

2021年10月12日  
国立大学法人高知大学  
国立大学法人横浜国立大学

## 土佐湾の微小底生生物の殻に海水温が正確に記録されていることを 世界で初めて実証 ～黒潮域での海洋環境変動の復元研究への新たな手がかり～

### 1. 概要

高知大学自然科学系理工学部門（海洋コア総合研究センター）の池原実教授、高知大学大学院修士課程修了生の北重太氏、横浜国立大学の河潟俊吾教授の研究グループは、土佐湾の海底表層に生息する微小な底生生物（底生有孔虫）の一種である *Hanzawaia nipponica*（図1）が形成する炭酸塩殻に、周囲の海水の酸素同位体比（※1）が海水温に依存して正確に記録されていることを世界で初めて実証しました。この底生有孔虫種は黒潮や対馬暖流が影響する海域で多産することから、西日本沿岸から東シナ海の浅海域の海底堆積物を用いた古環境変動の研究に応用できる重要な成果となります。同種の化石殻の酸素同位体比を分析することで、過去の黒潮域の海水温の変化を復元解析することができる「古水温計」として、今後の活用が期待されます。

#### 浅海性底生有孔虫 *Hanzawaia nipponica*

電子顕微鏡写真

実体顕微鏡写真

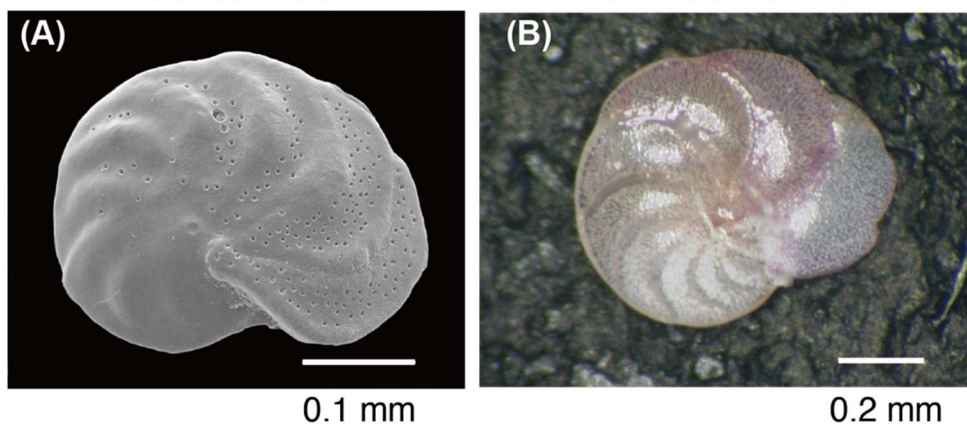


図1 土佐湾の海底から採取した浅海性底生有孔虫 *Hanzawaia nipponica* の顕微鏡写真

## 2. 発表のポイント

- 浅海性底生有孔虫の炭酸塩殻に海水の酸素同位体比が記録されていることを実証した。
- 酸素同位体比と海水温との関係は、浮遊性有孔虫の飼育実験から提案されている関係式に重なるため古水温計としての利用が可能である。
- 黒潮流域の浅海域（大陸棚～上部陸棚斜面）における新たな古環境代理指標（古水温計）として今後の活用が期待される。

## 3. 研究の背景と目的

地球の歴史を紐解く研究において、海底や湖底、陸上の堆積物から産出する微化石（※2）は重要な情報源となります。微化石の種類、殻や骨格に記録されている化学組成や安定同位体比が、生息当時の海洋や湖の環境の情報を示してくれます。単細胞の真核生物である有孔虫の多くは炭酸カルシウムの殻（炭酸塩殻）を形成しますが、その殻が溶解せずに堆積物中に保存されると化石として残ります。特に、有孔虫の殻に記録されている酸素同位体比（ $\delta^{18}O$ ）は1950年代から研究が進められており、当初は数少ない「古水温計」（※3）であったことから盛んに研究されました。有孔虫は海水の炭酸イオンを使って炭酸カルシウムを作るため、殻には海水の酸素同位体比が記録されますが、その際に温度依存性があることがわかっています（図2）。つまり、有孔虫殻の酸素同位体比は、基になる海水の酸素同位体比と炭酸カルシウムが固定されるときの水温の違いが記録されることとなります。海水の酸素同位体比は、全球的な氷床量の変化によって変わるパラメーターであるため、過去から現代までの気候変動を復元するための重要な情報源となります。

