

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：82678

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00539

研究課題名(和文) 南北両極域のケイ質殻プランクトンがケイ素循環に果たす役割の解明

研究課題名(英文) Elucidation of the role of siliceous shell plankton on the silicon cycle in the north and south polar regions

研究代表者

池上 隆仁 (Ikenoue, Takahito)

公益財団法人海洋生物環境研究所・海生研中央研究所・研究員

研究者番号：70725051

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：南北両極域の環境変化が将来的に海洋生態系とケイ素循環にもたらす影響予測に資するため、放散虫群集のシリカ輸送量の定量方法の開発とケイ素安定同位体比の測定法の開発に取り組んだ。マイクロフォーカスX線CT(MXCT)により放散虫骨格の3次元モデルを構築することで、単純な幾何学モデルでは正確に再現することのできなかつた放散虫骨格の体積を計算し、季節海水域における放散虫由来のシリカ輸送量を推定した。また、二次イオン質量分析計(SHRIMP-IIe/AMC)を用いた手法により高い分析精度で放散虫1個体からのケイ素安定同位体比の測定が可能なることを示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られたシリカの定量法により、定量化の難しかった海洋沈降粒子中の生物源シリカを構成するケイ質殻プランクトンの内訳を明らかにできる。他の海域にも適用することで、ケイ質殻プランクトンのケイ素循環における役割の解明につながり、親生元素としてのケイ素の循環に新たな理解をもたらすと考えられる。また、本研究により、ケイ質殻プランクトン1個体からのケイ素安定同位体比測定のための重要な基礎情報を取得することができた。本研究成果をベースにした測定法を実用化することで、石灰質殻の堆積物の保存されにくい高緯度海域においても、ケイ質殻の堆積物を用いて過去の海洋環境の復元研究が可能となる。

研究成果の概要(英文)：In order to predict the future environmental changes on the marine ecosystem and the silicon cycle in the north and south polar regions, we investigated on the development of: (1) a method for quantifying the amount of silica transport due to radiolarians; and (2) a method for measuring the stable isotope ratio of silicon in radiolarian skeletons. We calculated the volumes of the radiolarian skeletons, which could not be accurately reproduced with a simple geometric model, by constructing a 3D model of the radiolarian skeleton using microfocus X-ray CT (MXCT); the amount of silica transport due to radiolarians in the seasonal sea ice area was estimated by employing the volumes of radiolarian skeletons. It is also suggested that the stable isotope ratio of silicon from one radiolarian skeleton can be measured with high analytical accuracy by the method using a secondary ion mass spectrometer (SHRIMP-IIe/AMC).

研究分野：生物海洋学、生物地球化学、微古生物学

キーワード：ケイ質殻プランクトン 物質循環 ケイ素安定同位体比 SHRIMP マイクロフォーカスX線CT 季節海水域 海洋生態系 放散虫

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

南北両極域は、産業革命以降の人為的二酸化炭素排出により温暖化と酸性化が世界で最も進行している海域であり、海洋生態系への影響が懸念されている。既に太平洋側北極海では、著しい海氷減少が海洋中の渦と循環を介した陸棚起源水の輸送に変化をもたらし、生物生産に変化をもたらす現象が認められる (Watanabe et al., 2014, *Nat. Commun.*, 5, 3950)。南大洋は、大気中から海洋への二酸化炭素吸収量が全海洋の吸収量の 40% を占める海域であり (Takahashi et al., 2002, *Deep-Sea Res. Pt. II*, 49, 1601-1622)、深層循環を通じて全球の栄養塩分布や海洋物質循環に中心的な役割を果たしている海域である。南北両極域の著しい環境変化が、海洋生態系の構造や親生元素の循環にどのような影響を及ぼすかを把握することは、人類が持続的に海洋資源を利用できるかどうかを知る上で喫緊の課題である。

