

北海道羅臼の海洋深層水から連行採取された 本邦初記録のフジツボ (*Chirona evermanni*)

First record of the acorn barnacle, *Chirona evermanni* carried with
deep ocean water (DOW) at Rausu, Hokkaido, Japan

西川明豪¹・山口寿之²・山石秀樹³・櫻庭將藏¹・高橋正征⁴

Akihide NISHIKAWA, Toshiyuki YAMAGUCHI, Hideki YAMAISHI, Shouzou SAKURABA and Masayuki TAKAHASHI

Abstract

An acorn barnacle was collected in intact state together with deep ocean water pumped from 350 m deep at Rausu, Hokkaido without confirming the sample as being dead or alive. The barnacle was identified as *Chirona evermanni* (Pilsbry) previously known to inhabit cold seawater (below 10°C) at 20–75 m deep in the northern North Pacific Ocean. Living samples have not been found from around Japan except for dead shells in coastal sediments in the Tsugaru Strait. The deep ocean water pipe was made of high density polyethylene (outside diameter of 350 mm, inside diameter of 268 mm, length of 2,817 m), was installed in the sea in August 2004, connected to the pump in January 2006 and has been continuously operational since August 2006. Shell fragments of the acorn barnacle have also been collected frequently since 2010. Complete shells of the barnacle were collected twice, one each in 2011 and 2012.

Key Words: Carrying organisms, Pumping pipe, Deep ocean water (DOW), Acorn barnacle (*Chirona evermanni*), Rausu Hokkaido

要 旨

北海道羅臼漁港の海洋深層水取水管（取水深度350 m）から、これまで国内では生きた標本として確認されたことのない付着性大型フジツボの非破損個体（採取時の生死は未判別）と多数の脱皮殻が連行採取された。このフジツボは、太平洋北部の水深20～75 mで約10°C以下の冷水海域に生息する *Chirona evermanni* (Pilsbry) と同定され、日本列島では津軽海峡以北の海底堆積物中で死殻が発見されているが生存個体は確認されていない。取水管は硬質ポリエチレン製（外径350 mm, 内径268 mm, 長さ2,817 m）で、2004年8月に海中敷設、2006年1月に取水ポンプと接合、同年8月から事業取水が行われている。2010年頃から、フジツボの殻（周殻、蓋板など）の破片が連行され、現在も続いている。2011年と2012年にはそれぞれ1個の非破損個体が連行された。

キーワード： 連行生物, 取水管, 海洋深層水, フジツボ, 北海道羅臼

1. はじめに

20世紀後半になって海水に対する腐食耐性のあ

るプラスチックが開発され、陸上などへの海水の恒久揚水が容易になった。ハワイの自然エネルギー研究所では、1981年にプラスチックの硬質ポリエチレ

¹ (株)エコニクス (〒004-0015 北海道札幌市厚別区下野幌テクノパーク1-2-14)

² 日本付着生物学会名誉会員 (〒231-0052 神奈川県横浜市中区英町2)

³ 北海道羅臼町 (〒086-1892 北海道目梨郡羅臼町栄町100-83)

⁴ 東京大学・高知大学名誉教授 (〒305-0844 茨城県つくば市小白裕672-162)

ン管を利用し、水深583 mから陸上への恒久的な海洋深層水取水管 (内径30 cm) が敷設された (中原, 2000). その後、ハワイだけでなく世界各地で、200 m以深からの海洋深層水を得るためのプラスチック製の恒久的な海水取水管が敷設されるようになった。日本では、1989年に高知県室戸市で水深320 mからの陸上取水管設置に始まり、現在までに北は北海道から南は沖縄県久米島まで、国内15カ所に、18本の陸上取水管 (1本の鋼管以外はすべて硬質ポリエチレン管) が敷設され、海洋深層水が取水されている (海洋産業研究会, 2007). この間、韓国、台湾、インド、タヒチなどでもプラスチック製の陸上および洋上の海洋深層水取水管が敷設された。

