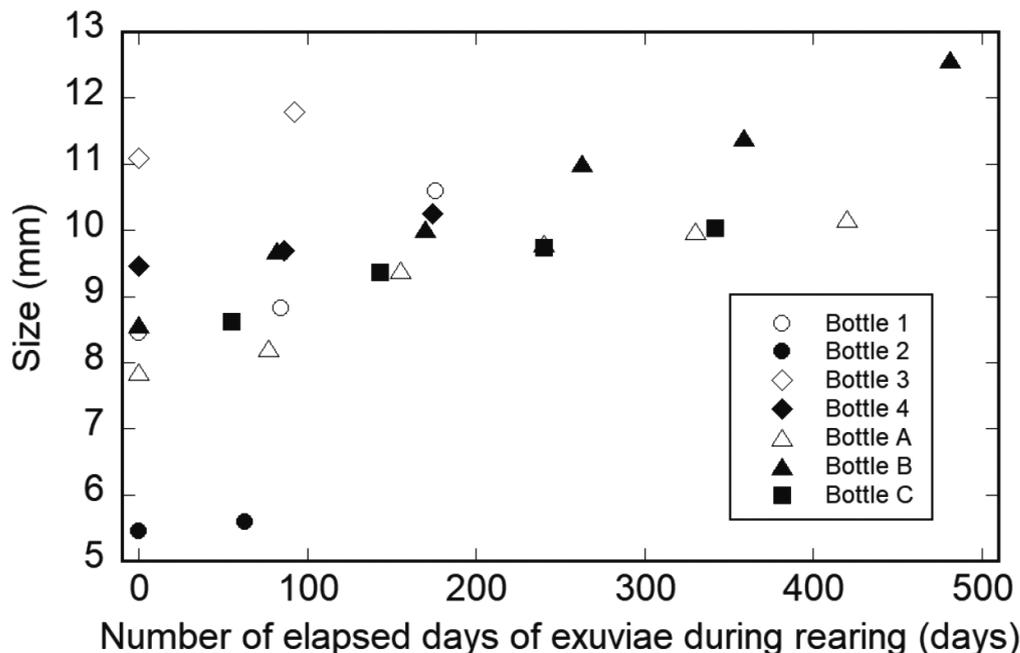


Fig. 9. Time-series variation in exuvial size. Day 0 was defined as the time when the first exuviae were observed after the number of individuals in each rearing bottle reached one. The slopes and correlation coefficients obtained using the least-squares method are listed in Table 3.

Table 3 The slope, intercept, and correlation coefficient ( $r$ ) determined using the least-squares method based on the relationship between the exuviae period (days) and size (mm), as shown in Figure 9. The slope indicates the growth rate of the exuviae per day. The intercept represents the initial size of the exuviae after individual identification.

| Experimental sections                     | number of exuviae | slope               | intercept | correlation coefficient ( $r$ ) |
|---|-------------------|---------------------|-----------|---------------------------------|
| Bottle 1                                  | 3                 | 0.0123              | 8.22      | 0.94                            |
| Bottle 2                                  | 2                 | 0.0021              | 5.46      | 1                               |
| Bottle 3                                  | 2                 | 0.0077              | 11.08     | 1                               |
| Bottle 4                                  | 3                 | 0.0045              | 9.41      | 0.97                            |
| Bottle A                                  | 6                 | 0.0058              | 8.06      | 0.94                            |
| Bottle B                                  | 6                 | 0.0079              | 8.77      | 0.99                            |
| Bottle C                                  | 5                 | 0.0048              | 8.51      | 0.96                            |
| Average $\pm$ Standard deviation of slope |                   | 0.0064 $\pm$ 0.0032 |           |                                 |

ヤマト運輸株式会社の「クール宅急便冷蔵タイプ」を利用し、輸送中において水温が  $4^{\circ}\text{C}$  を超えた時間は 40 時間で、一時的に  $7.5^{\circ}\text{C}$  まで上昇したものの、全個体が生存していた。これらのことから、深海から生きた状態で捕獲されたヨコエビ個体は、捕獲から輸送の間、水温が  $7.5^{\circ}\text{C}$  以上にならないよう留意し、受け入れ後に速やか

