

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：16401

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14030

研究課題名（和文）南大洋の珪藻 *F. kerguelensis* の形態に注目した古環境指標の確立研究課題名（英文）Paleoenvironmental proxy development focusing on the morphology of the Southern Ocean diatom *F. kerguelensis*.

研究代表者

加藤 悠爾 (Kato, Yuji)

高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・講師

研究者番号：80863406

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：南大洋インド洋セクターにおける一連の研究航海（白鳳丸KH-19-1やKH-20-1など）で採取された海水プランクトン試料および表層堆積物試料の分析を行なった（合計約30地点）。また、2023年度の分析では、スライドスキャナを活用した大量の標本画像取得を行った。その結果、現生海水プランクトン試料において *F. kerguelensis* の殻面積が南極前線付近で最大となることなどが明らかになり、かつ、表層堆積物試料（化石）においても同様な傾向が見られた。これにより *F. kerguelensis* 化石の殻形態が、地質学的過去における海洋フロントの変動を調べるうえで有用であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南大洋は、南極大陸を周回する世界最大の海流である南極周極流（ACC）の成立などを通して地球規模の気候変動を駆動してきた。そのため、南大洋の古環境復元とリわけ「過去のACCがどのように振る舞ったか」を知ることは気候システムの理解さらには気候将来予測のためにも必須の課題である。従来手法では長期・連続的にACCの挙動を復元することは難しかったが、本研究を通じて、南大洋堆積物中に連続的に多産する珪藻である *F. kerguelensis* の形態変化から過去のACC南限位置の情報を取り出すことができる可能性が示されたため、長期的かつ連続的なACC全体の変動史にアプローチ可能となった。

研究成果の概要（英文）：Seawater plankton samples and surface sediment samples collected during a series of scientific cruises in the Indian Ocean sector of the Southern Ocean (e.g., R/V Hakuho-Maru KH-19-1 and KH-20-1) were analyzed. In addition, we successfully acquired a large number of specimen images by utilizing a slide scanner during the analysis in FY2023. As a result, it was found that the valve area of *F. kerguelensis* was the largest near the Antarctic Polar Front in the seawater plankton samples, and a similar trend was observed in the surface sediment (fossils) samples. This suggests that the valve morphology of *F. kerguelensis* fossils may be useful for reconstructing the variability of the oceanic front in the geological past.

研究分野：微古生物学

キーワード：珪藻 南大洋 形態 古環境復元

### 1. 研究開始当初の背景

南大洋は、南極大陸を周回する世界最大の海流：南極周極流（Antarctic Circumpolar Current: ACC）の成立などを通じて地球規模の気候変動を駆動してきた。そのため、南大洋の古環境復元とりわけ「過去の ACC がどのように振る舞ったか」を知ることは気候システムの理解や将来予測のためにも必須の課題である。南大洋の海底堆積物には珪藻化石が多産するため、これが古環境復元の手がかりとして広く用いられてきた。このうち南大洋全域に広く分布する珪藻 *Fragilariopsis kerguelensis* (図1) は、珪藻化石群集の中でも特に優先する重要種であるが、その分布特性 (i.e. どこでも多産する) ゆえに、群集組成を用いる従来手法では *F. kerguelensis* から十分に古環境情報を引き出すことができなかった。

近年、いくつかの研究で *F. kerguelensis* の形態変化と周辺環境の関係が調べられ、南大洋の海洋フロントを追跡する新しい指標としてのポテンシャルが提示された (Cortese and Gersonde, 2007; Cortese et al., 2012; Kloster et al., 2018; Glemser et al., 2019)。これを古環境指標として実用化するには、現生海水・表層堆積物の両者を用いた議論・検証が必要であるが (e.g. 実際に地質時代に遡って古環境復元を行う場合、化石化過程での溶解・破壊の影響の有無についても考慮する必要がある)、現状ではそのような研究例はなく、新たな古環境指標の確立には至っていない。

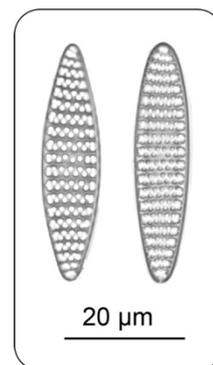


図1：南大洋で多産する珪藻 *F. kerguelensis*。

### 2. 研究の目的

上述の問題点をクリアして *F. kerguelensis* の形態情報を新たな古環境指標へ昇華させることを研究目的に据える。研究船「白鳳丸」による一連の研究航海では、南大洋インド洋区において ACC を緯度方向に横切るように海水・堆積物試料が採取されており、これらの試料を用いて、*F. kerguelensis* の形態の地理分布などを分析・検討する。海水試料と堆積物試料の両者を揃えた分析、および、珪藻殻の網羅的な形態測定を南大洋インド洋区で行うことは初めての試みである。

