

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22510009

研究課題名（和文） 熱帯性大型底生有孔虫の産出状況から読み解く日本海の海水温上昇

研究課題名（英文） Relationship between the larger foraminifer and surface water temperature of the Japan Sea.

研究代表者

加藤 道雄 (KATO MICHIO)

金沢大学・自然システム学系・教授

研究者番号：10093741

研究成果の概要（和文）：

石川県能登半島九十九湾で採取された柱状試料を用いて底生有孔虫群集を調査したところ、大型有孔虫 *Amphistegina radiata* が 1900年代初頭から現在まで継続的に産出することが明らかとなった。九十九湾から得られた *Amphistegina radiata* の初室サイズがどの世代に該当するかを調査した。無効分散であれば Schizont や Gamont の世代が欠如していると考えられる。その結果、九十九湾に産出する *Amphistegina radiata* の世代は Agamont と Schizont であり、生殖活動を行ってはいるが三形性生活環は完結していないと判断される。

研究成果の概要（英文）：

Based on core samples collected in Tsukumo Bay in the Noto Peninsula, Ishikawa Prefecture, the Larger foraminifera *Amphistegina radiata* have been present since the early 1900s. *Amphistegina radiata* generations from the Tsukumo Bay were determined based on their proloculus sizes. Absence of Schizont and Gamont generations may suggest abortive migration in the bay. In conclusion, the generations of *Amphistegina radiata* that occur in the Tsukumo Bay are likely Agamont and Schizont and although they reproduce, a trimorphic life cycle has not yet been completed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：微古生物学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：日本海、能登半島、大型有孔虫、三形性生活環、生息海域、無効分散

## 1. 研究開始当初の背景

熱帯性大型有孔虫 *Amphistegina radiata*

は、日本列島周辺海域では琉球列島沿岸と小笠原諸島沿岸にしか生息していないとされ

ていたが、その遺骸殻が太平洋沿岸の紀伊半島で1954年に、四国沖で1964年と1975年にそれぞれ産出することが報告された(Nagahama, 1954; Ishiwada, 1964; Aoshima, 1975). *Amphistegina radiata* は底生種であることから、琉球列島に生息する個体の放出した配偶子が、黒潮によって運搬されて太平洋沿岸に漂着し、その生息域を拡大したものと考えられる。一方日本海においても、山口県沖や新潟県柏崎沖で(Inoue, 1977, 1980)、さらに島根県沿岸からも(竹ノ内, 1990)、遺骸殻が産出することが報告された。2000年代になってからは、若狭湾などでも産出することが知られるようになってきた。

研究代表者は、2005年に能登半島先端の禄剛崎の海浜砂から、2008年には七尾北湾沖で、熱帯性大型有孔虫の *Amphistegina radiata* と *Parasorites orbitolitoide* の2種が産出することを確認した。

このように、生息可能な表層水温が14℃以上とされている大型底生有孔虫が、本来生息が不可能な日本海から産出報告が相次ぐ状況にあった。

一方、日本海の表層水温が過去100年間に1.2~1.7度上昇したことが気象庁から発表された(気象庁, 2007)。さらに、近年日本海に生息する魚類の生息域が北上しつつあるとの報道も相次いでいる。また死滅回遊魚類であるハリセンボンが、冬季に多数海岸に打ち上げられる現象や、エチゼンクラゲの大量漂着等も報道されている。これらの現象も地球温暖化による海水温上昇の影響と考えられている。

近年の日本海における大型底生有孔虫の産出報告も、この日本海表層海水温上昇が影響している可能性が考えられた。

## 2. 研究の目的

熱帯性大型底生有孔虫遺骸殻の能登半島沿岸での産出に日本海表層海水温の上昇が影響しているのであれば、いつ頃から熱帯性底生有孔虫が能登半島沿岸海域に生息するようになったのか、能登半島では大型底生有孔虫の生活環が完結して世代交代が行われ、分布域を拡大したと結論づけることができるのか、さらに日本海ではどの海域まで熱帯性大型有孔虫が生息域を拡大しているのかを考察することを目的とした。

## 3. 研究の方法

大型底生有孔虫の遺骸殻が確認された能登半島九十九湾で柱状海底堆積物を採取する。この柱状堆積物に放射性鉛(210-Pb)による年代軸を設定し、大型底生有孔虫の産出する時期が近年の日本海表層水の温暖化と関係しているのか否かを明らかにする。

一般に、有孔虫は異なる個体との遺伝子の

やりとりを行うと共に、分布域を拡大するための配偶子による有性生殖を行う世代と、個体数を増やすための分裂による無性生殖を行う世代とを繰り返す二形性生活環を持っている。しかしながら、大型底生有孔虫は体サイズや生殖様式などの異なる三つの世代を繰り返す、三形性生活環を持つとされている(図1)。