に水温を  $1-2^{\circ}\text{C}$  に下げることで、斃死を防ぐことができると考えられた。

#### 4.2. 長期飼育の可能性

本研究における飼育実験では、飼育水は、調査船から飼育を開始するまではヨコエビ棲息場所（日本海）の海

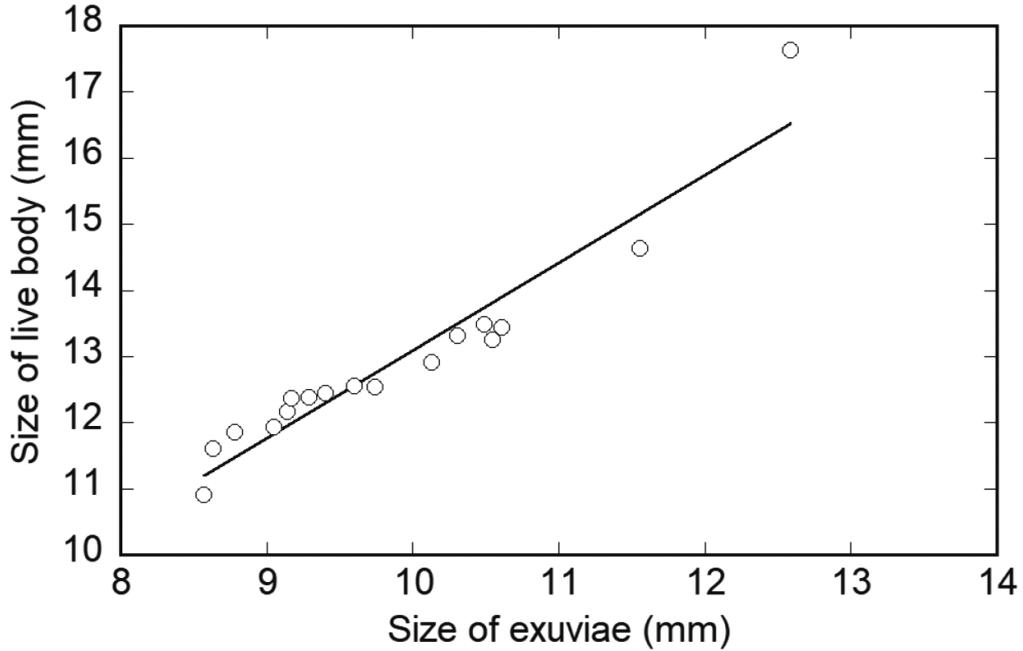


Fig. 10. Correlation between the size of live bodies and exuviae. The equation for estimating live body size from exuvial size, obtained from the regression line using the least-squares method, is as follows: Live body size (mm) =  $-0.158 + 1.32 \times$  exuvial size (mm) (correlation coefficient,  $r = 0.96$ ).

水であったが、その後陸上施設地先（外房）からポンプアップした後、水温を 1-2℃に調整した海水に入れ換えた。そのような状況下において、ヨコエビは餌料を摂食し、脱皮を繰り返している。脱皮は、個体が成長していることを示し、脱皮が繰り返されれば、飼育環境として成長を妨げるほどの不適な条件ではないと考えられる。さらに検討は必要であるが、水温を調整すれば、海水の変更による影響は大きくないと考えられる。

また、ヨコエビを観察したところ、以下の特徴・現象がみられた。

- ・表面張力によって水面にトラップされ、体の片側が大気にさらされた状態が持続する。
- ・容器の底に横たわり、もがくような動きをする。
- ・遊泳時、直進し、容器の壁に衝突する。

上記の状況は、飼育容器に 1 個体となり、生残率 100%が維持されている個体においても認められているため、生残には大きく影響しないと考えられた。

生残率は、日数が経過するに伴って低くなった。しか

し、各容器内に 1 個体となってからは死亡し難く、飼育実験開始時から 1 個体であった容器においては、最長で 345 日間生存した。個体数の減少時および死亡個体の出現時の直前には、いずれも脱皮が確認されている。よって、飼育下における生残率の低下には、脱皮が関わっていると考えられる。甲殻類は、脱皮後に共食いすることや脱皮不全などにより斃死することが知られている (Okamoto, 2004; 田畑・勝谷, 1974; 田畑・勝谷, 1973)。ヨコエビも他の甲殻類と同様と考えられる。共食いおよび脱皮の失敗を防止するためには、個体の栄養状態を維持させる必要がある (納屋, 1988)。本研究では、10-20 日間隔で、マアジを 1-3 日間飼育容器に静置させることで給餌とした。今後、脱皮による個体への影響を低減させるため、給餌間隔を短縮させ、マアジ以外の餌料の使用、給餌中における溶存酸素濃度の低下を抑える方法などの飼育技術を検討する必要がある。