ケイ質殻プランクトン (植物では主にケイ藻、動物では放散虫) は、海洋のケイ素 (Si) を取り込み、非晶質シリカ (二酸化ケイ素) の殻を形成する。現代の海洋表層の基礎生産は、植物プランクトンの中でもケイ藻がその半分以上を担っている。そのため、ケイ素は生物ポンプの重力沈降や食物連鎖の活性に関わる重要な元素であり、炭素・窒素を始めとする親生元素の運搬ならびに循環といった地球規模の物質循環に本質的な関わりを持っている。また、ケイ素には ^{28}Si 、 ^{29}Si 、 ^{30}Si の三つの安定同位体が存在し、ケイ質殻プランクトンが海水の溶存シリカを摂取し、シリカの殻を形成する際に同位体分別が生じる (De la Rocha et al., 1997, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 61, 5051-5056)。そのため、ケイ質殻プランクトンのケイ素安定同位体比 $\delta^{30}\text{Si}$ (^{28}Si との比) の変化はシリカ利用効率の変化といったケイ素循環についての情報を記録している可能性がある (Varela et al., 2004, *Global Biogeochem. Cy.*, 18, GB1047)。しかし、ケイ素の循環過程は、炭素や窒素などの親生元素に比べ、これまで定性的な議論にとどまってきた。全海洋沈降粒子束における生物源シリカ量の測定は、世界中で行われてきたが、ケイ素循環の定量的な把握には、ケイ質殻プランクトンの分類群ごとのシリカ輸送量の内訳を知る必要がある。特に、放散虫殻の形態は非常に多様性に富み、複雑な構造をしていることから、単純なモデルを用いた推定値以外に放散虫殻に含まれるシリカ量を推定する方法はなかった (例えば、Des Combes & Abelmann, 2009, *Deep-Sea Res. Pt. I*, 56, 757-771)。また、放散虫殻の $\delta^{30}\text{Si}$ 値についても、分析に供する試料量の問題や測定の難しさからほとんど研究例がなかった。

南北両極域の著しい環境変化は海洋生態系の構造に変化をもたらし、ケイ素循環の駆動に大きな影響をもたらす可能性がある。そこで、研究代表者は、ケイ質殻プランクトンがケイ素循環に果たす役割の理解のために、シリカ輸送量の内訳を定量的に把握するとともに、南北両極域のケイ質殻プランクトンによる溶存シリカの取り込みと環境との相互関係について定量的な指標の開発が必要と考えるに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、放散虫群集のケイ素循環における役割を定量評価し、ケイ素安定同位体比が意味するケイ素の挙動を解明することで、南北両極域の環境変化が将来的に海洋生態系とケイ素循環にもたらす影響予測に資することである。そのために、季節海氷域で採取した海洋沈降粒子試料、プランクトンネット試料を主な研究対象として、放散虫群集の 1) 群集組成と環境変化の対応関係解明、2) シリカ輸送量の定量方法の開発、3) ケイ素安定同位体比の測定手法の開発の 3 点について研究を進めた。また、放散虫と同じくケイ質の骨格を持つ浮遊性原生動物であるフェオダリアについてシリカ輸送量の定量化を試みた。

3. 研究の方法

(1) 放散虫群集組成と環境変化の対応関係解明

北極海で採取したプランクトンネット試料中の放散虫群集を、種ごとに計数し、計数の結果から、個体数密度 (海水 1m^3 当たりの個体数) を求め、個体数密度の水平・鉛直分布と環境データ (水温、塩分、溶存酸素濃度、クロロフィル *a* 濃度等) との比較を行った。

