

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02017

研究課題名(和文)珪質海綿骨針の酸素同位体比プロキシの確立によるCCD以深古海洋学への挑戦

研究課題名(英文)Challenges to deep sea paleoceanography by establishing oxygen isotope proxy of siliceous sponge spicules

研究代表者

池原 実(Ikehara, Minoru)

高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・教授

研究者番号：90335919

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：北太平洋と極域海洋は炭酸塩の保存が悪いため有孔虫の酸素同位体比が利用できず、古海洋研究が立ち後れている。この問題を解消するため、珪質海綿骨針の酸素同位体比の有用性を検証した。現生の珪質海綿を用いてクリーニング法を検討した上で、沖縄東方の表層堆積物(水深533m-2679m)から取り出した海綿骨針の酸素同位体比を分析した。パラッキはあるもののそれらの酸素同位体比は現場の水温と一定の相関を示し、その関係は既報の温度依存性(-0.2‰/°C)とほぼ同じ傾向であることがわかった。海綿骨針の確保に時間を要したため、海洋コアへの応用分析には至らなかったが、継続して準備と分析を進め深海の古環境情報を抽出する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

深海堆積物に普遍的に存在する珪質海綿骨針の酸素同位体比の有用性について検証した結果、データはまだ少ないものの一定の温度依存性を保持していることが明らかとなった。北太平洋と極域海洋は有孔虫の産出が悪いため、珪質微化石の酸素同位体比への期待が大きい。我々のグループが確立した珪藻殻の酸素同位体比のルーチン分析に加えて、本研究によりベントスとしての海綿骨針の酸素同位体比分析ができる環境が整いつつある。炭酸塩補償深度CCDより深い海底がほとんどを占める北太平洋における古海洋変動研究にブレークスルーをもたらす端緒となる成果である。

研究成果の概要(英文)：Paleoceanographic research in the North Pacific and polar oceans has not progressed because foraminiferal oxygen isotope ratios are not available due to poor carbonate preservation. To overcome this problem, the usefulness of oxygen isotope ratios from siliceous sponge spicules was tested in this study. After checking the cleaning method using a modern siliceous sponge from Okinawa Trough, the oxygen isotope ratios of sponge spicules retrieved from surface sediments (533 m to 2679 m depth) east of Okinawa, Japan were analyzed. The oxygen isotope ratios showed a constant correlation with the water temperature at the site, although there was some variation, and the relationship was found to be almost the same as the previously reported temperature dependence (-0.2‰/°C). Although the analysis could not be applied to the marine core because it took time to secure the sponge spicules, we will continue preparation and analysis to extract palaeoenvironmental information from the deep sea.

研究分野：古海洋学

キーワード：海綿骨針 酸素同位体 深海 古海洋学 北太平洋

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 北太平洋と極域海洋は古海洋変動研究の巨大な空白域

海底コアから過去の環境変動を復元する際に利用する古海洋プロキシは、主に微化石(有孔虫、珪藻、放散虫等)の群集解析やそれらの化学分析などに基づくものが多い。中でも炭酸カルシウム( $\text{CaCO}_3$ )の殻を作る有孔虫の酸素同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ )は最強の古海洋プロキシとも呼ばれ、1950年代から欧米で進められた基礎実験によって海水と炭酸塩との間の温度依存性が明らかとなり(Emiliani, 1955; Shackleton, 1968 など) 物理化学プロセスに基づく古水温計として爆発的に利用されていった。1980年代以降、有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ は氷期・間氷期変動を復元するための必須データとなっており(例えば、Lisiecki and Raymo, 2005)、海底コアの年代モデルを構築する方法として酸素同位体層序はほぼ確立されている。また、新生代における全球気候変動(氷床量変動)を理解する上でも有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ は重要な情報を提供し続けている(例えば、Zachos, 2001)。

しかしながら、日本列島周辺を含む北太平洋における古海洋研究は古くから大きな問題に悩まされてきた。炭酸塩の溶解問題である。大西洋には炭酸塩が豊富に存在するのに対し、北太平洋の大部分の海底表層には炭酸塩が堆積していない。これは北大西洋を起点とする深層水循環の影響により、より古い深層水が存在する北太平洋では炭酸塩補償深度(CCD)が大西洋に比べて浅いため、炭酸塩が容易に溶解してしまうことに起因する。例えば、日本列島南方の四国海盆では、水深約3,000mを越える深海底には炭酸カルシウムはほとんど残されていない。このため古海洋研究者は、有孔虫が残されている水深の浅い陸棚斜面、九州パラオ海嶺やシャツキー海台などの海底の高まりで海底コアを採取し、北西太平洋の古海洋変動研究を進めてきた。しかし、炭酸塩堆積物が回収出来る海域は広大な北太平洋の中のごく一部に限られている。よって、北太平洋の大部分は、有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ による年代モデルが構築出来ない、かつ、微量元素組成比による古海洋プロキシ(Mg/Ca古水温計等)が使えないというダブルパンチによって、古海洋情報の空白地帯となっている。このことは、大西洋やインド洋に比べて北太平洋での古海洋変動研究が大きく立ち後れる要因となっている。また、有孔虫の保存が悪い極域海洋も同様の問題を抱えている。