#### 4.3. 継代飼育の可能性

本研究においては、最初の個体の死亡（個体数減）が確認されたのは、捕獲後 40 日目であり、死亡の要因には脱皮が関連していると考えられる。脱皮は、ほぼ同じサイクルで行われていた。本種を用いる急性的な影響実験は、脱皮のタイミングを踏まえ、さらに共食いが生じないように 1 個体ずつ隔離する必要があると考えられる。

本種の成長、成熟および寿命については不明である。甲殻類は、分類群によって異なるものの、脱皮と成熟には関連があり、交尾の直前に雌が脱皮する種類が多い（岡本, 2017; 前田・辻本, 2005; Hiwatari and Kajihara, 1988; 岩田, 1987; 阿部, 1982）。ヨコエビの繁殖についても、雄が脱皮した雌の背方から咬脚で抱え込む行動（交尾前ガード）が知られている（Graffen and Ridley, 1983）。本研究では、脱皮後に共食いが生じ、最終的に飼育容器内の個体数が 1 個体となり、繁殖行動を観察するに至らなかった。継代飼育を行うためには、脱皮による共食いと繁殖という相反行動の対策を行う必要がある。

浅海種のヨコエビによる飼育実験では雌雄で寿命と脱皮回数に違いがあり、雌および雄で、それぞれ 311 および 211 日、30 および 16 回である（首藤・吉田, 2019）。脱皮間隔を寿命と脱皮数から単純に求めると、雌雄ともに約 10 日となる。成熟は平均で 45 日とされている。つまり成熟までに 4-5 回の脱皮を行うと試算される。

Kaim-Malka (2003) によると、地中海の水深 500 m からベイトトラップで採取された深海性ヨコエビ (*Scopelocheirus hopei* (A. Costa, 1851); フトヒゲソコエビ上科 Lysianassoidea) の群集解析を行ったところ、個体数は雌が雄より多く、1 回の繁殖で 2 回産卵すると報告している。抱卵個体の体長は 6.2-9.7 mm である。フトヒゲソコエビ上科については、富山湾の浅海域においても報告され、年に複数回繁殖すると言われている（有山, 2016）。本研究におけるヨコエビの脱皮間隔は約 90 日であり、同一個体の脱皮回数は、最大で 6 回であった。雌雄の比率および捕獲前の脱皮回数が不明であるが、脱皮の回数と個体の体長構成から、飼育期間においても成熟する可能性はあると考えられる。

#### 4.4. 試験生物としての可能性

試験生物としては、管理下におかれ、品質が均質なことが求められる。また、急性的な影響は、曝露後 96 時間の半数致死濃度により評価される場合が多い（OECD, 2019）。さらに、慢性的な影響を評価するためには、継代飼育技術が確立されていることが望ましい。

本研究から、本種は、水温管理さえ行えば、飼育が可能であり、脱皮に関連した死亡、個体数減を抑えることができれば、継代飼育の可能性が高いと考えられる。また、継代飼育が困難としても、同類のヨコエビ (*Lysianassoidea*) に関しては、日本海固有水深度である水深 300 m 程度の日本海の海底にも棲息している可能性が高く、そこから安定的に採取することができれば、それら個体を用いた実験は可能で、特に、急性的な致死条件を評価する実験や脱皮を指標とした亜慢性的な実験には利用できる可能性が高い。

実験デザインの一案としては、OECD (2019) では、ミジンコ等小型水生生物の毒性試験生物数として 20 個体以上を用い、96 時間の半数致死濃度を求めることを推奨している。例えば対照区を含めて 5 試験区設定し、統計処理のために実験を 3 回繰り返すとすれば、最低 300 個体は必要となる。腐肉食性のため、共食いによる影響を防ぐ必要があり、個体別に隔離させて実験する必要がある。Ishida *et al.* (2023) では、共食いを防ぐためチャック付ビニール袋に 1 個体ずつ収容して実験している。この場合、個々の試験区の毒性物質の濃度維持や測定が 1 袋ずつとなってしまうため、手間がかかることが予想される。例えば、個体の大きさに応じたメッシュカゴなど通水性のある小型容器に収容し、それら小型容器が試験に用いる個体数の数分収容できるガラスビンなどの容器を用いれば、毒性物質濃度調製は容器ごとで行えばよく、手間が省ける。それら容器を、試験区分準備し、水温を 1°C 前後に維持できるインキュベーターあるいは冷蔵庫内にて実験すれば、実験水質の管理や実験生物の観察が容易に実施できると考えられる。