(2) 放散虫群集によるシリカ輸送量の定量方法の開発

放散虫はシリカの鉱物質の骨格を有するため、放散虫骨格の体積と密度が分かれば放散虫骨格の持つシリカの量 (SiO_2 量 mg) を計算することができる。塩酸と過酸化水素を用いて有機物を除去した海洋沈降粒子試料から電子天秤で重量測定が可能な大型の放散虫骨格を拾い出し、マイクロフォーカス X 線 CT (MXCT) 撮影を行った。X 線 CT 撮影から得られた画像の画素値のヒストグラムから放散虫骨格のシリカと空気との境界画素値を決め、その境界値における放散虫骨格の 3 次元モデルの体積を放散虫骨格の体積とした。放散虫骨格の 3 次元モデルの構築は 3D 画像解析ソフトウェア 「Molcer Plus」を用いて行った。放散虫骨格の密度は、X 線 CT 撮影により体積が既知の放散虫骨格を電子天秤で重量測定することで逆算した。放散虫骨格の体積に、密度と個体数フラックス (1 日 1m^2 あたりに沈降する個体数) を掛けることで、シリカ輸送量 (1 日に 1m^2 あたりに放散虫によって沈降するシリカ量) を定量化した。

(3) フェオダリアのシリカ輸送量の定量化

フェオダリアは放散虫と同じくケイ質の骨格を持つ浮遊性原生動物である。フェオダリアの

骨格には無数のデトリタス（珪藻、放散虫、有孔虫などのマイクロプランクトンの骨格や微細な有機物粒子）が付着しており（以下、付着粒子と呼ぶ）、脆弱な骨格を持つフェオダリアからデトリタスを完全に除去するのは困難であった。そのような個体についてはマイクロ X 線 CT 撮影によるシリカ量の測定が難しい。そこで、フェオダリア軟体部と付着粒子の有機炭素量からレッドフィールド比により有機物量を求め、フェオダリア群集全体の乾燥重量から有機物量を引くことで、間接的に付着物の無いフェオダリア骨格重量（シリカ量）を求めた。

(4) ケイ素安定同位体比の測定手法の開発

$\delta^{30}\text{Si}$ の分析には、国立極地研究所に設置されているマルチコレクター型の二次イオン質量分析計 (SHRIMP-IIe/AMC) を使用した。 $\delta^{30}\text{Si}$ の分析試験に使用する放散虫骨格は、IODP Expedition 323 でベーリング海パウワーズ海嶺 (54° N, 179° E、水深 2140m) において採取した柱状堆積物試料 (全長約 600m) のうち、年代が若く、放散虫群集が比較的豊富に産出する 26 万年前の層準からピックアップした。分析の前に塩酸と過酸化水素を用いて放散虫骨格に付着していた不純物を取り除いた。 $\delta^{30}\text{Si}$ 分析の標準試料として石英粒子標準試料 (NBS-28) を用いた。また、一試料中のデータのばらつきに対して一点の精度がどの程度かの目安とするため、縞状鉄鋼層中のシリカ部分やコーツァイトについても分析試験を実施した。

SHRIMP は試料に化学的な処理（試料を溶かして測定対象の元素をカラム分離する等）を施す必要がなく、固体のまま試料上の微小領域を質量分析することが可能である。しかし、分析に際しては薄片可や樹脂包埋など、分析項目及び分析対象に適した試料調整法を選択する必要がある。放散虫骨格を SHRIMP で測定した例はこれまでに無いため、以下の 2 つの試料調整方法で試験を行った。

- (1) 樹脂包埋：放散虫骨格を直径約 35mm のエポキシ樹脂製のディスク (図 1a) に埋め込んで研磨し、その研磨された断面を分析する。
- (2) アルミ両面テープの上に固定：直径約 35mm のエポキシ樹脂製のディスク (第 2 図 a) 上にアルミ両面テープを貼り、テープの上に放散虫骨格を固定 (図 1b) し、アルミ蒸着後、分析する。

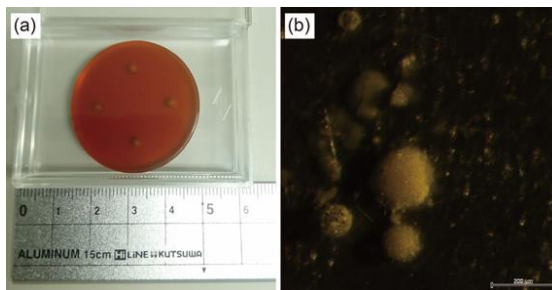


図 1 (a) 直径約 35mm のエポキシ樹脂製のディスク及び (b) アルミ両面テープの上に固定した放散虫骨格 (実体顕微鏡で撮影)