有孔虫はプランクトン生活をする浮遊性有孔虫と底生生活をする底生有孔虫に大別されます（図3）。従来から、生きている浮遊性有孔虫を採集して実験室内で飼育実験を行って殻に記録される酸素同位体比と水温や塩分との関係を明らかにする研究が欧米を中心に行われてきました。深海に生息する特定の底生有孔虫では、炭酸塩殻に海水の酸素同位体比が平衡で記録されること、あるいは、海水の酸素同位体比が一定のわずかなズレを保って有孔虫殻に記録されていることなどが明らかにされています。世界中の深海底の海洋コアを研究して得られた酸素同位体比の変化パターンを統合することによって、全球的な気候変動（氷床量変動）による酸素同位体比変動の標準曲線が報告されており、明瞭な氷期—間氷期サイクルが示されています（図4）。例えば、北西太平洋などの深海底から新たに海洋コアを採取して古環境変動を復元するには、ほとんど

の場合、有孔虫化石殻の酸素同位体比を分析し、氷期—間氷期サイクルを明らかにします。つまり、有孔虫の酸素同位体比は過去の気候変動の実態を明らかにする研究にとって必須の分析項目となっています。

しかし、大陸棚などの浅海域に生息する浅海性底生有孔虫については、これまで殻の酸素同位体比の検討はほとんどされておらず、その有効性は明らかになっていませんでした。いわば、浅海域は有孔虫酸素同位体比の空白域となっていたわけです。そこで、本研究では土佐湾をフィールドとして、試料採取と同位体分析を進めることで、浅海性底生有孔虫の酸素同位体比が古環境研究に使えるかどうか検証するための研究を行いました。

