

第 61 次日本南極地域観測隊における「しらせ」を活用した採泥調査

板木拓也¹・徳田悠希²・石輪健樹^{3,4*}・佐々木聡史⁵・菅沼悠介^{3,4}・青木 茂⁶

Sedimentological survey by the icebreaker *Shirase* during JARE-61

Takuya Itaki¹, Yuki Tokuda², Takeshige Ishiwa^{3,4*}, Satoshi Sasaki⁵, Yusuke Suganuma^{3,4}, and Shigeru Aoki⁶

(2024 年 1 月 29 日受付; 2024 年 4 月 19 日受理)

Abstract: The first systematic sediment survey by the icebreaker *Shirase* (AGB-5003) was conducted during the 61st Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-61). Sediment samples were obtained from a total of 28 sites in 3 areas of the Totten Glacier front—Dalton polynya, Lützow-Holm Bay and Cape Darnley polynya using a large-bore gravity corer and GSJ-type K-grab sampler. In this paper, details of the survey operation are described as a reference for the future experience. In addition, preliminary results of the obtained sediments are reported as a fundamental information for future analysis using these samples.

Keywords: Continental shelf, Sediment core, Surface sediment, Paleoenvironment, Paleoceanography, Benthos

要旨: 第 61 次日本南極地域観測隊 (JARE-61) では、南極観測船「しらせ」(AGB-5003) による初の本格的な採泥観測が行われた。堆積物試料は、大口径グラビティコーアラー及び GSJ 型木下式グラブ採泥器を用い、トッテン氷河前縁〜ダルトン・ポリニア海域、リュツォ・ホルム湾、ケーブダンレー・ポリニアの 3 海域の計 28 地点において採取された。本論では、今後の調査の参考としてオペレーションの詳細を記録するとともに、これらの試料を用いた今後の分析の基礎情報として、得られた堆積物の予察観察結果を報告する。

¹ 産業技術総合研究所地質調査総合センター。Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-8560.

² 公立鳥取環境大学環境学部。Faculty of Environmental Studies, Tottori University of Environmental Studies, 1-1-1 Wakabadai-kita, Tottori, Tottori 689-1111.

³ 情報・システム研究機構国立極地研究所。National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, 10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

⁴ 総合研究大学院大学先端学術院先端学術専攻極域科学コース。Polar Science Program, Graduate Institute for Advanced Studies, SOKENDAI, 10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

⁵ 島根大学総合理工学研究所。Interdisciplinary Department of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu-cho, Matsue, Shimane 690-8504. (現・群馬大学共同教育学部。Cooperative Faculty of Education, Gunma University, 4-2 Aramaki-cho, Maebashi, Gunma 371-8510.)

⁶ 北海道大学低温科学研究所。Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, N19W8, Kita-ku Sapporo, Hokkaido 060-0819.

* Corresponding author. E-mail: ishiwa.takeshige@nipr.ac.jp

キーワード： 大陸棚, 海底コア, 表層堆積物, 古環境, 古海洋, 底生生物

1. はじめに

第61次日本南極地域観測隊(JARE-61: The 61st Japanese Antarctic Research Expedition)では、第Ⅸ期重点研究観測メインテーマ「南極から迫る地球システム変動」の一環として、南極観測船「しらせ」からの海底堆積物の採泥調査が実施された。1956年に日本の南極地域観測が始まって以来、とくに地形・地質分野において海底堆積物を用いた過去の氷床変動研究の展開は大きな希望であった。しかし、技術的な困難等もあり南極観測船による本格的な採泥の観測の例は乏しく、これまでの記録を紐解いても、「宗谷」や「ふじ」によるドレッジ調査や小型グラビティーコアラーを用いて海底表層付近を採取する例が見受けられる程度であった(表1)。しかし、現在の2代目「しらせ」は、高い砕氷能力に加えてマルチビーム音響測深器や浅層地層探査装置(SBP: Sub-Bottom Profiler)を装備しており、海水域における採泥観測にも活用が期待されていた。このような状況下で、第Ⅸ期重点研究観測では、サブテーマ「氷床・海氷縁辺域の総合観測から迫る大気—氷床—海洋の相互作用」と「地球システム変動の解明を目指す南極古環境復元」が連携し、入念な準備ののちJARE-61において初の「しらせ」による本格的な採泥観測が実現した。そして、トッテン氷河近傍海域、リュツォ・ホルム湾、ケープダンレー沖の3海域(図1)において得られた海底堆積物試料を用いて、過去の氷河・棚氷の消長や大陸棚での海洋環境の動態を理解することを目的とした研究が開始された。本稿では、今後、南極観測船での採泥観測を行う際の参考としてJARE-61で実施した運用手順に関する詳細を記録するとともに、今後の調査研究の基礎資料として採取された海底堆積物試料の概要を報告する。

2. 採泥器と観測手法

JARE-61で「しらせ」に搭載した採泥器は、産業技術総合研究所地質調査総合センター所有の大口径グラビティーコアラー、小型グラビティーコアラー(最大バレル長1.5m)、GSJ型木下式グラブ採泥器、簡易式マルチプルコアラー(アシュラ)の4種類である。これらは、いずれも2018年9月に実施されたJARE-60の訓練航海において運用試験が行われた。このうち、JARE-61の観測では小型グラビティーコアラーとアシュラは観測のバックアップとして「しらせ」に積み込み、実際に使用したのは大口径グラビティーコアラー(図2A)とGSJ型木下式グラブ採泥器(図2B)である。以下にそれぞれの概要と運用手順を記す。

2.1. 大口径グラビティーコアラー(以下、大口径コアラー)

この採泥器は、堆積物の柱状試料(コア)を採取するためのもので、重量約600kgのコアヘッド部、堆積物に貫入する採泥管(バレル)部、及び堆積物の逸脱を防ぐコアキャッチャー

表 1 日本南極地域観測における歴代観測船からの採泥
Table 1. Sedimentological survey by the icebreaker during the past JARE.