### 3. 研究の方法

#### ・試料

試料の一覧を表1に示す。本研究では、研究船「白鳳丸」による南大洋インド洋区での研究航海 (KH-07-4; KH-16-1; KH-19-1; KH-20-1) で採取された海水試料、表層堆積物試料を用いた (図2)。海水試料については、船上にて2種類の目合の篩 (20 μm および 63 μm) を用いて濾過を行っており、本研究では 20–63 μm のフラクションを用いた。これらの海水・表層堆積物試料は、薬品処理 (過酸化水素水および塩酸による有機物・炭酸塩除去) を施したうえで、プレパラートに封入し、分析に供した。

表1：本研究で用いた試料とその採取位置

Type	Location	Longitude	Latitude
Seawater	420	44.6	-43.0
	424	44.5	-47.5
	425	43.2	-50.2
	427	41.4	-52.3
	429	45.1	-55.3
	430	46.5	-58.0
	432	53.7	-62.2
	435	62.0	-63.2
	442	67.5	-67.0
	444	73.7	-63.7
	446	81.8	-59.0
	447	85.4	-56.7
	449	92.4	-52.9
	451	100.0	-49.6
	452	101.9	-47.5
	454	104.8	-44.2
	456	109.2	-39.3
	457	110.8	-37.3
	611	36.4	-56.9
	613	33.6	-60.6
615	34.9	-65.6	
618	46.4	-65.4	
622	62.8	-65.9	
624		67.7	-66.6
Surface sediment	KH-07-4-L3_S1-4_GUR-1MC_0cm	33.4	-66.3
	KH-16-1_COR-3AC_0-1cm	41.6	-51.5
	KH-20-1_PC01_AC02_0-1cm	36.0	-57.5

#### ・珪藻群集

珪藻の地理分布を把握するため、各試料について光学顕微鏡を用いて 300~400 殻程度の計数を行った。

#### ・ *F. kerguelensis* の形態

産出した *F. kerguelensis* を光学顕微鏡 (1~2 年目) あるいはスライドスキャナ [NanoZoomer, 浜松ホトニクス] (3 年目) で撮像した。その後、画像解析ソフト SHERPA (Kloster et al., 2014) を用いて、標本のみを切り出し、画像のピクセル数をもとに形態データ (殻面積および *rectangularity*: 標本に外接する長方形の面積に対する殻面積の比) を取得した (図3)。これにより *F. kerguelensis* の殻面積や形態が、海域 (緯度) ごとにどのように異なるのか解明する。

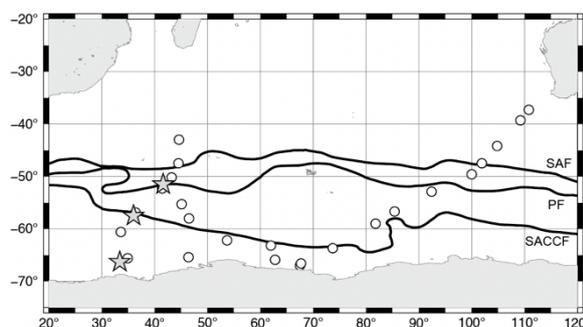


図2：本研究で用いた試料の採取地点。SAF：亜南極前線、PF：南極前線、SACCF：南極周極流南限前線 (○：海水試料, ★：表層堆積物)。

#### 4. 研究成果

現生海水プランクトン試料において *F. kerguelensis* の平均殻面積が南極前線 (Polar Front) 付近で最大となることがわかった (図 4a)。また, Rectangularity は ACC 南限よりも南の海域で大きな値を取ることがわかった (図 4b)。こうした傾向は, 表層堆積物試料 (*F. kerguelensis* の化石) においても同様に見られており, “*F. kerguelensis* 群集” の形態分布が化石化を経ても保存されていることも明らかになった (図 4a-c)。

これらの結果より, *F. kerguelensis* の殻形態は, 地質学的過去における ACC を構成する海洋フロント (PF: Polar Front および SACCF: Southern ACC Front) の変動を追跡するうえで有益であることが示唆された。

#### ・コメント

本研究を通じて, 南大洋堆積物中に連続的に多産する珪藻である *F. kerguelensis* の形態変化から過去の ACC 南限位置の情報を取り出すことができる可能性が示された。一方, ACC 北限位置については, 亜熱帯珪藻 *Thalassionema nitzschioides* var. *parva* (ACC より北側に多く分布する珪藻種) の産出量に基づく復元法が提示されている (Kato, 2020)。これら二つの手法を組み合わせることで, ACC 全体の変動史を詳細に解明できるようになると期待できる。