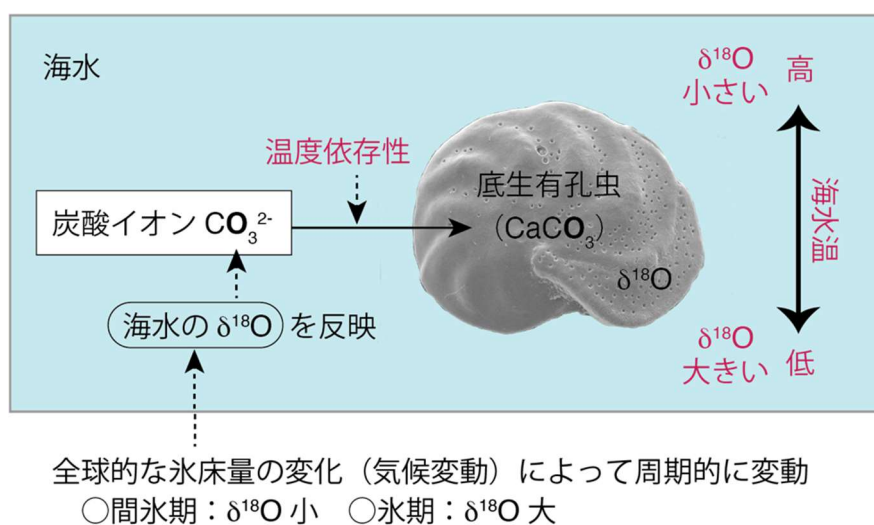


図2 底生有孔虫の炭酸カルシウム殻に記録される酸素同位体比と海水の酸素同位体比との関係を示す概念図

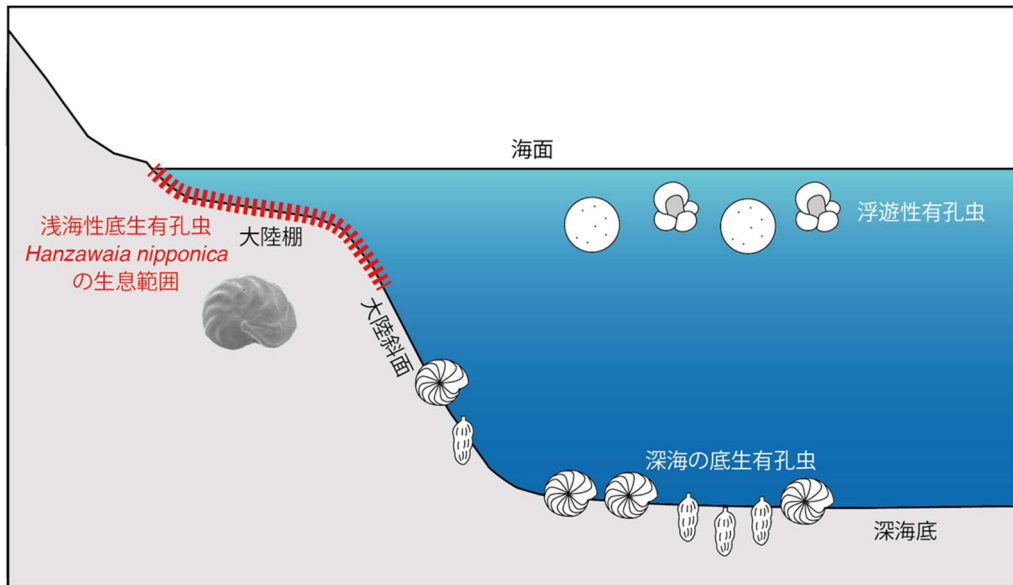


図3 海洋における有孔虫（浮遊性と底生）の生息域の概念図

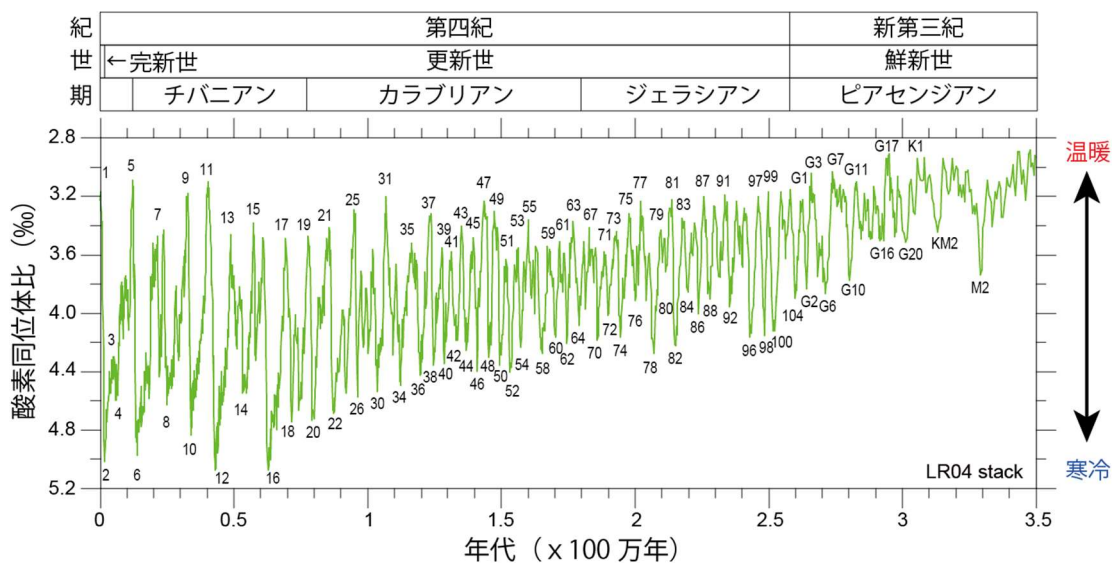


図4 深海の底生有孔虫の分析から求められた全球的な気候変動を示す過去350万年間の酸素同位体比の変動パターン (Lisiecki and Raymo, 2005を改編). 図中の数字は酸素同位体ステージを示し、奇数が間氷期、偶数が氷期を示している.