観測船	観測隊	海域	採泥器及び採泥点数 (回数)	備考	文献
宗谷	JARE-2	リーサランセン半島沖, クック岬沖, リュツォ・ホルム湾	小型ドレッジ, フレーガー式小型グラビティコーアラウ, 計11点		庄司・佐藤 (1959)
	JARE-3	エンダビーランド沖, リーサランセン半島沖	採泥器不明, 2点		小野 (1960)
	JARE-4	クック岬沖ほか	筒型, 熊田式, コアサンブラー, 計5回	「(7) 海洋・地球化学」の別表に記載	第4次南極地域観測隊報告 (1960)
	JARE-5	プリンスオラフ海岸・エンダビーランド沖	小型筒型ドレッジ, 小型グラビティコーアラウ, 計18点	コアは最大41cm	第5次南極地域観測隊報告 (1961)・Sato (1964)・福島・鈴木 (1966)
	JARE-6	クック岬沖ほか	ドレッジ, 4点		第6次南極地域観測隊報告 (1962)・Kuga and Watanuki (1963)
	JARE-7	プリンスオラフ海岸沖, マラジョージナヤ基地沖, リュツォ・ホルム湾, リーサランセン半島沖	小型筒型ドレッジ, 小型グラビティコーアラウ, 計19点	13点は海洋部門による, 生物部門による採泥点は位置が不明。	第7次南極地域観測隊 (夏隊) 報告 (1966)
	JARE-8	プリンスオラフ海岸沖	小型筒型ドレッジ, 計2点		第8次南極地域観測隊 (夏隊) 報告 (1967)
	JARE-9	リュツォ・ホルム湾ほか	新野式中型ドレッジ, 7回	St. 6 (68-06.5S, 33-30.0E, 520 m) でカサピサンゴ多数	第9次南極地域観測隊 (夏隊) 報告 (1968)
	JARE-10	弁天島周辺ほか	新野式中型ドレッジ, 何回か	底生動物採取として実施, 位置などは不明。	日本南極地域観測隊第10次夏隊報告 (1969)
	JARE-15	リュツォ・ホルム湾, リーサランセン半島沖, マラジョージナヤ基地沖	大型ドレッジ, 3地点 (十数回)	底生動物採取として実施, 位置などは不明。	日本南極地域観測隊第15次隊報告 (1975)
JARE-17	リュツォ・ホルム湾	グラビティコーアラウ7点, 同筒ドレッジ1点, スミスマッキンタイヤー1点, 計9点	コアは最大36cm	日本南極地域観測隊第17次隊報告 (1977)	
JARE-25	東オングル海峡, 弁天島西方	柱状フルーク型採泥器 (しらせ装備), 2点	地殻熱流量測定の前検査	日本南極地域観測隊第25次隊報告 (1985)	
JARE-39	しらせ昭和基地接岸点, アムンゼン湾	スミスマッキンタイヤー, 2点	38次越冬隊員のリクエーストとして採取	日本南極地域観測隊第39次隊報告 (1999)	
JARE-59	リュツォ・ホルム湾, ケープダンレー沖	スミスマッキンタイヤー, 2点		南極地域観測隊第59次隊報告 (2019)	

しらせ
(初代)

しらせ
(二代目)