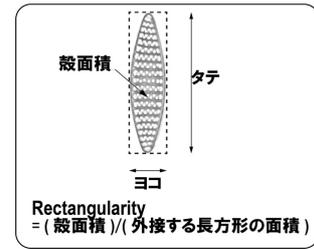


図 3 : *F. kerguelensis* への形態測定学的アプローチ。

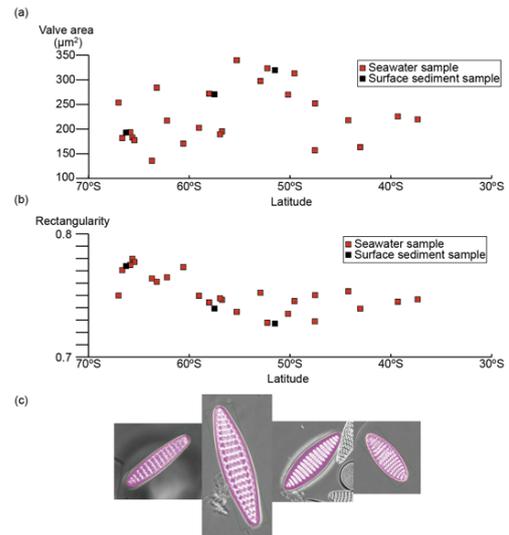


図 4 : *F. kerguelensis* の形態解析の結果. (a): 平均殻面積, (b) Rectangularity の地点ごとの平均, (c): 各緯度帯での典型的な標本写真。

#### 文献

- Cortese, G., Gersonde, R. (2007) Morphometric variability in the diatom *Fragilariopsis kerguelensis*: Implications for Southern Ocean paleoceanography. *Earth and Planetary Science Letters*, **257**, 526–544. doi:10.1016/j.epsl.2007.03.021
- Cortese, G., Gersonde, R., Maschner, K., Medley, P. (2012) Glacial-interglacial size variability in the diatom *Fragilariopsis kerguelensis*: Possible iron/dust controls? *Paleoceanography*, **27**, PA1208. doi:10.1029/2011PA002187
- Glemser, B., Kloster, M., Esper, O., Eggers, S.L., Kauer, G., Beszteri, B. (2019) Biogeographic differentiation between two morphotypes of the Southern Ocean diatom *Fragilariopsis kerguelensis*. *Polar Biology*, **42**, 1369–1376. doi: /10.1007/s00300-019-02525-0
- Kato, Y. (2020) Diatom-based reconstruction of the Subantarctic Front migrations during the late Miocene and Pliocene. *Marine Micropaleontology*, **160**, 101918. doi:10.1016/j.marmicro.2020.101908
- Kloster, M., Kauer, G., Beszteri, B. (2014): SHERPA: an image segmentation and outline feature extraction tool for diatoms and other objects. *BMC Bioinformatics*, **15**, 218.
- Kloster, M., Kauer, G., Esper, O., Fuchs, N., Beszteri, B. (2018) Morphometry of the diatom *Fragilariopsis kerguelensis* from Southern Ocean sediment: High-throughput measurements show second morphotype occurring during glacials. *Marine Micropaleontology*, **143**, 70–79. doi:10.1016/j.marmicro.2018.07.002

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kato Y., Hernandez-Almeida, I., Perez, L.F.	4. 巻 43
2. 論文標題 Diatom and radiolarian biostratigraphy in the Pliocene sequence of ODP Site 697 (Jane Basin, Atlantic sector of the Southern Ocean)	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Micropalaeontology	6. 最初と最後の頁 93 ~ 119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/jm-43-93-2024	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 該当する

1. 著者名 Kato, Y., Morono, Y., Ijiri, A., Terada, T., Ikehara, M.	4. 巻 10
2. 論文標題 A simple method for taxon-specific purification of diatom frustules from ocean sediments using a cell sorter	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-023-00543-5	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 -

1. 著者名 Ijiri, A., Izumi, T., Morono, Y., Kato, Y., Terada, T., Ikehara, M.	4. 巻 5
2. 論文標題 Purification of disc-shaped diatoms from the Southern Ocean sediment by a cell sorter to obtain an accurate oxygen isotope record	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 2792-2806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.1c00201	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 加藤 悠爾, 諸野 祐樹, 井尻 暁, 寺田 武志, 池原 実
2. 発表標題 海底堆積物に産出する珪藻化石のタクサごとの分離手法の開発
3. 学会等名 令和5年度 高知大学 海洋コア国際研究所 共同利用・共同研究成果発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 加藤 悠爾, 諸野 祐樹, 井尻 暁, 寺田 武志, 池原 実
2. 発表標題 珪藻殻化学分析の高精度化に向けたタクサゴとの分離手法の確立
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ijiri, A., Izumi, T., Morono, Y., Kato, Y., Terada, T., Ikehara, M.
2. 発表標題 Purification of disc-shaped diatoms from Southern Ocean sediment by cell sorter and their oxygen isotope analysis
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井尻 暁, 泉 孟, 諸野 祐樹, 加藤 悠爾, 寺田武志, 池原 実
2. 発表標題 セルソーターを用いた中心型珪殻の完全分離による珪藻殻酸素同位体指標の高精度化
3. 学会等名 2021年度日本地球化学会第68回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 悠爾, 諸野 祐樹, 井尻 暁, 寺田 武志, 池原 実
2. 発表標題 セルソーターを用いた海底堆積物中に産する珪藻化石のタクサゴとの分離
3. 学会等名 日本珪藻学会第41回研究集会
4. 発表年 2021年

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------