#### 4. 研究の内容と成果

高知大学の実習船「豊旗丸」を用いて、土佐湾の3地点（図5）から海底表層の堆積物を採集し、その中から浅海性底生有孔虫の一種 *Hanzawaia nipponica*（図1）を実顕顕微鏡下で拾い出しました。ローズベンガルによって染色された（生きていた）個体と染色されない化石個体をそれぞれ一定数回収し、安定同位体比質量分析計 (IsoPrime) を用いて酸素と炭素の同位体比を測定しました。また、土佐湾の3地点の海水を多筒採水器付き CTD 観測装置によって採集し、それらの酸素同位体比も測定しました。分析の結果、海水の酸素同位体比は水深の違いによる変化をほとんど示しませんでした。底生有孔虫 *H. nipponica* の酸素同位体比は水深が浅いと小さい値を示し、深くなればなるほど大きい値を示すことがわかりました（図6）。*H. nipponica* の酸素同位体比がどのような意味を持っているかを詳しく検討したところ、*H. nipponica* の酸素同位体比は3地点それぞれの海底付近の海水の酸素同位体比を基にして、海水温（年平均）の違いによる温度依存性を反映していることが判明しました。

既に報告されている有孔虫と海水の間の酸素同位体比の関係式と比較したところ、本研究によって明らかとなった土佐湾の底生有孔虫 *H. nipponica* の酸素同位体比と海水の酸素同位体比との関係は、浮遊性有孔虫 *Orbulina universa* の飼育実験によって求められた関係式 (Bemis et al., 1998) と高い確率で一致することが新たにわかりました。その関係式は次の通りです。