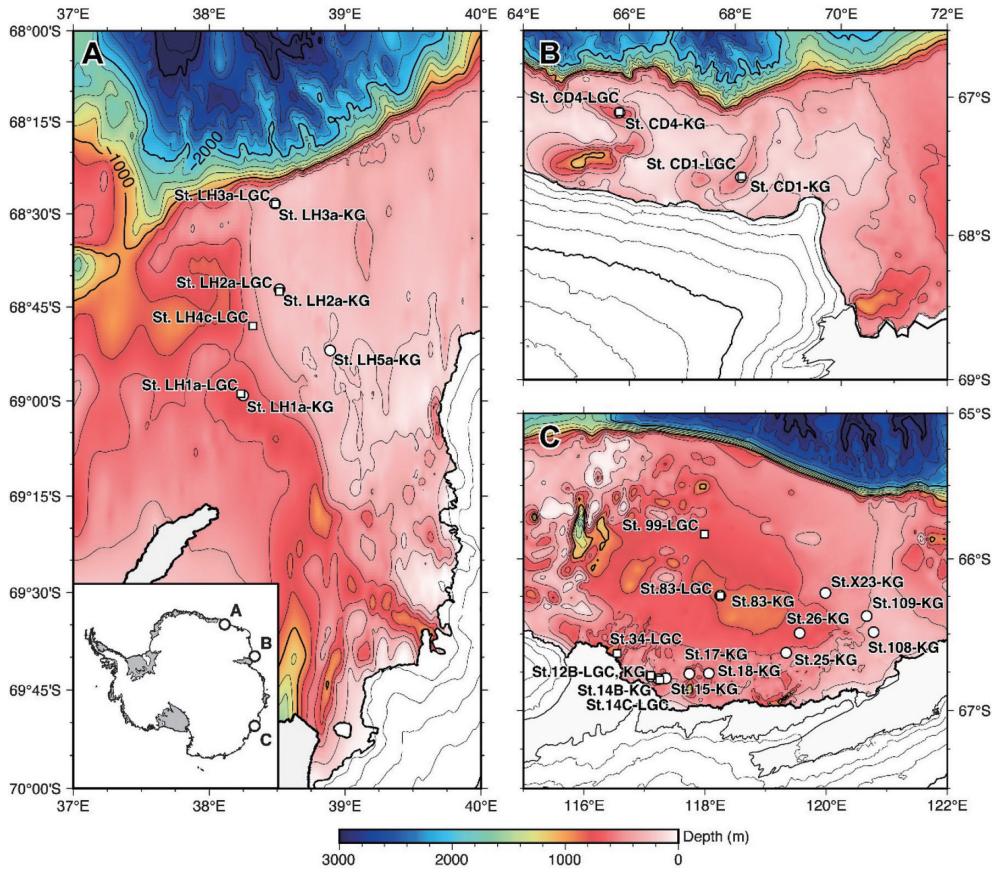


図 1 JARE-61 で調査を実施したリュツォ・ホルム湾 (A)、ケープダarnレー・ポリニア海域 (B) 及びトッテン氷河沖～ダルトン・ポリニア海域 (C) の地形図。白丸と四角は、それぞれ grab 採泥器とグラビティーコアラーの試料採取点を示す。地形データは (A) では Kusahara *et al.* (2021), (B) では GEBCO2020 (GEBCO Bathymetric Compilation Group, 2020), (C) では Hirano *et al.* (2023) を用いた。この図は The Generic Mapping Tools により作成した (Wessel *et al.*, 2019)。

Fig. 1. Topographic maps of Lützow-Holm Bay (A), Cape Darnley polynya (B), and Totten Glacier front-Dalton polynya (C), which are survey areas during JARE-61. Open circles and squares indicate sample locations by grab sampler and gravity corer, respectively. Topographic data used were from Kusahara *et al.* (2021) for (A), from GEBCO2020 (GEBCO Bathymetric Compilation Group, 2020) for (B), and from Hirano *et al.* (2023) for (C). This figure is made using The Generic Mapping Tools (Wessel *et al.*, 2019).

部で構成される (図 3A)。バレル長は、1 m ごとに延長が可能である。往路のトッテン氷河近傍海域では、3 m に連結したバレルがほぼ完全に堆積物中に貫入したため、復路では 5 m に延長した。それぞれ、事前に水平吊り下げバランス試験を行った。その際の最上部バレルとコアヘッドに掛けるワイヤーの長さは、バレル長が 3 m の場合が双方 1 m、バレル長が 5 m の場合は最上部バレル側を 50 cm、コアヘッド側を 1 m とした。

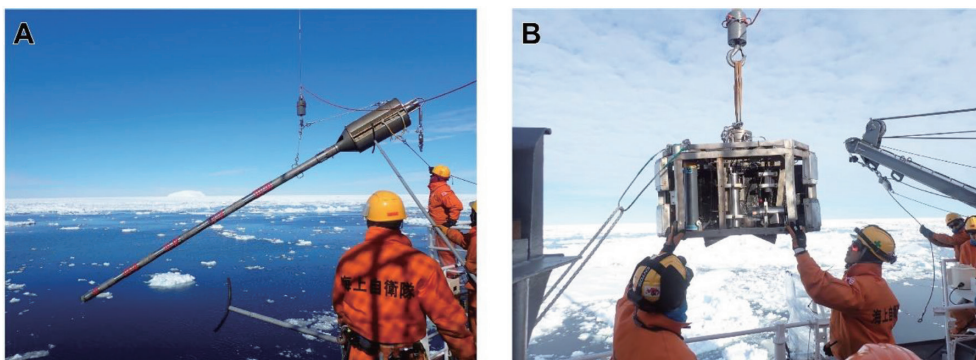


図 2 JARE-61 で使用された大口径グラビティーコアラー (A) と GSJ 型木下式グラブ (K-グラブ) 採泥器 (B) の写真。

Fig. 2. Photos of a large-bore gravity corer (A) and GSJ-type K-grab sampler (B) used during JARE-61.

コアヘッドの台車 (図 3B) は、構造物の多い「しらせ」観測甲板での移動を容易にするため、4 輪全てのキャスターを回転式にした。また、バレルを保持する油圧式台車 3 台 (図 3C) のうち 1 台についても全てのキャスターを回転式にして移動を自在にできるようにした。他 2 台の油圧式台車は、安全上の観点から 4 輪のうち 2 輪が回転式、2 輪が固定式となっており、バレルの組み立て・解体、甲板で固縛の際に用いた。

従来、大口径コアラーは、天秤とパイロット錘を使って海底面より数メートル上から自由落下させて堆積物に突き刺すが (例えば、日本地質学会編, 2016), このシステムだと大口径コアラーを投入する際にパイロット錘が海水に接触するなどして誤作動を起こす危険性がある。また、極寒下の甲板で投入・揚取時にこのような複雑なシステムを構築・解体することは、多くの時間と労力が必要となる。そのため、今回は天秤を使わずに大口径コアラーをワイヤーに直結し、ワイヤーの繰り出し速度とコアラーの自重だけで堆積物中へ貫入させる方法を採用し、誤作動の回避と作業の単純化を図った。