一方で、実験に用いる生物は種類が同定されている必要がある。近年において新種として報告される生物も多く（岡西, 2020）、調査の機会が少ない深海においては、ヨコエビの未記載種が捕獲される可能性は否定できな

い。SS21-2におけるROV潜航調査(UT13, UT14)において通常のペイトトラップで捕獲されたヨコエビの約250個体の内11個体を除いてほぼ全個体が外観上同種と考えられることから、捕獲される個体群は同一種あるいは極めて近縁の種が優占する可能性が高いと考えられる。しかしながら、フトヒゲソコエビ類は分類学的に混乱しており、外部形態に基づく種同定は困難であることから、遺伝子解析による分析が不可欠と考えられる。

今後、深海底生性ヨコエビに関して、種の情報を伴って、成長・成熟・生残の雌雄差や飼育水温の影響等についてのデータが蓄積されれば、深海海洋開発における試験生物として利用できる海産小型甲殻類の一つとなる可能性は高いと考えられる。

## 謝 辞

本研究では、調査船「新世丸」の船長、乗組員、ROV「はくよう3000」のオペレータの方々に多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。本研究は、経済産業省のメタンハイドレート研究開発事業の一部として実施しました。

## References

- 阿部晃治 (1982) : ケガニの脱皮回数と成長について. 日本水産学会誌, **48**(2), 157-163.
- 有山啓之 (2016) : ヨコエビとはどんな動物か?—形態・色彩・生態について—. *Cancer*, **25**, 121-126, doi: 10.18988/cancer.25.0\_121.
- Asada, M., M. Satoh, M. Tanahashi, T. Yokota, and S. Goto (2022): Visualization of shallow seafloor fluid migration in a shallow gas hydrate field using high-resolution acoustic mapping and ground-truthing and their implications on the formation process: a case study of the Sakata Knoll on the eastern margin of the Sea of Japan. *Mar. Geophys. Res.*, **43**, doi: 10.1007/s11001-022-09495-9.
- Frutos, I., and A.M. Jazdzewska (2019): Deep-sea amphipod fauna of the Sea of Okhotsk. *Prog. Oceanogr.*, **178**, 102147, doi: org/10.1016/j.pocan.2019.102147.
- Geller, J., C. Meyer, M. Parker, and H. Hawk (2013): Redesign of PCR primers for mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I for marine invertebrates and application in all-taxa biotic surveys. *Mol. Ecol. Resour.*, **13**(5), 851-861, doi: 10.1111/1755-0998.12138.
- Grafen, A., and M. Ridley (1983): A model of mate guarding. *J. Theor. Biol.*, **102**(4), 549-567.
- Hiwatari, T., and T. Kajihara (1988): Experimental Studies on the Growth and Breeding of *Hyale barbicornis* (Amphipoda, Crustacea) at Different Temperatures. *Nippon Suisan Gakkaishi* (Japanese Ed.), **54**, 39-43, doi: 10.2331/suisan.54.39.
- 井口亮 (2021) : 遺伝子解析手法による日本海生物群集の多様性・連結性評価に関する研究. 表層型メタンハイドレートの研究開発 2021年度研究成果報告会, 国立研究開発法人産業技術総合研究所主催, 2021年12月3日, [https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/forum/forum2021/11\\_iguchi.pdf](https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/forum/forum2021/11_iguchi.pdf).
- Ishida, H., R. Mukai, E. Ikeuchi, H. Kise, M. Nishijima, A. Iguchi, A. Suzuki, and M. Suzumura (2023): Preliminary study on the acute effects of hydrogen sulfide on Amphipoda (*Lysianassoidea*; *Pseudorchomene* sp. and *Anonyx* sp.) collected from deep-sea floor in the Sea of Japan. *Mar. Pollut. Bull.*, **192**, 115102 doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115102.
- Ishimaru, S. (1994): A catalogue of gammaridean and ingolfiellidean Amphipoda recorded from the vicinity of Japan. *Report of the Sado Marine Biological Station*, **24**, 29-86.
- 岩田雄治 (1987) : アサヒガニ *Ranina ranina* の水槽内における交尾, 産卵および脱皮について. 日本大学能獣医学部学術研究報告, **44**, 1659-168.
- Kaim-Malka, R.A. (2003): Biology and life cycle of *Scopelocheirus hopei* (A. Costa, 1851), a scavenging amphipod from the continental slope of the Mediterranean. *J. Nat. Hist.*, **37**(21), 25479-2578, doi: 10.1080/00222930210155693.
- Kobayashi H., Y. Hatada, T. Tsubouchi, T. Nagahama, and H. Takami (2012): The hadal amphipod *Hirondellea gigas* possessing a unique cellulase for digesting wooden debris buried in the deepest seafloor. *PLoS ONE*, **7**(8), e42727, doi:10.1371/journal.pone.0042727.
- Lowry, J.K., and A.A. Myers (2017): A Phylogeny and Classification of the Amphipoda with the establishment of the new order Ingolfiellida (Crustacea: Peracarida). *Zootaxa*, **4265**(1), 1-89, doi: 10.11646/zootaxa.4265.1.1.
- 前田経雄・辻本良 (2005) : 飼育下におけるベニズワイガニの脱皮と成長. 水産増殖, **53**(1), 15-22.
- Miyajima, Y., D. Araoka, T. Yoshimura, Y. Ota, A. Suzuki, H. Yoshio-ka, M. Suzumura, D. Smrzka, J. Peckmann, and G. Bohrmann (2023): Lithium isotope systematics of methane-seep carbonates as an archive of fluid origins and flow rates. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **361**, 152-170, doi: 10.1016/j.gca.2023.10.022.
- 納屋洋子 (1988) : 甲殻類の脱皮に関するホルモン. 有機合成化学, **46**(5), 447-454.
- OECD (2019): Guidance document on aquatic toxicity testing of difficult substances and mixtures. Guidance Document No. 23, [https://www.oecd.org/en/publications/guidance-document-on-aquatic-toxicity-testing-of-difficult-substances-and-mixtures\\_Oed2f88e-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/guidance-document-on-aquatic-toxicity-testing-of-difficult-substances-and-mixtures_Oed2f88e-en.html).
- 岡本一利 (2017) : 個体別長期飼育よりみたガザミの生残, 脱皮, 成長. 静岡県水産技術研究所研究報告, **50**, 1-5.
- Okamoto, K. (2004): Juvenile release and market size recapture of the swimming crab *Portunus trituberculatus* (Miers) marked with coded wire tags. In : Leber KM, Kitada S, Blankenship HL, Svasand T (eds) *Stock enhancement and sea ranching. Developments, pitfalls and opportunities. Second edition*, Blackwell publishing, Oxford, 181-186.
- 岡西政典 (2020) : 新種の発見. 中公新書, 264 pp.
- Ota, Y., M. Suzumura, A. Tsukasaki, A. Suzuki, K. Yamaoka, M. Asada, and M. Satoh (2022): Anaerobic oxidation of methane and