各地の海洋深層水の陸上取水施設の多くは底上5 m程度の海底近くから取水するため、しばしば底生生物を連行し、そのためポンプ手前にストレーナーをもうけて、目につく大型の生物を取り除いている。連行生物採取情報の一部は、報文などで公表されている (藤田・高橋, 2006; 高月, 2004; 沖縄県海洋深層水研究所, 2015). 連行生物は、(1) 採取が容易でない中・深海域の生物採取や (Arima *et al.*, 2015), (2) 中・深海域の生物のもつ有用物質などの特殊な資源価値の探索、などの可能性を高め、また (3) 中・深層海水取水管の維持管理などの面から関係者の関心をひいている。

これまでの連行生物の報告は、浮遊・遊泳・移動性の生物がほとんどで、固着生物としては水深100 mからの取水でフジツボ類幼生の連行が確認されたが (藤田・高橋, 2006), 水深300 mからの取水 (藤田・高橋, 2006) ではフジツボ類は未確認で、その代り有柄フジツボ類のハダカエボシ科とエボシガイ科の生物連行が確認されている (藤田・高橋, 2006). 海洋深層水取水管からの過去の連行生物は、北海道八雲町 (熊石) でエチゼンクラゲ大発生時に数日間にわたって大量に連行採取された以外は、週1回かそれ以下の頻度での大型生物の連行が普通である。この度、北海道羅臼沖水深350 mからの海洋深層水取水管から固着性のフジツボの非破損個体 (採取時に生死の判別は実施しなかったが、蓋板は

存在) が連行採取されたので、本報告では連行されたフジツボについて言及する。

2. 羅臼の海洋深層水取水管

羅臼漁港では、沖合い2.78 kmの水深350 mから、取水管を使って海洋深層水が連続取水されている (高橋ら, 2014). 取水管は、内径268 mm, 外径350 mm, 長さ2,817 mの鋼帯鍍装硬質ポリエチレン管で、50 m以浅の浅海部 (0.7 km) は砂質層に埋設、その先は海底を匍匐している。先端の取水口は底上8.5 mの位置に上向きに配置しており、底質などを吸い込みにくくする工夫がなされている (図1). 取水管は、2004年8月9日~12日に敷設は完了した。

取水ポンプ・貯水槽・送水ポンプなどの取水施設工事は2006年1月に完成し、深層水取水管に繋がった。以来、8月の運転開始まで、断続的に試運転が行われた。事業運転が始まると、900 m³の2つの陸上貯水槽が空にならないように、手動で取水ポンプが稼働されている。貯水槽が満杯の際には、余剰水は自動的にオーバーフローして漁港内に入る。

取水ポンプの上流側にはストレーナーがあり、深層水は1 mmメッシュのネットで濾されてから貯水槽に蓄えられている (図1). ストレーナーにかかった魚介類とネット濾過物の観察は定期的に行われている。

取水時の水温は0.3~4.0℃程度で、厳冬期には揚水中わずかに降温、他の時期には揚水中わずかに昇

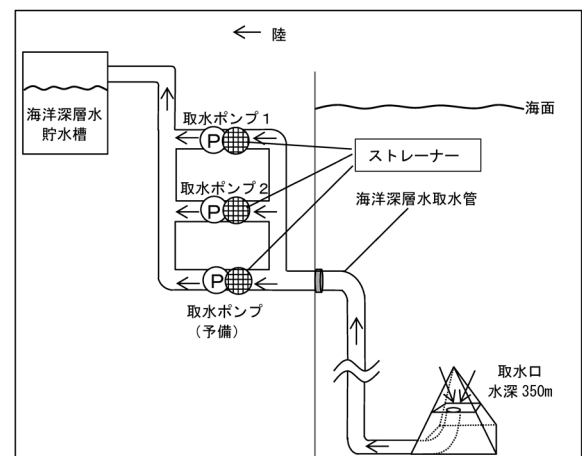


図1 羅臼海洋深層水取水設備概略

温していると推測される。ポンプ稼働時の管内流速は $0.32\sim 1.04\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度である。