図 4 には、大口径コアラー投入時の作業手順を示した。ウィンチは、直径 12mm ワイヤー (長さ 1000m) を巻いたものを使用した。大口径コアラーの投入は、まず観測甲板よりホイストで吊り上げ、バレルをほぼ水平に保ちながらホイストを回転させることで舷外に搬出した。この際、コアヘッド部及びバレルの中央部に振れ止めのロープを掛け固定を行った。次に、ダビッドから出したワイヤーを大口径コアラー最上部にある吊り下げリングに掛け、ホイストを徐々に緩めてテンションをワイヤー側に移し替えながらバレルが海面に対して垂直になるまで下げてホイストを解放した。最後に、大口径コアラーを振れ止めのロープで固定しながら、ゆっくりと海面まで降ろしたが、海面が氷で埋め尽くされている場合は、船のスクリューを微速で動かすなどして船尾に開水面を形成した後、着水させた。その後、線速 0.4m/秒でコアラーを海底に向けて降下させ、マルチビーム音響測深器で得られた水深情報

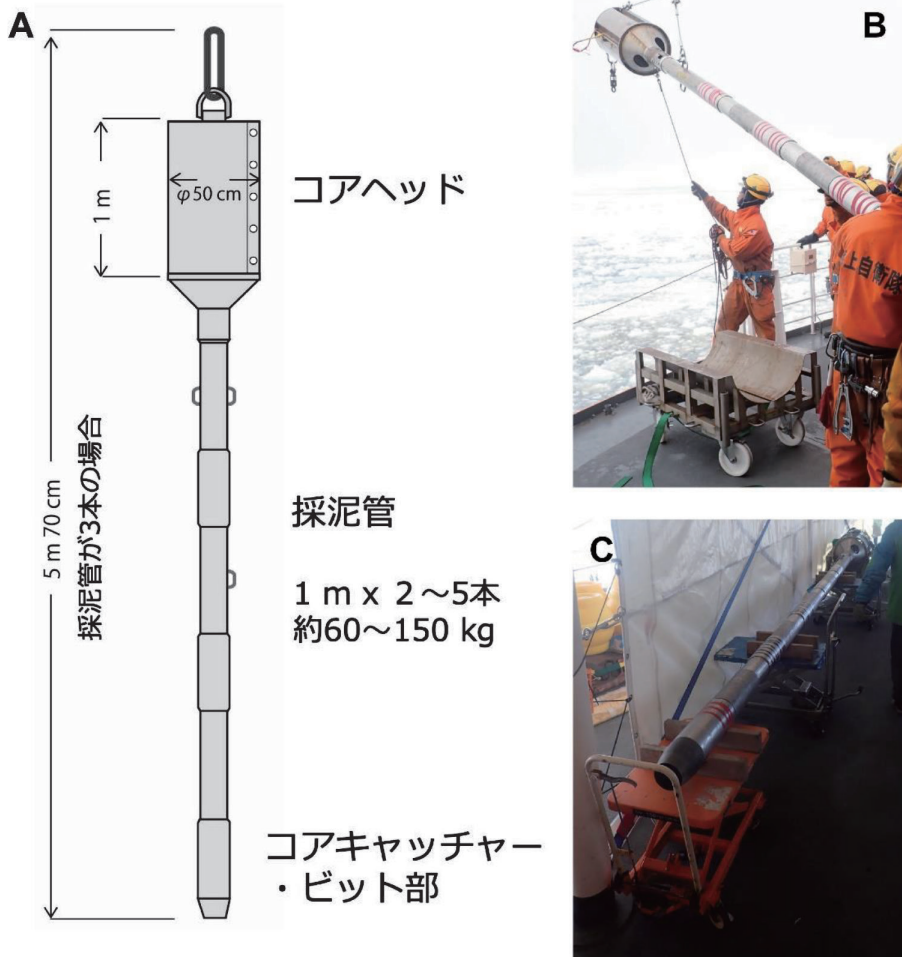


図 3 大口径グラビティーコアラの概略図 (A), コアヘッド用台車 (B), コアバレル用油圧式台車 (C).
Fig. 3. A schematic figure of the large-bore gravity corer (A), photos of a hand truck for the core head (B), and an oil pressure type hand truck for the core barrel (C).

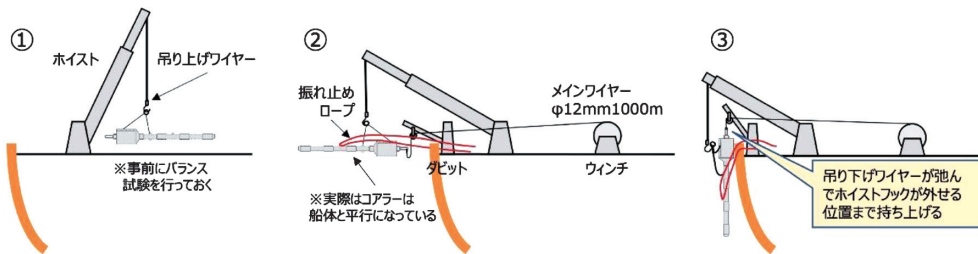


図 4 「しらせ」におけるコア投入の作業手順.

Fig. 4. Operation procedure of the core entry on I/B Shirase.