- trace-element geochemistry in microbial mat-covered sediments related to methane seepage, northeastern. *Chem. Geol.*, **611**, doi: 10.1016/j.chemgeo.2022.121093.
- Ota, Y., A. Iguchi, M. Nishijima, R. Mukai, M. Suzumura, H. Yoshioka, A. Suzuki, A. Tsukasaki, T. Aoyagi, and T. Hori (2024): Methane diffusion affects characteristics of benthic communities in and around microbial mat-covered sediments in the northeastern Japan sea. *Chemosphere*, **349**, doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.140964.
- 大塚攻, 駒井智幸 (2008): 甲殻亜門. 甲殻亜門分類表. 石川良輔 (編), 節足動物の多様性と系統, 裳華房, 東京, pp. 172-275, 421-422.
- OSPAR Commission (2006). OSPAR Protocols on Methods for the Testing of Chemicals Used in the Offshore Oil Industry, <https://www.ospar.org/documents?v=6996>.
- Oyama, A., and S. M. Masutani (2017): A Review of the Methane Hydrate Program in Japan. *Energies*, **10**, 1447, doi: 10.3390/en10101447.
- Reynolds, L.K., L.A. Carr, and K.E. Boyer (2012): A nonnative amphipod consumes eelgrass inflorescences in San Francisco Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **451**, 107-118.
- 櫻井泉 (2004): 森林が河口域の水産資源に及ぼす影響. 北水試だより, **65**, 19-26.
- 澤村正幸 (1999): 北海道白尻沿岸における底生魚類の胃内容物組成とその魚種間の類似度. 日本ベントス学会誌, **54**, 14-23.
- Stoner, A.W. (1979): Species-specific predation on amphipod Crustacea by pinfish *Lagodon rhomboides*: mediation by macrophyte standing crop. *Mar. Biol.*, **55**, 201-207.
- 首藤宏幸・吉田吾郎 (2019): 脱皮殻から推定した飼育下における端脚類 *Amphithoe tarasovi* (ヒゲナガヨコエビ科) の成長. *Cancer*, **28**, 148-152.
- 鈴木昌弘 (2022): 表層型メタンハイドレート開発に係る海洋調査・環境影響評価の進捗について. 表層型メタンハイドレートの研究開発 2021 年度研究成果報告会, 国立研究開発法人産業技術総合研究所主催, 2021 年 12 月 3 日, [https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/forum/forum2021/5\\_suzumura.pdf](https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/forum/forum2021/5_suzumura.pdf).
- 田畑和男・勝谷邦夫 (1973): ガザミの稚ガニ期における共食い現象について. 栽培漁業技術開発研究, **2**, 27-32.
- 田畑和男・勝谷邦夫 (1974): ガザミの稚ガニ期における共食い現象についてⅡ. 昭和 48 年度岡山県水産試験場事業報告, 207-210.
- 天満則夫 (2022): 表層型メタンハイドレートの研究開発—2021 年度の取組について—. 表層型メタンハイドレートの研究開発 2021 年度研究成果報告会, 国立研究開発法人産業技術総合研究所主催, 2021 年 12 月 3 日. [https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/forum/forum2021/1\\_tenma.overall.pdf](https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/forum/forum2021/1_tenma.overall.pdf).
- 養松郁子 (2009): 日本海におけるベニズワイ *Chionoecetes japonicus* RATHBUN の生態特性と資源管理に関する研究. 学位論文 (東北大学), 79 pp, 東北大学機関リポジトリ <http://hdl.handle.net/10097/39956>.