3. フジツボ試料について

3.1 試料採取方法および形態的特徴

羅臼では、2006年9月から取水ポンプ（2台同時または1台ずつ交互で稼働）を手動でオンオフして海洋深層水が取水されている。2011年にはストレーナーに殻底の直径5.0 cm, 殻高3.0 cm, 乾燥重量19.2 gの非破損個体1個（蓋板有り）が連行採取され、翌年にも殻底5.5 cm, 殻高3.5 cm, 乾燥重量47.5 gの非破損個体1個（蓋板有り）が連行採取された。その間とその後もフジツボの脱皮殻の連行は続き、同時に時折フジツボ周殻の破片が連行された。しかし、2013年以降はフジツボ非破損個体の連行採取はない。

2015年9月17日にストレーナー上部のエア抜き栓付き塩ビ管にゴムホースを接続して海洋深層水を300 L採取し、プランクトンネット（NXX13・目合い0.1 mm）で粒状物を集めた。採取試料には大小動物プランクトンが含まれ、その中にノープリウス幼生が確認された（図2）。その形態的特徴は、1対の前側角（frontolateral horn）を持つ逆三角形であったことから、フジツボ類のノープリウス幼生と同定し

た。

また、試料採取時にストレーナーに溜まっていた生物等も参考に採取した。その内容物は、フジツボ脱皮殻（図3）が大小28個、ウキクサウオ1個体であった。これはポンプ1台を3時間連続運転してス