$$T (^{\circ}C) = 16.5 - 4.8(\delta^{18}O_c - (\delta^{18}O_{sw} - 0.27))$$

これらの研究内容により、浅海性底生有孔虫 *H. nipponica* の酸素同位体比が、過去の水温変化を復元する古水温計として利用できることが実証されました。

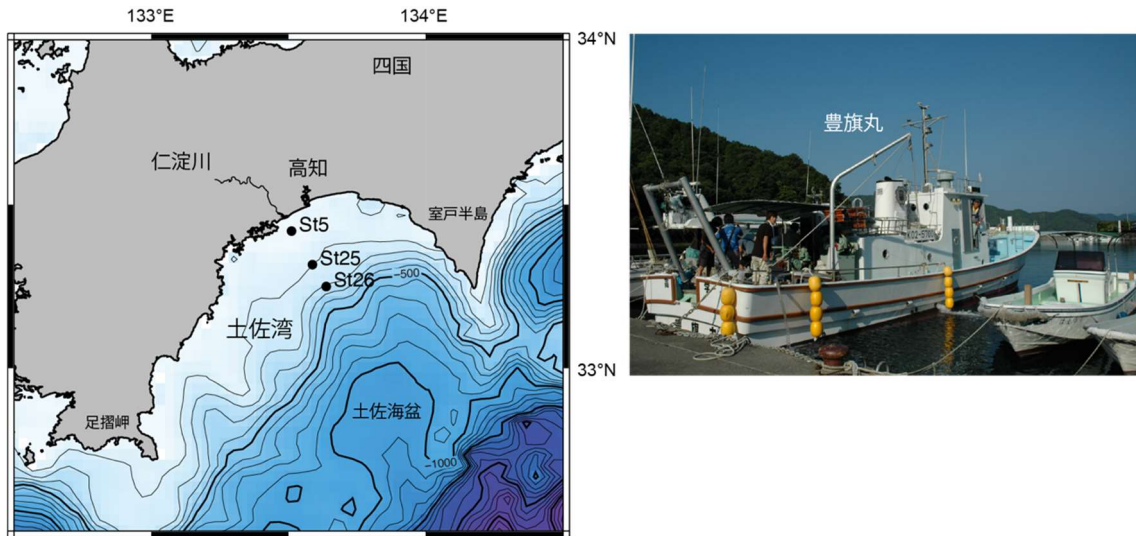


図5 土佐湾における調査地点 (St5, 25, 26) を示すマップおよび海洋観測と堆積物試料採取に利用した豊旗丸

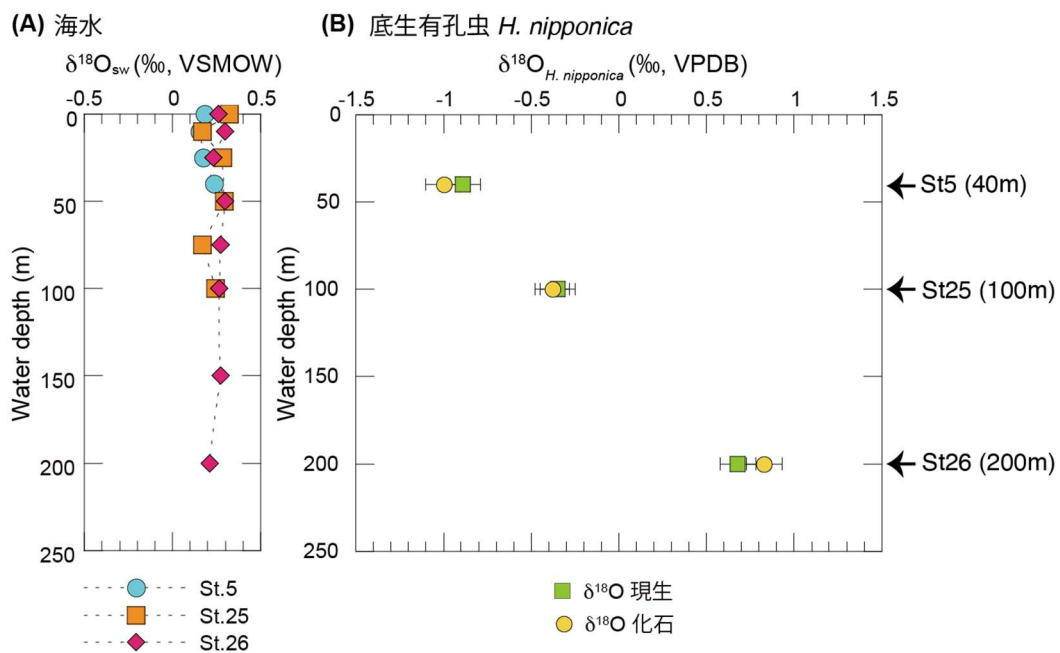


図6 土佐湾の3地点における (A) 海水の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ ) と (B) 底生有孔虫 *H. nipponica* の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}_{H. nipponica}$ ). 海水の $\delta^{18}\text{O}$ は水深の違いによる変化をほとんど示さないが、*H. nipponica*の $\delta^{18}\text{O}$ は水深が深いほど大きい値を示す.