## Capture and long-term rearing of deep-sea amphipod *Pseudorchomene* sp. (Lysianassoidea) from the Sea of Japan

Hiroshi Ishida<sup>1†</sup>, Ryo Mukai<sup>2</sup>, Eri Ikeuchi<sup>3</sup>, Hiroki Kise<sup>3</sup>,  
Miyuki Nishijima<sup>3</sup>, Akira Iguchi<sup>3</sup>, Atsushi Suzuki<sup>3</sup> and Masahiro Suzumura<sup>4</sup>

### Abstract

As part of the development of environmental impact assessment technologies for coastal methane hydrate extraction in the Sea of Japan, a single amphipod species, *Pseudorchomene* sp., was successfully captured in a viable state from the seafloor, at a depth of approximately 1,000 m. This study represents the first published account of the successful capture and rearing of an amphipod species from this depth. Bait traps designed to hold local seawater were developed and employed to capture living amphipods. The captured specimens were immediately housed in seawater maintained at 1–2°C without atmospheric exposure, and nearly all individuals remained active. The amphipods were reared in multiple containers and fed at intervals of 10–20 days. The observed exuviae interval was  $86 \pm 6$  days. Mortality or a decline in the number of individuals was noted following molting, with a maximum survival duration of 548 days for a single individual in captivity. Without feeding, the amphipods survived for up to 141 days. Population depletion was attributed to molt failure and predation on molting individuals. These findings indicate that *Pseudorchomene* sp. can be maintained in a healthy condition for extended periods and utilized in environmental impact experiments, including toxicity tests.

**Key words:** methane hydrate, amphipod, bait trap, deep-sea, the Sea of Japan

(Corresponding author's e-mail address: h-ishida@kaiseiken.or.jp)

(Received 25 July 2024; accepted 6 January 2025)

(doi: 10.5928/kaiyou.34.2\_37)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2025)

---

1 The Central Laboratory, The Marine Ecology Research Institute, 300 Iwawada, Onjuku-machi, Isumi-gun, Chiba, 299-5105, Japan

2 Marine Biological Research Institute of Japan Co., Ltd., 4-3-16 Yutaka-machi Shinagawa, Tokyo, 142-0042, Japan

3 Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567, Japan

4 Environmental Management Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 16-1 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, 305-8569, Japan

† Corresponding author: Hiroshi Ishida  
e-mail: h-ishida@kaiseiken.or.jp