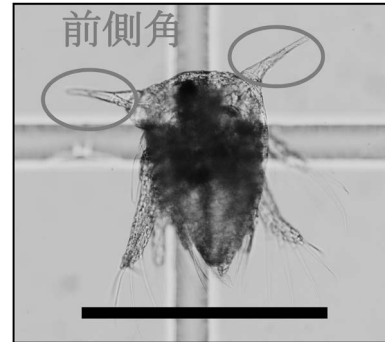


図2 羅臼海洋深層水から連行採取されたフジツボ類ノープリウス幼生の実体顕微鏡写真。図中の黒実線は500 μm 。

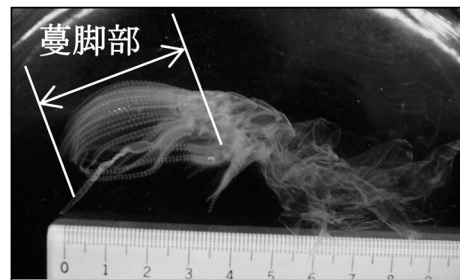


図3 羅臼海洋深層水から連行採取されたフジツボ脱皮殻

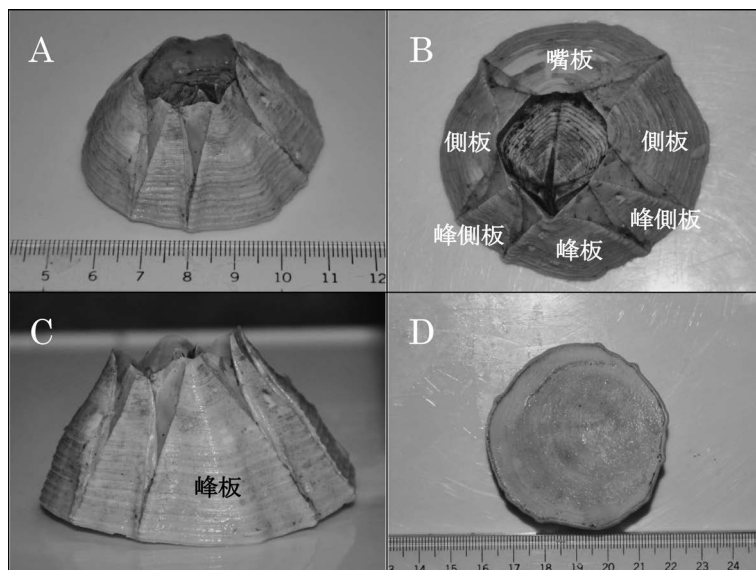


図4 羅臼海洋深層水から連行採取されたフジツボ非破損個体。(A) 全体の様子（後方上面）、(B) 直上（直上面）、(C) 側面、(D) 底面。

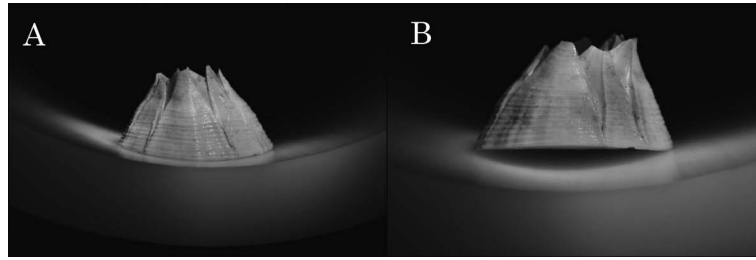


図5 羅臼海洋深層水から連行採取されたフジツボ非破損個体と取水管内部湾曲面との密着性。フジツボの峰板-嘴板軸を水流方向に向けるとフジツボ殻底面と取水管内面が密着し、隙間はなかった(A)が、水流と直角方向にすると明らかな隙間が認められた(B)。

トレーナーに溜まったものである。このフジツボ脱皮殻は、蔓脚部の長さが3~5 cm程度の大きさで、ここ数年ストレーナーでしばしば採取されている。

フジツボの非破損個体は固い6枚の殻板で構成され、色は明るい茶で、殻底は白色石灰質の光沢のあるプラスチックのようにスムーズな面で、しかもわずかに体軸に対して凸型に湾曲している(図4)。この底面形状から、取水管内に付着していたことが推察されたため、取水管内部曲面にフジツボ底部をあて、曲面の曲がり具合とフジツボ底面の密着性を試した。その結果、水流方向にフジツボの峰板-嘴板軸を合わせると、フジツボの殻底(底面)と取水管内面との間がよく密着し、隙間が認められず、逆に向きを90度回転するとフジツボの殻底(底面)と取水管内面との間に明らかな隙間が見られた(図5)。

フジツボはキブリス幼生期に定着するが、これに先立って付着方向を決める。方向は定着する場所の物理的要因によって決定され、選定場所に溝が存在すれば溝の軸方向に沿い、光の存在下では頭部を光源方向に向け、水流があれば下流に頭部を向けて定着する(加戸, 1991)。深層水取水管内では、これら三要因の中でも水流の影響が大きいことが考えられ、峰板-嘴板軸が水流方向に向いたと推察される。

3.2 採取フジツボ試料の同定と種の特徴

採取されたフジツボ非破壊個体は、形態学的特徴から *Chirona evermanni* (Pilsbry) と同定された。

Pilsbry (1916) によれば、同種は、これまで太平洋のアラスカ南部、ベーリング海の南北両側、アリューシャン列島などの水深20~75 mのどちらかといえば深海性で、水温が約10℃以下の冷水海域

で生息が確認されている。アラスカ南部で得られた標本では、直径10.5 cm、高さ6.1 cmに達する大型個体が得られている。岩などの基盤に単一個体で付着しているものから、他個体の上に重層して群体群集をつくる場合もある。

Yamaguchi (1977) は、本種は日本国内の関東以北の新生代新第三紀の後期中新世(1163~533万年前)と鮮新世(533~259万年前)の地層から化石として産出し、当時としては北日本の太平洋沿岸を中心に広く分布していたことが伺えることを報告している。しかし、現生種のかな生息は確認されておらず、死殻が津軽海峡の海底堆積物中で発見されている。

同様の大型フジツボは、羅臼町の地元漁業者が日常的に周辺海域で目にしているとの聞き取り情報があるが、本種と同種かどうかは採取調査での同定により確認する必要がある。

4. 考 察

羅臼の海洋深層水取水管の連行生物は、取水開始時から継続採取して内容が調べられており、これまでに動物プランクトン(山口・野別, 2008; Arima *et al.*, 2015)、十脚甲殻類(藤谷ら, 2013)、魚の新種1件(Machi *et al.*, 2012)、移動性の貝類(川南ら, 2015)など、一部が公表されている。しかし、固着性生物が連行採取されたのは、羅臼では今回のフジツボが初めてである。羅臼以外の国内各地の海洋深層水取水管の連行生物も、大部分は浮遊、遊泳、その他の移動性で、これまでのところ固着性生物の報告は高知県室戸市の320 m取水管から連行採取され