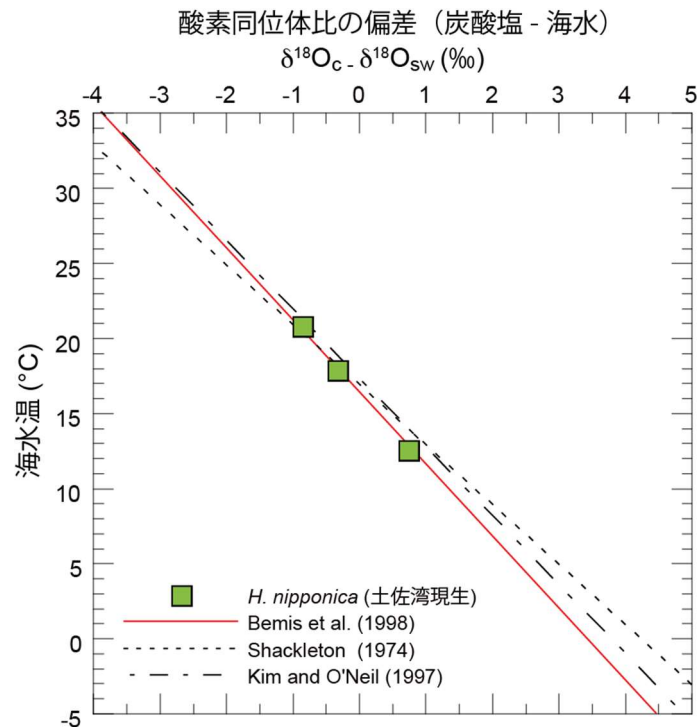


図7 土佐湾の底生有孔虫 *H. nipponica* の酸素同位体比と海水の酸素同位体比との偏差が海水温に依存して変化することを示すプロット

## 5. 成果の意義・今後の展望

- 大陸棚付近に生息する浅海性の底生有孔虫の酸素同位体平衡を実証した世界初の成果である。
- 底生有孔虫 *Hanzawaia nipponica* の炭酸塩殻には周囲の海水の酸素同位体比が温度依存性を保持した状態で記録される。
- 今後、他の浅海性底生有孔虫を用いた同様の研究が進展することで、世界の多様な海域における古水温計が検討されるきっかけとなる。
- 地質試料から *Hanzawaia nipponica* の化石殻を抽出して酸素同位体比を分析することで、黒潮域における過去の水温変動を復元解析できる。
- 例えば、室戸半島に露出する唐の浜層群穴内層（およそ 300 万年前の古土佐湾の地層）や他地域の黒潮影響下の堆積帯における古環境変動研究が今後大きく進展する。

## 6. 論文情報

○論文タイトル：

Oxygen isotope equilibrium of the shallow-water benthic foraminifer *Hanzawaia nipponica* Asano in Tosa Bay, southwest Japan

(南西日本土佐湾における浅海性底生有孔虫 *Hanzawaia nipponica* Asano の酸素同位体平衡)

DOI:10.3389/feart.2021.708578

○著者：

Minoru Ikehara (池原 実)<sup>1,2</sup>, Shigetaka Kita (北 重太)<sup>2</sup>, Shungo Kawagata (河潟 俊吾)<sup>3</sup>

1 高知大学海洋コア総合研究センター/Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

2 高知大学大学院総合人間自然科学研究科/Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University

3 横浜国立大学教育学部/College of Education, Yokohama National University

○掲載誌：

「Frontiers in Earth Science」に2021年9月20日付けで掲載されました。



## 【用語解説】

### ※1 酸素同位体比：

酸素 (O) には質量数の異なる3つの安定同位体 ( $^{16}\text{O}$ 、 $^{17}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}$ ) が存在する。その天然の存在割合は、 $^{16}\text{O}$ : 99.757%、 $^{17}\text{O}$ : 0.038%、 $^{18}\text{O}$ : 0.205%であり、自然界では圧倒的に  $^{16}\text{O}$  が多く存在する。存在量が多い  $^{16}\text{O}$  に対する  $^{18}\text{O}$  の存在割合を千分率 (パーミル) で表したものが酸素同位体比で、基準となる標準物質の酸素同位体比からどの程度存在比が異なるか (偏差) を示す  $\delta^{18}\text{O}$  として表現される。海水の酸素同位体比  $\delta^{18}\text{O}$  は、氷床の大きさや水温などによって変化することから、過去の気候変動を復元解析するための重要な情報源となっている。

### ※2 微化石：

粒子サイズが数 mm 以下で、顕微鏡を用いることで形態などの観察ができる微小な化石の総称で、いろいろな生物グループが含まれている。微化石の多くは、海底や湖底、陸上の堆積物から大量に産出することが多く、過去の環境の推定や地層の年代を決める際に役立つ。土佐湾の海底堆積物では、単細胞の真核生物である有孔虫、放散虫、珪藻、石灰質ナノ化石などが産出する。

### ※3 古水温計：

海水の水温と塩分は、海洋の循環および鉛直的な水塊構造を支配する物理パラメーターとして重要である。過去の海洋循環や水塊構造を復元し、その動態を解析するためには、古水温の情報が必要不可欠であり、地質試料から古水温を復元する手法を一般に古水温計と呼んでいる。古水温計としては、微化石の群集組成と海水温との関係に基づいた回帰式や、有孔虫やサンゴ骨格に含まれる微量元素の組成比を利用した古水温計、アルケノンと呼ばれる特定の有機分子の組成比に基づく古水温計などがある。

## お問い合わせ先

(研究内容及び研究成果について)

高知大学海洋コア総合研究センター

教授 池原 実

〒783-8502 高知県南国市物部乙 200

TEL: 088-864-6719, E-mail: ikehara@kochi-u.ac.jp

横浜国立大学教育学部

教授 河潟 俊吾

E-mail: kawagata@ynu.ac.jp