4. 研究成果

(1) 放散虫群集組成と環境変化の対応関係解明

太平洋側北極海の放散虫の分布を支配する環境要因について明らかにした。北極海の表層では夏の間、海水がとけて生じる融氷水とロシアや北アメリカからの河川水の流入によって低塩分層が形成される。低塩分層の中の淡水の内訳を塩分と全アルカリ度から計算し、放散虫の分布と比較すると融氷水由来の淡水が含まれる低塩分層の下の水塊により多くの放散虫が生息することが明らかになった。海氷由来の有機物は河川のものよりバクテリア等に利用されやすく、それらが水塊に混じることで、マイクロバイアルループが活発化し、そこで繁殖した微小プランクトンが放散虫の餌になっていると考えられた。低塩分層の下の水塊に多く生息する傾向は、北極海の放散虫の優占種である *Amphimelissa setosa* についても認められた。*A. setosa* は北太平洋の海底堆積物の約 100 万年前～8 万年前の層に化石種として産出するため、海底堆積物中の *A. setosa* の分布や増減を過去の融氷水の分布の指標として応用できる可能性がある。

(2) 放散虫群集によるシリカ輸送量の定量方法の開発

放散虫骨格のシリカの定量にはこれまで、1) 球や錐体を組み合わせた単純な幾何学的モデルを使用するか、2) わずかに存在するサイズの大きな放散虫種を電子天秤によって質量測定する以外に値を推定する方法はなかった。実際、放散虫の骨格は非常に複雑な構造をしているため、単純な幾何学的モデルで正確に再現することはできない。また、多くの場合、放散虫 1 個体の質量は電子天秤の質量測定限界である $0.1\mu\text{g}$ よりも軽いため、放散虫のシリカを定量することは困難であった。研究代表者は過去の研究のなかで、単純な幾何学的モデルを用いるよりも MXCT を用いることで正確に放散虫骨格の 3 次元モデルを表現可能であることを示した (Ikenoue et al., 2016, *Mar. Mic.* 124, 75-94)。しかし、

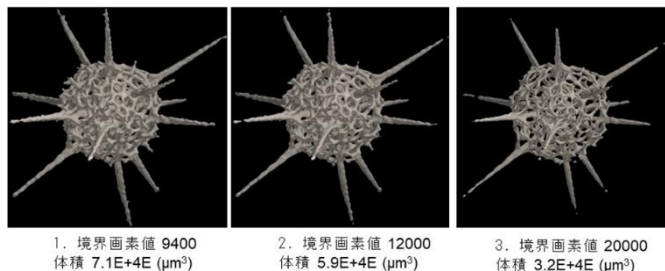


図 2 境界面素値の設定の違いによる放散虫骨格の 3 次元モデルと体積の変化

しかし、

本研究課題を進める中で、MXCT を用いた放散虫骨格のシリカ定量法には実用化に向けて以下のような解決すべき課題が見いだされた。

放散虫骨格の 3 次元モデルを構築するにあたって、予察的に 3 次元モデルの見た目から任意で放散虫の骨格（シリカ）と空気の境界画素値を設定したが、境界画素値をどこに設定するかにより表現される 3 次元モデルは変わる。境界画素値の設定の違いによる放散虫骨格の 3 次元モデルと体積の変化を図 2 に示す。図 2 の作例 1~3 は、MXCT 撮影により得られた 16bit (65535 階調) 画像において空気層との境界値を連続的に変化させたものである。境界層の閾値を上げてゆくことで低い画素値側から順に削られていくため、その結果、放散虫骨格が痩せていき、体積および表面積、密度の計測等に影響する。空気層との境界値がどこに位置するかは標本によって異なるため、放散虫骨格の体積をより正確に計測するためには境界画素値に対する厳密な検討が必要である。そこで、放散虫骨格の体積をより正確に計測するため、放散虫の骨格と空気の境界画素値について更なる検討を行った。