たハダカエボシ科とエボシガイ科のごくわずかの試料のみである(藤田・高橋, 2006)。

今回、採取されたフジツボの底面が海洋深層水取水管の凹曲面と完全に密着し、殻底面の滑らかなことなどから、取水管内面に固着していた可能性が考えられる。また、300 Lの試料からフジツボ類のノープリウス幼生が採取されたこと、取水ポンプのストレーナーにはフジツボ脱皮殻が捕集されることなどから、管内あるいは取水口近辺にフジツボが付着生息していることが推察される。イガイ類は足糸で付着していて、死亡すると足糸形成部が分解して貝殻部分が剥離しやすく、また、エボシガイはフジツボ同様に接着タンパク質で付着しているが、死亡すると柄部を残して頭部は腐敗分解しやすい。しかし、フジツボは殻底面が接着タンパク質で基盤に接着していて、生息時はもとよりのこと、死んでも通常は容易にははがれない。ただ、海洋深層水取水管内壁素材の硬質ポリエチレンは表面が平滑で、フジツボの死殻は岩や金属類に付着したものよりもはがれやすい可能性は考えられる(勝山ら, 1992)。海洋深層水の取水開始後、殻底面が内側に湾曲したフジツボの非破損個体が5年目と6年目にそれぞれ1個体ずつ連行採取されたことは、前記の可能性を示唆している。

フジツボ類の付着防除については様々な研究がなされているが、付着を完全に防止する方法はまだ開発されていない。火力発電所の冷却水関連設備などでは、イガイ類やフジツボ類の付着量を抑制する対策と、付着してしまったイガイ類やフジツボ類を剥離除去する対策が取られている(財団法人電力中央研究所環境科学研究所環境ソリューションセンター, 2008)。羅臼海洋深層水取水管の場合、管の内径が268 mm, 長さ2,817 m, 先端の水深が350 mということを見ると、管内付着物の剥離除去は容易ではない。発電所冷却設備への付着生物防除では、海水温を上昇させる方法と淡水処理による方法が開発されている(財団法人電力中央研究所・関西電力株式会社, 2006)。また、フジツボ類の殻の剥離に要する荷重については研究成果が公表されている(勝山ら, 1992)。いずれも他種の研究成果であ

り、海洋深層水取水管内に付着生息している本種(*Chirona evermanni*)の除去には対象生物種に関する水温・塩分耐性、生活史や産卵期など生態的知見の蓄積が必要である。

海洋深層水取水口は、温帯～熱帯では季節的水温躍層以深に位置していて、取水深度付近の生物量は、季節的水温躍層内に比べると著しく少ない。しかし、羅臼の海洋深層水取水口の位置は、季節的水温躍層以浅(混合層内)に位置しているため、生物量は水深30 m以浅のいわゆる活発な生産層の1/3～1/2と多い(山口・野別, 2008; Arima *et al.*, 2015)。フジツボのような大型の付着生物は、350 m程度の深い水深帯での生息確認情報自体がなく、羅臼海洋深層水取水口の設置水深帯がフジツボの付着を懸念して問題視されることはなかった。こうしたことが重なって、取水口からフジツボ幼生が管内に入り、管内面に着床(付着)し、比較的豊富な大小動物プランクトンが管内生活するフジツボの成育を支えていることが推察される。しかしながら取水管内のどの位置にどの程度の量の付着生物が存在するのかなど、長い海洋深層水取水管内の状況を低コストで容易に把握するための方法については今後の研究開発に期待するところである。

今回連行採取されたフジツボは、羅臼や周辺海域での自然生息の可能性が高いが、これまでは採集・確認される機会がなかった。上述のように、羅臼の海洋深層水取水管からは、新種の魚類も確認されており(Machi *et al.*, 2012)、海洋深層水取水管の連行生物を採集することで、観察や採集の難しい中・深層水中に生息する未確認種や新種のさらなる採集・発見の可能性が示唆される。今後、羅臼はもとよりのこと、日本各地、さらには国外の海洋深層水取水管の連行生物試料への注目が期待される。