を基に、海底面から約 30m 上方で降下を停止させた。安全確認後、着底まで線速 0.4 m/秒でワイヤーを繰り出した。着底はテンションメーターが急激に下がることで確認し、更に微速で 3~5m 余分にワイヤーを繰り出した後、ウィンチを停止した。採泥器の自重で貫入させるために 1~3 分程度待機したが、この間、外力等で船が移動する場合は、それに合わせて更にワイヤーをゆっくりと繰り出した。その後、ワイヤーを微速で巻き上げてテンションメーターで採泥器の離底を確認したら、ウィンチの最大巻き上げ速度である線速 0.4 m/秒に増速し、採泥器を揚収した。揚収の手順は、投入と逆に、舷外でコアラーの荷重をダビッドからホイストに移し替えて、バレルをほぼ水平に保って（堆積物の重量でややバレルが下がる）、観測甲板の台車に着座させた。

大口径コアラー揚収後、コアキャッチャー部を外して中の堆積物を回収し、バレルは先端方向から順番に 1m ごとに外して堆積物が入ったアクリル製のインナーチューブを抜き取った。1m ごとに分断したインナーチューブは、上部から順番にセクション 1~5（5m バレルの場合）とした。得られたコア試料は、各セクションの上下を固定して冷蔵保存した。St. LH-1a, St. 12B, St. 83 については、船上でコアを縦に半裁して（archive-half と working-half）、その断面の岩相記載、写真撮影、及びコアスキャナー「Namahage」（Obrochta *et al.*, 2018）によるイメージ取得と色調分析を行った。また、半裁したコア試料の working-half は、分析用として層厚 1cm 間隔でスライスして保管した。

2.2. 木下式グラブ採泥器（以下、K-グラブ採泥器）

K-グラブ採泥器（重量約 400 kg）は、主に表層付近の堆積物（面積 40 cm × 40 cm）を採取することに加え、海底カメラ、底層採水器（1.8L ニスキンボトル改造）、CTD（塩分、水温、深度）プロファイラー、方位傾斜計を設置しており、採泥と同時に様々なデータを取得することができる。また、超音波高度計を介したシステムで船の揺動などによる水中での誤作動を防止することができる（板木, 2018）。

K-グラブ採泥器の投入・揚収は、大口径コアラーと同様に、舷外で採泥器の重量をホイストとダビッドに切り替えることで行われた。往路の 12月 17日までは、直径 6mm のワイヤーウィンチ（ワイヤー長 1500m）を用いて、繰り出し・巻き上げ速度を 1.0 m/秒で行っていたが、揚収時の低速時にノッキングを起こすことなどから、それ以降は大口径コアラーと同じ直径 12mm ワイヤーウィンチを用いた。

得られた堆積物は、写真撮影した後に表面の生物を採取し、サブコア（4~10 本）、各種分析用表層試料（表層約 2 cm）、古地磁気用キューブ（2 個、矢印を海底カメラ設置面の方向）、残りを底生生物用試料として分取した。岩石や少量の堆積物のみが採取された場合は、状況に応じて採取項目を変更した。

底層採水器は、超音波高度計の信号によって、海底直上 7m で作動するように設定した。

塩分、溶存酸素量、酸素同位体比の分析のため試料が採取され、塩分と溶存酸素量に関してはそれぞれ Guildline AUTOSAL 8400B (Ocean Scientific International Ltd) と溶存酸素滴定装置 DOT-05 (紀本電子工業) により船上で分析し、CTD の補正に用いた。

海底カメラ (海洋工学研究所製, 耐圧 6000 m) は、超音波高度計の信号によって、海底直上 7 m で起動し、同 2 m でシャッターが作動して着底直前の海底の様子を撮影する。海底写真は、採泥器のカメラが設置されている面が上位に相当する。撮影された画像の方角は、採泥器に別途設置されたオフラインの方位傾斜計 (海洋電子製, 耐圧 2000 m) のデータから知ることができる。方位傾斜計の記録は、採泥器のカメラ接地面側を 0° とし、磁北方位が右回りに 360° の角度が記録される。

オフラインの CTD プロファイラー (Sun&Sea 社製, 耐圧 6000 m) には、水温、塩分、水深センサーに加えて、溶存酸素量と濁度のセンサーを設置している。塩分と溶存酸素量は、採水した底層水の測定値によって補正した。

2.3. オペレーション上の課題

今回の採泥観測は、想定以上に大きな成果を上げることができたと考えているが、幾つかの課題点も見えてきた。今後の対応策の参考のために以下に記述する。

2.3.1. 「しらせ」の定点維持

「しらせ」にはスラスターがないため、開氷域では風や海流などの外力が加わると船がドリフトしてしまい定点維持が難しい。このような状況で採泥を行う場合、外力を見極めて採泥点に着底させるのは至難の業である。また、St. 39 で起こったように、流れてきた海水にワイヤーが引っ掛かるなどして危険を伴う。一方、海水がしっかりと張っている場合は、海水に船を固定して行うことができるため、ある程度の定点維持が可能で、また波浪の影響も受けないので、舷の高い「しらせ」でもオペレーションは比較的容易であった。

2.3.2. ワイヤーウィンチ

今回のオペレーションでは、主に長さ 1000 m の直径 12 mm ワイヤーを巻いたウィンチを用いた。このウィンチは、最大線速が 0.4 m/秒であった。例えば、水深 500 m まで繰り出すのに約 20 分かかり、採泥作業時間は 40 分以上を要する。一般的な観測で使われるウィンチの線速が 1 m/秒であることを考えると、通常の 2 倍以上の時間が必要となる。その結果、低温環境下における作業が長時間になってしまうだけでなく、上述のように船が外力の影響を受けると採泥器を投入中にドリフトする距離も大きくなり、着底地点の精度も低下する。ウィンチに使用する潤滑油などを低温環境に適したものにすることで改善が可能であれば、採泥だけではなく、他の観測においても作業時間の短縮と労力の軽減、更には観測精度の向上が見込まれる。

また、このウィンチに巻かれているワイヤー長が 1000 m であったため、このウィンチを

使って行った観測の最大ワイヤー長は、St. 83-KGでの838mであった（全観測点で最大のワイヤー長はSt. 14B-KGでの980mであるが、これは直径6mmのワイヤー1500mを巻いたウィンチを使用した）。全長1000mのワイヤーで採泥を行える水深は900mが限度であり、最大水深が1400mを越す今回の調査海域では、このワイヤー長が採泥点選定の制限となっていた。今後、直径12mmのワイヤーで1500m以上巻いたワイヤーウィンチを設置することで、採泥可能範囲が大幅に広がることが期待される。