放散虫骨格の材質に近い規格化された石英球を使用して境界画素値の決定を試みた。図 3a は石英球と方解石の X 線透過像であり、図 3b は石英球と方解石の画素値のヒストグラム。図 3c は図 3b のヒストグラムを拡大したものである。正規分布を仮定することで、石英球と空気の境界画素値は X 線透過像のヒストグラムのパターンから決定することができる。測定の結果、石英球の最頻値は 20182、方解石の最頻値は 50490 であり、石英球と空気の境界画素値は 9472 と決定された。

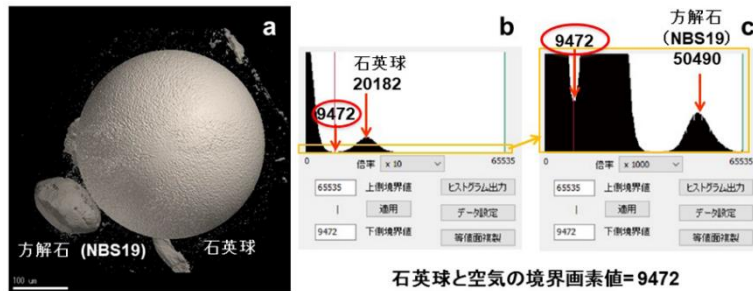
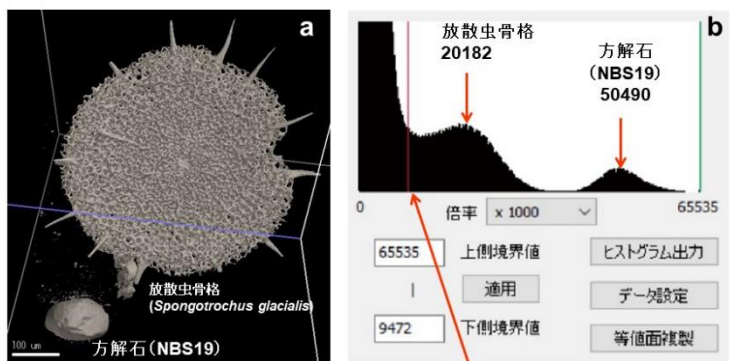


図 3 石英球と空気の境界画素値の決定

放散虫骨格の密度は化石については浮沈法を用いて計測した Hurd and Theyer (1977) の約 1.7 ~ 2.0 g/cm³ の値が知られている。しかし、シリカの密度約 2.0 は現生の放散虫骨格に適用できるかは不明で、実際に現生の放散虫骨格の密度を正確に測定した例はこれまでにない。北極海の放散虫群集の中では *Spongotrochus glacialis* が唯一電子天秤で質量測定可能である。*S. glacialis* の体積を MXCT 撮影により計算し、さらに電子天秤で質量を正確に測定することで、現生放散虫の骨格の密度を推定することが可能である。

現生放散虫の骨格の密度を推定するため、石英球（直径：350 μm、密度：2.2 g/cm³、Humanity Co., Ltd.）および *S. glacialis* の骨格を電子天秤（Mettler Toledo Model UM5）で秤量した。電子天秤は、国家計量標準にトレーサブルな銅で校正した。また、秤量は一定の環境下（温度：24.3°C~24.4°C、相対湿度：42%~45%、大気圧：1013.6 hPa~1016.0 hPa）で行った。ドリフト効果を減らすために秤量には ABA 法を用いた。ABA 法では、重量 A（サンプルテーブル）および B（サンプルテーブルおよびサンプル）を等しい時間間隔（20 秒）で秤量皿に交互に載せ降ろし、秤量結果を記録する。試料の重量は、上記の ABA サイクルによる一連の手順を、3 回繰り返すことで A と B の間の重量の差として求めた。