### (2) 深海と極域海洋で有効な古海洋プロキシの開発が急務

有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ が利用できない海域における古海洋研究を進めるため、珪質微化石(珪藻、放散虫)の $\delta^{18}\text{O}$ 分析法の開発が古くから行われており、南大洋ではいくつかの報告がある(Labeyrie, 1974; Shemesh et al., 1992, 2002; Swann et al., 2008 ほか)。しかし、従来の分析法はいくつかの弱点がある。特に、堆積物から珪藻殻を分離する前処理に時間がかかること、堆積物中の珪酸塩鉱物粒子のコンタミネーションを完全に無くすることが出来ないこと、珪藻殻を種ごとに単離することが極めて難しいこと、危険物(消防法)に指定される五フッ化臭素を要することなどから、汎用的な分析法として普及するには至っていない。これらの諸問題を改善することを目指して、科研費・新学術領域研究「南極の海と氷床」の一環で珪質微化石の $\delta^{18}\text{O}$ 分析法の確立と古海洋研究への応用に関する研究に取り組んだ。新たに分析システムを高知大学に整備して一部改良することで分析試料量の微量化(従来法の1/10程度)を実現するとともに、セルソーターを利用した珪藻殻の形態別分離濃集法を確立することで、南大洋コアの珪藻 $\delta^{18}\text{O}$ 分析を可能とした(Ijiri et al., 2021, Kato et al., 2023)。本研究では、実用段階に至った珪質微化石 $\delta^{18}\text{O}$ 分析法を珪質海綿骨針に応用し、新たな深海古海洋プロキシとしての有用性を検討した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、珪質海綿骨針の酸素同位体比が深海古海洋プロキシとして有用であるか検証することである。珪質海綿(siliceous sponge)は固着性の底生動物であり、オパール骨針(spicule)から構成される骨格を持つ。世界中の海に広く生息し、特に南極海に多い。珪質海綿の骨針(sponge spicule)はCCD以深の海底にも堆積しており、深海における貴重な情報源として注目されている。例えば、ベーリング海の深海掘削コアU1341の鮮新世の解析例を報告した論文(Snellings et al., 2014)では、珪質海綿骨針の $\delta^{18}\text{O}$ が底生有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ スタックカーブ(Lisiecki and Raymo, 2005)と同様の変動パターンを示すことを明らかにし、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{sponge}}$ が炭酸塩の保存が悪い海域の海底コアにおける古環境データとして有用であると結論した。しかしながら、従来の分析法で必要となる多量の珪質海綿骨針を堆積物から抽出することは困難なため、Snellings 論文では珪藻と海綿骨針が混在するバルク珪酸塩微粒子の $\delta^{18}\text{O}$ を測定し、両者の存在比を仮定して $\delta^{18}\text{O}_{\text{sponge}}$ を求めている。よって、その $\delta^{18}\text{O}_{\text{sponge}}$ 値には不確実性が内包されている。また、現生の珪質海綿骨針の $\delta^{18}\text{O}$ の分析例は多くないが、海水との間に有意な温度依存性があることを報告した文献もある(Matheney & Knauth, 1989; Matteuzzo et al., 2013)。また、南大洋から回収した現生の珪質海綿骨針の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^{30}\text{Si}$ の分析が検討されている(Hendry et al., 2015)が、北西太平洋に

おける分析例は無い。東シナ海から回収された巨大な海綿骨針の地球化学分析から、珪質海綿骨針が新たな古環境アーカイブとして重要であることが指摘されている (Jochum et al., 2012)。よって、北西太平洋 (四国海盆周辺海域) から広域的かつ系統的に現生の珪質海綿骨針を回収して、その $\delta^{18}\text{O}$  と海水 $\delta^{18}\text{O}$  や海水温との関係を明確に議論し、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{sponge}}$  の古海洋プロキシとしての有用性を検証することが本研究の学術的独自性である。

### 3. 研究の方法

目的を達成するために、以下の3点に焦点を絞り共同研究を実施した。

- (1) 現生の珪質海綿骨針の $\delta^{18}\text{O}$  を測定するためのクリーニング法の検討
- (2) 東シナ海の現生海綿骨針 $\delta^{18}\text{O}$  と海水 $\delta^{18}\text{O}$  との関係の検討
- (3) 海綿骨針 $\delta^{18}\text{O}$  分析の海洋コアへの応用

主な分析試料は、東シナ海で採取された現生の珪質海綿、沖縄本島東方の表層堆積物から抽出した珪質海綿骨針、海洋コアから抽出した底生有孔虫と珪質海綿骨針である。高周波誘導加熱-質量分析計システム (Ijiri et al., 2014) と同位体分光装置を用いて、珪質海綿 $\delta^{18}\text{O}$  と海水 $\delta^{18}\text{O}$  を測定した。