2.3.3. 機器類の低温対策

K-グラフ採泥器を甲板で長時間の待機をさせる際、低温環境における付属観測機器や可動部の凍結による不具合が想定された。これを防止するために水道管ヒーターを用いたがあまり効果は見られなかった。むしろ、ROV用のコンテナラボに採泥器ごと保管できたことは準備作業も含めて有効であった。コンテナラボがない場合は、大型の野外用ヒーターがあると良いかもしれない。

3. 観測結果

JARE-61の往路では、2019年12月14日から12月17日にトッテン氷河沖周辺域において大口径コアラー2地点とK-グラフ採泥器8地点の採泥が実施された。復路では、2020年1月31日から2月1日に、リュツォ・ホルム湾において大口径コアラーとK-グラフ採泥器がそれぞれ4地点、2020年2月9日から2月10日にケーブダンレー沖で大口径コアラーとK-グラフ採泥器がそれぞれ2地点、そして2020年2月20日から3月5日に再びトッテン氷河沖周辺域において大口径コアラー4地点（このうち1地点はワイヤーと海水の接触により途中で作業中止）とK-グラフ採泥器3地点の採泥観測が実施された。結果として、大口径コアラー11地点、K-グラフ採泥器17地点の計28地点から堆積物試料が採取された(表2)。これらの採泥点は、これまでに得られている地形情報、JARE-61で新たに取得したマルチビーム音響測深器とSBPの記録を参考に選定した。

本稿では、今後の研究を進める際の基礎資料として、表2には堆積物の特徴の他、CTDで得られた各採泥点における底層の水温、塩分、溶存酸素量を合わせて示す。また、各大口径コアラー採泥点におけるコアの柱状図を図5に示す。以下にそれぞれの海域における観測結果の概要を記述する。

3.1. トッテン氷河沖～ダルトン・ポリニア海域

トッテン氷河沖からK-グラフ採泥器で採取された表層堆積物は、多くの場合、黄褐色または灰オリーブ色を呈した泥質堆積物からなり、クモヒトデ、コケムシ、海綿動物、八放サンゴ等多くの底生生物が認められる。St. 25-KGでは、僅かな泥と一緒に大きさが40cm程度の円礫が採取され、表面には多くの固着性生物が付着していた。一方、ダルトン・ポリニ

表 2 JARE-61 の採泥点と堆積物試料の特徴。底層水温 (Bottom temp.) と底層塩分 (Bottom salinity) は、K-グラフ採泥器に取り付けたCTDで取得した。溶解酸素 (Bottle DO) は、K-グラフ採泥器に取り付けたニスキン底層採水器の試料から測定された。(1/2)

Table 2. A list showing sample locations of JARE-61 and lithological characteristics of the sample. Bottom temperature and salinity were collected from CTD profiler, which is installed with the K-grab sampler. Bottle DO is dissolved oxygen contents, which is measured from water samples collected by a niskin bottle sampler attached to the K-grab sampler. (1/2)

Area	Local station	Date	Time (UTC)	Sampler type	Latitude	Longitude	Water depth (m)	Wire out (m)	Max tension (ton)	Sample	Bottom temp. (°C)	Bottom salinity	Bottle DO (ml/L)
	St. 12B-KG	Dec. 15, 2019	4:24	KG	66°46.79'S	117°06.44'E	419	430	7.6	Yellowish brown silty clay (23 cm)	-1.82	34.24	7.32
	St. 12B-LGC	Dec. 15, 2019	5:20	L-GC (3)	66°46.42'S	117°06.29'E	403	412	10.5	Yellowish brown to grayish olive silty clay (297 cm)			
	St. 14B-KG	Dec. 17, 2019	2:30	KG	66°47.90'S	117°13.95'E	987	980	5.4	Grayish olive silty clay (23 cm)	-0.45	34.51	---
	St. 14C-LGC	Dec. 17, 2019	4:25	L-GC (3)	66°48.16'S	117°14.95'E	550	530	8.0	Grayish olive fossiliferous sandy silt (344 cm, top ~40cm over flow)			
off Totten Glacier &	St. 15-KG	Dec. 17, 2019	11:40	KG	66°47.52'S	117°21.33'E	691	690	10.0	Grayish olive silty clay (23 cm)	-0.69	34.49	6.25
Dalton	St. 17-KG	Dec. 18, 2019	1:37	KG	66°45.73'S	117°44.47'E	608	600	6.4	Grayish olive sandy clay with many bryozoa (23 cm)	-1.38	34.35	---
Polynya	St. 18-KG	Dec. 18, 2019	9:33	KG	66°45.51'S	118°03.64'E	523	516	6.0	A few grayish olive sandy mud with bryozoa	-1.18	34.40	7.03
	St. 25-KG	Dec. 19, 2019	1:23	KG	66°37.44'S	119°20.43'E	627	620	6.3	40 cm subangular boulder with a few olive gray sandy mud	-0.25	34.54	5.96
	St. 26-KG	Dec. 19, 2019	10:05	KG	66°29.73'S	119°33.68'E	693	690	9.3	Grayish olive silty clay (23 cm)	0.49	34.66	5.06
	St. X23-KG	Dec. 19, 2019	12:43	KG	66°13.72'S	119°59.28'E	487	502	6.0	Grayish olive pebbly mud (19 cm)	-1.09	34.42	6.88
Lützow-Holm	St. LH5a-KG	Jan. 30, 2020	17:22	KG	68°51.95'S	38°53.43'E	219	228	8.0	Grayish olive silty sand with many bryozoa (13 cm)	-1.83	34.24	7.39
Bay	St. LH1a-LGC	Jan. 31, 2020	4:43	KG	68°59.11'S	38°14.95'E	737	743	10.0	Grayish olive sandy silt with pebble (20 cm)	0.13	34.62	5.31
	St. LH1a-LGC	Jan. 31, 2020	6:14	L-GC (5)	68°58.87'S	38°14.09'E	797	797	10.3	Grayish olive sandy silt (119 cm)			
	St. LH4c-LGC	Jan. 31, 2020	8:58	L-GC (5)	68°48.07'S	38°19.27'E	427	379	7.7	Grayish olive sandy silt (41 cm)			