放散虫骨格と空気の境界画素値を決定するために、重量測定済みの *S. glacialis* の骨格を MXCT 測定に用いた。同じ試料を同じ設定（解像度、積算回数平均、レート、ビギニングモード、プロジェクションの統一）で MXCT 測定した場合でも、測定値（画素値）は X 線の出力変動による明るさ変化やフィラメントの膨張による X 線焦点位置変動、暗電流等といった測定条件の違いによって変化する。そのため、一定条件下での測定を保証するために、石英球測定時に使用した方解石を放散虫骨格と同時に測定した（図 4a）。同時測定した方解石の最頻値を固定することで *S. glacialis* 測定時の条件を石英球測定時の条件に揃えた（図 4b）。さらに石英球と空気の境界画素値を *S. glacialis* と空気の境界画素値として適用することで *S. glacialis* の 3 次元モデルの体積 0.003094 mm³ が得られ、*S. glacialis* の体積と重量測定の結果から放散虫骨格の密度は 1.9 g/cm³ であることが分かった。



骨格体積: 0.003094 mm³ (3次元モデル) 重量: 6.0 μg (電子天秤) 密度: 1.9 g/cm³ 石英球と空気の境界画素値9472を適用 方解石の最頻値を石英球測定時の値に固定することで石英球測定時の測定条件に揃えた。

図 4 放散虫骨格と空気の境界画素値の決定

上記の結果をもとに放散虫によるシリカ輸送量を見積も

った。その結果、北極海の海洋沈降粒子に含まれる生物源シリカに対する放散虫の寄与はほとんどの季節において10%未満であると推定された。また、従来の個体数をベースにした沈降量では明らかにできなかった、シリカ輸送において主要な運び手となる種を特定することができた。

(3) 海洋沈降粒子中のフェオダリアのシリカ輸送量の見積もり

北太平洋亜寒帯域で2014年6月1日～2015年7月6日に採取した海洋沈降粒子試料を用いて、ケイ酸塩の骨格を持つ浮遊性原生動物であるフェオダリア群集に由来するシリカの輸送量を明らかにした。その結果、フェオダリアのシリカ輸送量の観測期間中の平均値は、<1mm分画の沈降粒子のシリカ・フラックスの平均値の1.6%であった。また、シリカの輸送量を見積もる過程で、フェオダリアを解剖し、ケイ酸塩骨格と軟体部に分けて有機炭素量を測定することで、フェオダリア由来の有機炭素量の直接測定を初めて実現した。

(4) 放散虫骨格のケイ素安定同位体比の測定手法の開発

放散虫骨格を樹脂に包埋して研磨する試料調整の試験を重ねたところ、高確率で放散虫骨格を擦り落としてしまうことが分かった。そのため、放散虫をアルミ両面テープの上に固定する方法で試験を進めた。

アルミ両面テープを貼る土台のエポキシ樹脂ディスクは、脱ガスの少ないペトロポキシ154を用いて直径約35mm×厚み約5mmのものを作成した。ディスクの裏面にはSHRIMP分析用試料ホルダーにセットするためのねじ穴4つを空け、表面は可能な限り凹凸のない平滑面にした。また、真空中での放電防止のために周縁部は研磨によって角を落とした。

土台の表面に直径35mmより少し小さい32mm円に切ったアルミ両面テープを貼り、さらに、試料ディスク表面の導通を確保するため、ディスクの縁にアルミ両面テープ(幅狭タイプ)を貼った。周縁部における同位体分別効果を避けるため、表面のアルミ両面テープへの放散虫のマウントは直径20～25mm円内に収めることとした。放散虫骨格のピックアップ及びマウントには、コンタミネーションを避けるため、先端部分を取替え式にしたプラスチック棒を使用した。

SHRIMPによる $\delta^{30}\text{Si}$ 分析には一次イオン種として O_2 を使用し、一次イオン強度は約3.0nAで試験を実施した。放散虫骨格以外の分析結果を図5に示す。