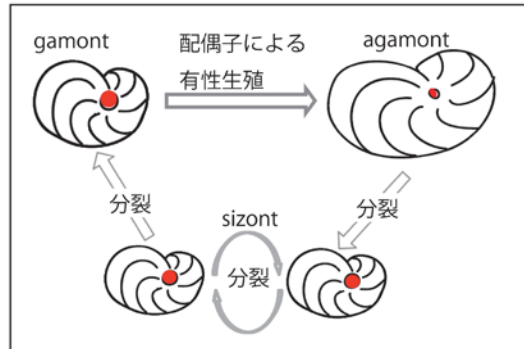


図1. 大型有孔虫の三形性生活環

大型底生有孔虫は、異なる個体から放出された遊泳性のある配偶子の接合によって誕生する接合子の成長したアガモント世代、そのアガモント世代の減数分裂によって誕生するシズント世代、このシズント世代は多分裂を繰り返して個体数をさらに増殖している。このシズントから誕生する配偶子を放出するガモント世代の3つの世代で生活環を完成している。これらは、殻の直径、初室の直径、生産個体数がそれぞれ異なっている(表1)。

表1. 殻サイズ、初室サイズ、個体数の比較

殻サイズ	agamont > gamont > sizont
初室サイズ	gamont > sizont > agamont
個体数	sizont > gamont > agamont

まずこの大型底生有孔虫の生活環を構成する三つの世代を区別する基準を求めするために、分布の中心である沖縄本島沿岸で試料を採取し、遺骸殻の薄片試料を作成し、殻サイズ、初室サイズ、産出個体数を調査する。この結果に基づいて作成した世代判別基準に従って、九十九湾に産出する大型有孔虫殻がどの世代のものかを判別し、その生活環が完結しているか否かを判定する。

## 4. 研究成果

能登半島九十九湾で採取した長さ29cmの柱状堆積物を用いて、厚さ1cm毎に堆積物を切り分けて、その有孔虫遺骸群集を調査した。

その結果、6層準から大型底生有孔虫 *Amphistegina radiata* がそれぞれ1個体、15層準から別の大型底生有孔虫 *Parasorites orbitolitoide* が21個体産出した。このう

ち *P. orbitolitoides* は殻構造から機械的破壊に弱く、破片がほとんどであったため、本研究では個体数が少なかったものの、殻の保存が良好であった *Amphistegina radiata* を用いた。

確認できた初産出は 1930 年前後であった。従って、この種は日本海海水温上昇が議論されるような近年になって日本海に出現するようになったのではなく、それよりもかなり前から能登半島には生息していたが、調査が行われていなかったため、近年までその実態が知られていなかったことが明らかとなった。

次に、たまたま *A. radiata* の遺骸が漂着したのか、あるいはこの場所で生息しているのかを判定する必要がある。年代測定を行った試料から産出したのは、6 層準から各 1 個体、計 6 個体であったが、近接する地点で採取した長さ 11cm の柱状試料では、堆積物の粒度が粗く、年代軸を入れることはできなかったが、11 層準から 42 個体と多数の遺骸殻が連続して産出した。また、殻の保存状態も良いことから、たまたま偶然の機会に恵まれてこの場所に漂着したのではなく、九十九湾で成長したと判断した。

そこで、九十九湾で生殖活動が行われているのか否かを、殻の直径を測定することで調査した。48 個体の殻サイズは 190  $\mu\text{m}$  から 1140  $\mu\text{m}$  の範囲にあり、沖縄県瀬底島で報告されている殻サイズの 300 ~ 2,800  $\mu\text{m}$  (Hohenegger et al., 1999) と比較すると非常に小型であった。沖縄標本の最頻値が約 1,000  $\mu\text{m}$  であるのに対して、九十九湾標本ではずっと小さく約 400  $\mu\text{m}$  である。このことは、九十九湾標本は水温等の影響で十分成長しきれていない個体である可能性が考えられ、殻サイズから三形性の世代決定は不可能と判断した。

有孔虫は、オオムガイやアンモナイトのように、成長するに従って新たな部屋を次々と付け加えて大型化していく。このことから、成長時の海洋環境には影響を受けないと考えられる、個体発生の最初に形成される第一室（初室）の大きさを調査することとした。

二液性エポキシ樹脂 (Petro Palouse Products 社) を用い、遺骸殻の赤道面がスライドガラス面と平行になるように固定したのち、超精密研磨フィルム (三井理化学株式会社, #2000, #4000) を用いて研磨し、デジタルマイクロスコープ (キーエンス社 VHX-900) で、円形の初室直径について 3 点を用いた円近似により 1 個体について 10 回の計測を行った。