謝 辞

海洋深層水取水管の連行生物関連情報をご提供いただいた(財)知床財団の野別貴博博士、並びに論文に対して有益なコメントをいただいた北海道開発局釧路開発建設部に感謝申し上げます。また、本論文の

査読審査では北里大学海洋生命科学部の加戸隆介博士から多数の重要なご指摘をいただき、論文の質の向上を図ることができ、記して感謝申し上げます。

参考文献

- Arima, D., A. Yamaguchi, T. Nobetsu and I. Imai (2015) Usefulness of deep-ocean water pumping for the seasonal monitoring of mesozooplankton. Reg. Stud. Mar. Sci., (In press)
- 藤田大介・高橋正征 (編著) (2006) 海洋深層水利用学～基礎から応用・実践まで～. 成山堂書店, 東京, pp. 38-42.
- 藤谷秀明・野別貴博・五嶋聖治 (2013) 知床半島羅臼沖で採集された深海性十脚甲殻類. 知床博物館研究報告, 35, 15-28.
- 海洋産業研究会 (社) (2007) 海洋深層水多角利用研究活動報告書. 平成18年度自主調査研究事業, 233 pp.
- 勝山一郎・鈴木義弘・杉原拓郎 (1992) フジツボ類の殻の剥離に要する荷重について. 付着生物研究, 9(1/2), 9-12.
- 川南拓丸・野別貴博・山崎友資 (2015) 北海道の海洋深層水汲取り施設から汲み上げられる貝類. 日本貝類学会平成27年度大会研究発表要旨集, 33 pp.
- Machi, K., T. Nobetsu and M. Yabe (2012) *Careproctus rausuensis*, a new liparid fish (Percomorphacea: Cottiformes), collected from Hokkaido, Japan. Bull. Natl. Mus. Sci. Ser. A. Suppl., 6, 33-40.
- 中原裕幸 (2000) ハワイ自然エネルギー研究機構 (NELHA) における海洋深層水の利用. 月刊海洋, 号外No. 22, 209-215.
- 沖縄県海洋深層水研究所 (2015) 深海の生き物たち. www.pref.okinawa.jp/odrc/shinkaiseibutsu.html
- Pilsbry, H. A. (1919) The sessile barnacles (Cirripedia) contained in the collection of the U. S. National Museum; including a monograph of the American species. Smithsonian Institution, U.S. National Museums, Bulletin, 93, 1-366.
- 高月邦夫 (2004) 生物連行. DOWAS News Letter, 8 (1).
- 高橋正征・川端達也・山石秀樹・千綾昭彦・山内繁樹・山下和則・長野 章 (2014) 定低温清浄な海洋深層水を利用した北海道知床羅臼における衛生管理型漁港. 海洋深層水研究, 15, 1-10.
- 山口 篤・野別貴博 (2008) 知床らうす深層水により採集された動物プランクトン群集の季節変化. 平成19年度知床世界自然遺産地域生態系モニタリング調査業務報告書 (財団法人 知床財団), pp. 433-444.
- Yamaguchi, T. (1977) Taxonomic studies on some fossil and recent Japanese Balanoidea (Part 2). Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan N. S., No. 108, 161-201.
- 財団法人電力中央研究所・関西電力株式会社 (2006), 特許 (【公開番号】特開2006-142144, 【公開日】平成18年6月8日) 発電所所内冷却水冷却器の付着生物防除方法.
- 財団法人電力中央研究所環境科学研究所環境ソリューションセンター (2008) 発電所を困らせる生き物たち. 17 pp. (<http://criep.denken.or.jp/jp/env/seika/ikimono.pdf>)
- 加戸 (1991) 8 フジツボ. 海洋生物の付着機構 (財団法人水産無脊椎動物研究所編, 梶原 武監修), 恒星社厚生閣, 93 pp.
(2015年12月28日受付; 2016年3月5日)