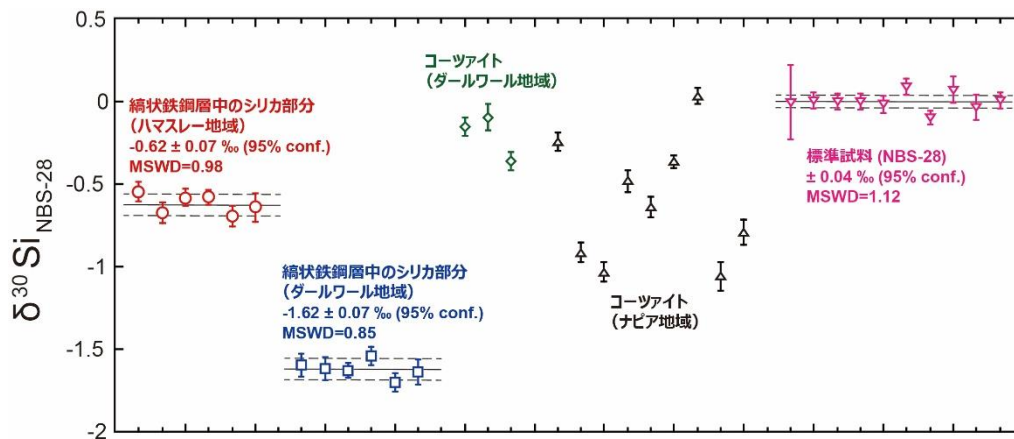


図5 SHRIMPによる石英標準試料及びケイ酸塩鉱物の $\delta^{30}\text{Si}$ の分析結果

NBS28の $\delta^{30}\text{Si}$ の平均値と標準偏差は、 $0 \pm 0.04\text{‰}$ (95%信頼区間)であった。縞状鉄鋼層中のシリカ部分の $\delta^{30}\text{Si}$ については、それぞれハマスレー地域のものが $-0.62 \pm 0.07\text{‰}$ 、ダールワール地域のものが $-1.62 \pm 0.07\text{‰}$ であった。コートについては全体のばらつきが大きいため、平均を計算しなかった。MSWD (Mean Square of Weighted Deviates, 加重偏差の2乗の平均)はいずれの試料もほぼ1であり、高い精度で分析できていることが確認された。マウントした放散虫骨格のうち図6に示す2個体(RDL-1とRDL-2)について $\delta^{30}\text{Si}$ を測定したところ、RDL-1が $-12.66 \pm 0.12\text{‰}$ 、RDL-2が $-2.45 \pm 0.25\text{‰}$ であった。RDL-1の値はRDL-2に比べて極端に低い結果となったが、これはサンプル表面凹凸のためイオン化の際に分別が起こったためと考えられた。これまでの試験から高い分析精度で放散虫1個体からの $\delta^{30}\text{Si}$ の測定が可能なが示唆された。