まず、三形性生活環が完成していると考えられる、本来の生息域である沖縄本島瀬底島沿岸採取した個体について調査し、各世代を

区別するための基準を作ることとした。

瀬底島 2 点と名護市の海岸 1 点の 3 地点で採取した合計 601 個体では、初室の直径は 11  $\mu\text{m}$  から 134  $\mu\text{m}$  までの範囲にあり、35 ~ 42  $\mu\text{m}$  と 77 ~ 84  $\mu\text{m}$  にピークのある 2 峰性が認められた。これらのピークは、個体数などから直径の大きな 77 ~ 84  $\mu\text{m}$  ピーク値を持つグループがガモント世代であり、小さな 35 ~ 42  $\mu\text{m}$  にピーク値を持つグループがシズント世代と判断した。

アガモント世代の存在が確認できなかったが、北米東岸に生息する *Amphistegina* 属の中で *A. gibbosa* という *A. radiata* とは異なる種で、シズント世代とアガモント世代の違いが第 2 室の形態に現れる、との報告があることから (Harney et al., 1998), 沖縄試料についても第 2 室の形態に着目した。その結果、ほとんどの個体の第 2 室は大きな三日月型をしているのに対して、シズント世代と考えられる初室サイズを持つ個体の中で、比較的小さな初室を持つものに、第 2 室が初室よりも小さく、円形を呈する個体が数個体確認された。

以上の結果から、世代を区別する 2 段階による判定基準を決定した。第 2 室のサイズと形態に注目する第 1 段階と、初室サイズに注目する第 2 段階である。すなわち、第 1 段階で第 2 室が初室よりも小さく、円形のもをアガモント世代として区別し、次いで残りの個体の中で、初室サイズで 35 ~ 42  $\mu\text{m}$  にピーク値を持つグループをシズント世代、77 ~ 84  $\mu\text{m}$  にピーク値を持つグループをガモント世代とする。

この判定基準に基づいて、九十九湾個体について 3 形性を調査したところ、2 個体のアガモント世代と 30 個体のシズント世代を確認したが、ガモント世代の個体は確認されなかった。

以上の結果から、能登半島では生活環を構成する 3 世代のうち 2 世代しか存在しておらず、熱帯性大型有孔虫 *Amphistegina radiata* の生活環は完結していないと判断される。これは、南方から対馬暖流によって運搬されてきた配偶子や接合子が、九十九湾内で着底してアガモント世代へと変態し、その後減数分裂を行ってシズント世代の個体を生み出した。このシズント世代が分裂を繰り返しているかどうかは不明であるが、少なくともガモント世代の個体を生み出す分裂は行われていないと判断される。

石川県能登半島九十九湾に大型有孔虫 *Amphistegina radiata* の遺骸群集が存在するのは、5 月から 10 月にかけての表層水温が 14°C 以上になる時期に、対馬暖流に乗って移動してきた配偶子からアガモント、シズント

の2世代まで成長したものの、水温の低下する冬期には死滅するため、3形性生活環を完結していない、所謂「死滅回遊」の結果である。

殻の保存状態が不良のため調査対象から除外した *Parasolites orbitolitooides* の生息可能な表層最低水温も、*Amphistegina radiata* と同じく 14℃であることから、この種も同様に無効分散であろうと考えられる。能登半島へ配偶子を供給した海域については判明していない。

福井県内浦湾において、高浜原子力発電所の稼働中には湾内の浅海部分に魚類、貝類の熱帯性生態系が形成されていたが、原発が停止した二ヶ月後にはこの生態系が消滅したとの報告もある(毎日.jp, 2012)。このことから、日本海沿岸にある原子力発電所や火力発電所の周辺には、ある種の熱帯性生態系が形成されている可能性も考えられるが、1930年代には既に九十九湾に大型有孔虫が生存していたことから、この点は除外される。

日本海を北流する対馬暖流の速度は、最も早い時期で約 1.7~2.0knot とされており、対馬から能登半島までは、直線距離で約 820km である。従って、対馬で放出された配偶子が能登半島に到達するには、最低でも 9 日から 11 日程度必要である。配偶子や接合子の寿命がどの程度であるかも不明であることから、日本海において大型有孔虫が生息する可能性は、生息可能表層最低水温などから長崎県対馬付近が北限であろうと考えられる。

この結果は、地球惑星科学連合大会で発表し、原生動物の無効分散に言及した点など、多くの注目を集めた。また、英語論文、日本語論文とも執筆中であり、近い機会に投稿の予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

1. 加藤 道雄・柏原 由実 大型有孔虫 *Amphistegina radiata* は、石川県の日本海沿岸まで生息域を拡げたのか? 日本地球惑星科学連合 2012 度連合大会, 2012 年 5 月 23 日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

加藤 道雄 (KATO MICHIO)

金沢大学・自然システム学系・教授

研究者番号: 10093741

### (2) 研究分担者

山本 政儀 (YAMAMOTO MASAYOSHI)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授

研究者番号: 10121295