### 4. 研究成果

#### (1) 珪質海綿のクリーニング法の検討

沖縄県宮古島北方の沖縄トラフ・池間海丘における岩石ドレージ観測 (St. D06; 水深 1234-1346m) によって回収された複数の現生珪質海綿を用いて、クリーニング法の違いによる $\delta^{18}\text{O}$  値を検討した。用いた試料は、長い針状 (毛髪状) の海綿 D06e、黒色を帯びた網目状の海綿 D06f、白っぽい網目状の海綿 D06j の3つである。クリーニング法は、ミリ Q 水での超音波洗浄のみ、過酸化水素水 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) での加温処理と塩酸 (HCl) 処理をした後にミリ Q 水で超音波洗浄したものの2種類である。の前処理法は珪藻 $\delta^{18}\text{O}$  分析のために用いている化学処理である。結果として、D06j はとではほぼ同じ $\delta^{18}\text{O}$  値 (+29.7‰、+30.1‰) を示したが、他の2試料は2‰を超える違いを示した。D06e ではの方が2.4‰小さい $\delta^{18}\text{O}$  値を示したが、D06f では逆に2.7‰大きい値を示した。特に、黒っぽい網目状海綿 D06f は $\text{H}_2\text{O}_2$  に激しく反応した。これはおそらく有機物が多く残っていたためと考えられ、現生海綿の同位体分析では $\text{H}_2\text{O}_2$  による有機物除去が必要不可欠であることを示唆する。一方で、有機物の付着がほとんど無視できる D06j においては、ミリ Q 水超音波洗浄で不純物を除去するだけで、珪質海綿 $\delta^{18}\text{O}$  の分析は問題ないと推測される。このことは、堆積物から抽出した珪質海綿骨針の $\delta^{18}\text{O}$  はミリ Q 水超音波洗浄のみで分析できることを示しているが、目視や顕微鏡レベルで分類できない炭酸塩の海綿骨針が混在している可能性がある場合は、化学処理も加えるべきであろう。

#### (2) 東シナ海の家綿骨針 $\delta^{18}\text{O}$ と海水 $\delta^{18}\text{O}$ との関係の検討

沖縄本島東方の陸棚斜面の海底表層堆積物 (10地点、水深 533m~2679m) から底生有孔虫と珪質海綿骨針を実体顕微鏡下で拾い出し、それぞれの $\delta^{18}\text{O}$  を測定した。珪質海綿骨針のクリーニングは、ミリ Q 水での超音波洗浄のみとした。分析の結果、底生有孔虫 (*Cibicidoides wuellerstorfi*, *Cibicidoides* sp.) の $\delta^{18}\text{O}$  は現場付近の海水温と負の相関を示すことが確認された。その傾向は Marchitto et al. (2014) によって示された温度依存性とほぼ同じであった。一方、珪質海綿骨針の $\delta^{18}\text{O}$  もバラツキはあるものの海水温と一定の相関を示すことが明らかとなった。その関係は既報の温度依存性 (-0.2‰/°C) (Moschen et al., 2005 など) を示す換算式に重なる傾向を示した。

#### (3) トカラ海峡東方の海洋コアへの海綿骨針 $\delta^{18}\text{O}$ 分析の応用 (準備)

四国海盆内および周辺海域において本研究に適用できる海洋コアとして、有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$  層序の確立が見込め、かつ、珪質海綿骨針が一定量含まれる可能性がある海域として選定したトカラ海峡東方の TSK-1PC を主な試料と設定した。コア全体のおよそ 300 層準から浮遊性有孔虫 3 種 (*Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globorotalia inflata*) を抽出し、質量分析計 IsoPrime にて炭素・酸素同位体比を測定した。また、TSK-1PC の 13 層準から浮遊性有孔虫の表層種 (*G. ruber*, *G. sacculifer*) を抽出し、放射性炭素年代を委託分析した。その結果、コア最下部 (14m) が約 6 万年前であり、平均堆積速度が約 24cm/1000 年であった。年代の逆転がなく、タービダイトなどのイベント堆積物も挟在しないことから、TSK-1PC は古海洋変動研究にとって極めて良質の海底コアであることがわかった。平行して、TSK-1PC および四国海盆表層堆積物からの珪質海綿骨針の抽出を行い $\delta^{18}\text{O}$  分析の準備を進めたが、珪質海綿骨針が微小かつ微量であるため、 $\delta^{18}\text{O}$  分析に必要な 200 $\mu\text{g}$  を確保できた層準は少なく、系統的な $\delta^{18}\text{O}$  分析の実施には至らなかった。今後、堆積物からの海綿骨針の拾い出し作業を断続的に継続し、海洋コアでの海綿骨針 $\delta^{18}\text{O}$  分析の応用研究を続ける計画である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	井尻 暁  (Ijiri Akira)  (70374212)	神戸大学・海事科学研究科・准教授    (14501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関