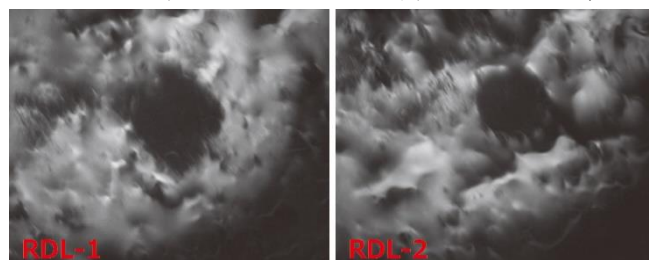


図6 $\delta^{30}\text{Si}$ を測定後の放散虫骨格

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takahito Ikenoue, Kjell R. Bjorklund, Amane Fujiwara, Mario Uchimiya, Katsunori Kimoto, Naomi Harada, Shigeto Nishino	4. 巻 42
2. 論文標題 Horizontal and vertical distribution of polycystine radiolarians in the western Arctic Ocean during the late summers of 2013 and 2015	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polar Biology	6. 最初と最後の頁 285 ~ 305
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00300-018-2421-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ikenoue Takahito, Kimoto Katsunori, Okazaki Yusuke, Sato Miyako, Honda Makio C., Takahashi Kozo, Harada Naomi, Fujiki Tetsuichi	4. 巻 33
2. 論文標題 Phaeodaria: An Important Carrier of Particulate Organic Carbon in the Mesopelagic Twilight Zone of the North Pacific Ocean	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Global Biogeochemical Cycles	6. 最初と最後の頁 1146 ~ 1160
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2019GB006258	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 2件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Takahito Ikenoue, Katsunori Kimoto, Yuriko Nakamura, Naoki Kuramoto, Masaaki Ueki, Yuichi Ota, Kjell R. Bjorklund, Jonaotaro Onodera, and Naomi Harada
2. 発表標題 Quantitative determination of silica content in siliceous shell plankton using Microfocus X-ray CT
3. 学会等名 The Ninth Symposium on Polar Science（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 日本海洋学会教育問題研究会（安中 さやか、川合 美千代、大林 由美子、池上 隆仁）
2. 発表標題 「海」には謎がいっぱい 海の謎を探る研究あれこれ
3. 学会等名 女子中高生夏の学校2018-科学・技術・人との出会い-
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahito Ikenoue, Katsunori Kimoto, Jonaotaro Onodera, Kjell R. Bjorklund, Eiji Watanabe, Makio C. Honda, Naomi Harada, Motoyo Itoh, Shigeto Nishino, and Takashi Kikuchi
2. 発表標題 A new approach to partition the biogenic silica production using Microfocus X-ray CT: radiolarian silica flux in the Chukchi Borderland
3. 学会等名 InterRad XV (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池上 隆仁, 木元 克典, 岡崎 裕典, 佐藤 都, 本多 牧生, 高橋 孝三, 原田 尚美, 藤木 徹一
2. 発表標題 浮遊性原生動物フェオダリアが海洋炭素循環に果たす役割の定量評価
3. 学会等名 日本地球化学会第66回年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池上 隆仁, 木元 克典, 岡崎 裕典, 佐藤 都, 本多 牧生, 高橋 孝三, 原田 尚美, 藤木 徹一
2. 発表標題 大型海洋沈降粒子が深層への有機炭素輸送に果たす役割の定量評価
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会 白鳳丸周年記念世界一周航海 (HEAW30) へ向けた研究戦略会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池原 実, 大島 慶一郎, 板木 拓也, 佐藤 暢, 藤井 昌和, 川合 美千代, 松井 浩紀, 池上 隆仁, 白鳳丸KH, 乗船研究者一同
2. 発表標題 南大洋インド洋区における海洋地球科学総合観測: 白鳳丸KH-19-1次航海 成果速報
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究者データベースresearchmapにより作成した研究紹介ページ https://researchmap.jp/ikesun/
池上隆仁 (2019). 海底に降り積もるプランクトンの骨格. 海の豆知識, 78. http://www.kaiseiken.or.jp/umimame/lib/umimame_78.pdf
池上隆仁 (2019). 微化石は過去の情報が詰まったタイムカプセル. 海の豆知識, 79. http://www.kaiseiken.or.jp/umimame/lib/umimame_79.pdf
池上隆仁 (2019). 白鳳丸南極航海記. 海生研ニュース, 142, 8-9. https://www.kaiseiken.or.jp/publish/news/lib/news142.pdf
池上隆仁 (2019). 放散虫 ~太古の昔から次々と生み出される造形美. 海の豆知識, 80. http://www.kaiseiken.or.jp/umimame/lib/umimame_80.pdf
池上隆仁 (2019). 放散虫 ~地質学に革命をもたらしたプランクトン. 海の豆知識, 81. http://www.kaiseiken.or.jp/umimame/lib/umimame_81.pdf
池上隆仁 (2020). フェオダリア~CO2を深海へ運ぶ陰の立役者. 海の豆知識, 82. http://www.kaiseiken.or.jp/umimame/lib/umimame_82.pdf

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	木元 克典 (Kimoto Katsunori) (40359162)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・主任技術研究員 (82706)	