表 2 JARE-61 の採泥点と堆積物試料の特徴。底層水温 (Bottom temp.) と底層塩分 (Bottom salinity) は、K-グラブ採泥器に取り付けたCTDで取得した。溶存酸素 (Bottle DO) は、K-グラブ採泥器に取り付けたススキン底層採水器の試料から測定された。(2/2)

Table 2. A list showing sample locations of JARE-61 and lithological characteristics of the sample. Bottom temperature and salinity were collected from CTD profiler, which is installed with the K-grab sampler. Bottle DO is dissolved oxygen contents, which is measured from water samples collected by a niskin bottle sampler attached to the K-grab sampler. (2/2)

Area	Local station	Date	Time (UTC)	Sampler type	Latitude	Longitude	Water depth (m)	Wire out (m)	Max tension (ton)	Sample	Bottom temp. (°C)	Bottom salinity	Bottle DO (ml/L)
Lützow-Holm Bay	St. LH2a-KG	Jan. 31, 2020	11:05	KG	68°42.17'S	38°30.97'E	310	303	7.8	Grayish olive silty sand with cobble and many bryozoa (16 cm)	-1.78	34.32	7.21
	St. LH2a-LGC	Jan. 31, 2020	11:51	L-GC (5)	68°42.52'S	38°30.97'E	303	308	7.2	Grayish olive sandy silt (25 cm)			
	St. LH3a-KG	Jan. 31, 2020	18:58	KG	68°28.33'S	38°29.02'E	264	264	5.7	Grayish olive silty sand with bryozoa (14 cm)	-1.86	34.29	7.26
off Cape Darnley	St. LH3a-LGC	Jan. 31, 2020	19:38	L-GC (5)	68°28.44'S	38°29.23'E	260	254	7.4	Grayish olive silty sand with cobble (50 cm)			
	St. CD4-KG	Feb. 9, 2020	2:38	KG	67°06.70'S	65°48.88'E	644	632	7.1	Olive diatomaceous ooze (18 cm)	-1.91	34.61	7.45
	St. CD4-LGC	Feb. 9, 2020	4:08	L-GC (5)	67°06.55'S	65°48.60'E	636	630	12.0	Olive diatomaceous ooze (238 cm)			
off Totten Glacier & Dalton Polynya	St. CD1-KG	Feb. 10, 2020	2:33	KG	67°35.02'S	68°06.19'E	544	565	6.7	Olive sandy diatomaceous ooze (19 cm)	-1.94	34.80	7.91
	St. CD1-LGC	Feb. 10, 2020	3:54	L-GC (5)	67°34.75'S	68°07.37'E	537	552	8.6	Olive sandy diatomaceous ooze (65 cm)			
	St. 83-KG	Feb. 24, 2020	2:46	KG	66°14.79'S	118°15.07'E	842	838	11.0	Olive yellow clay (24 cm)	0.38	34.67	5.05
off Totten Glacier & Dalton Polynya	St. 83-LGC	Feb. 24, 2020	4:19	L-GC (5)	66°14.79'S	118°15.08'E	842	832	9.0	Olive yellow clay - Grayish olive granule sand (179 cm)			
	St. 99-LGC	Feb. 25, 2020	7:00	L-GC (5)	65°49.93'S	117°59.20'E	727	719	11.1	Olive yellow clay - Grayish olive granule sand (251 cm)			
	St. 39-LGC	Feb. 29, 2020	2:41	L-GC (5)	66°40.21'S	116°59.66'E	890	>300	>7.0	No sampled. Sampling was cancelled because the wire got caught in the sea ice.			
off Totten Glacier & Dalton Polynya	St. 34-LGC	Mar. 03, 2020	8:36	L-GC (5)	66°37.68'S	116°32.82'E	690	718	8.0	Dull brown clay - Dark brownish yellow silty sand (392 cm)			
	St. 108-KG	Mar. 05, 2020	4:15	KG	66°29.38'S	120°47.07'E	309	307	5.0	Grayish olive silty sand (20 cm)	-1.88	34.24	7.75
	St. 109-KG	Mar. 05, 2020	8:50	KG	66°22.88'S	120°40.12'E	431	423	8.0	Grayish olive sandy silt (22 cm)	-0.49	34.48	---

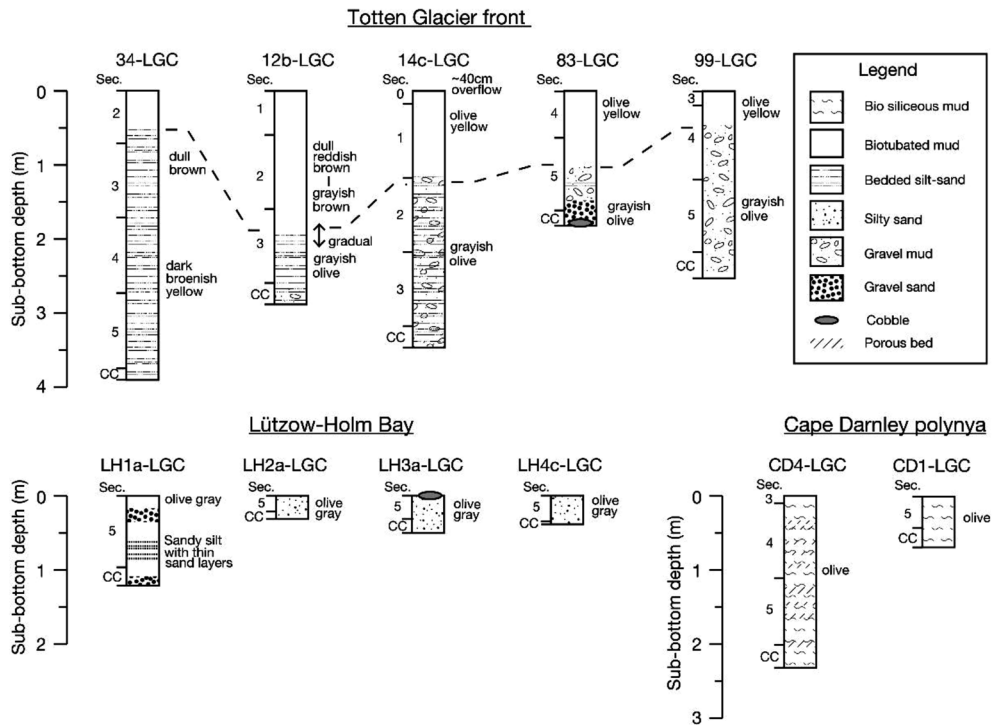


図 5 JARE-61 で採取された堆積物コアの柱状図。

Fig. 5. Columnar sections of sediment cores collected during JARE-61.

ア海域の St. X23-KG, St. 108-KG, St. 109-KG から採取された堆積物は、小礫を含む灰オリーブ色を呈した砂質堆積物で特徴付けられる。

コアは、いずれもトッテン氷河の前縁部 (St. 12B-LGC, St. 14C-LGC, St. 34-LGC) と沖合 (St. 83-LGC, St. 99-LGC) において大口径コアラで採取された。トッテン氷河前縁部は氷河の削剥などにより複雑な地形を呈するが、採泥点は海底谷ないしその近傍に位置している。いずれもコア上部は生痕の発達した黄褐色または灰オリーブ色を呈した泥質堆積物からなり、下部は礫を伴う砂質堆積物で構成される。

St. 14C-LGC から採取されたコアは、コアラ揚収時にコアヘッドにまで泥が付着しており、コア最上部がセクション 1 のバレルよりも上部にまで達していたことから、上部 40 cm 程度がオーバーフローした可能性がある。柱状図のセクション 0 は、セクション 1 より上位にある採泥管中から直接採取された部分である。

JARE-61 で最も長いコアは、St. 34-LGC から採取された 392 cm であった。このコアは、層理が斜めになっており、船が外力でドリフトしていたためコアラが着底時に傾いて海底に貫入した可能性が高い。

3.2. リュツォ・ホルム湾

K-グラフ採泥器で採取された表層堆積物は、大陸棚 (St. LH2a-KG, St. LH3a-KG, St. LH5a-KG) では灰オリーブ色を呈した砂質堆積物で特徴付けられ、多くの底生生物も認められる。一方、白瀬海底谷 (St. LH1a-KG) の表層堆積物は、礫を含む灰オリーブ色の砂質シルトである。

大口径コアラーによる大陸棚のコア採取地点 (St. LH2a-LGC, St. LH3a-LGC, St. LH4c-LGC) では、表層と同様に灰オリーブ色を呈した礫を含む砂質堆積物で特徴付けられ、採取されたコアは最長でも 50 cm 程度である。コアラーが礫層に当たり、貫入しなかった可能性がある。白瀬海底谷 (St. LH1a-LGC) では、119 cm のコアが採取され、灰オリーブ色の砂質シルトと礫質砂の互層で特徴付けられる。このコアは、層理が斜めになっており、船が外力でドリフトしていたためコアラーが着底時に傾いて海底に貫入した可能性が高い。

3.3. ケープダンレー・ポリニア海域

ケープダンレー沖では、Burton Basin (St. CD1-KG) と Nielsen Valley (St. CD4-KG) で K-グラフ採泥器による採泥が実施され、双方の表層堆積物ともオリーブ色を呈する珪藻軟泥で構成されている。これらのサイトは、それぞれ Borchers *et al.* (2016) と Harris (2000) が報告したコアサイトの近傍である。

上記の K-グラフ採泥器による採泥点とほぼ同じ地点で、大口径コアラーによりコアが採取された。Burton Basin (St. CD1-LGC) のコアはコア全体に生痕が発達した塊状を示すのに対し、Nielsen Valley (St. CD4-LGC) では不連続な層理がコア全体に認められる。Harris (2000) によれば、Nielsen Valley で採取されたコアに発達する不連続な斜交層理は、陸棚で形成された高密度水の流れの影響を受けたものと解釈されている。

4. まとめ

JARE-61 では、トッテン氷河沖／ダルトン・ポリニア海域、リュツォ・ホルム湾、ケープダンレー・ポリニア海域の 3 海域から大口径グラビティーカーと GSJ 型木下式グラフ採泥器を用いた採泥観測を計 28 地点で実施した。これによって、「しらせ」による採泥観測が可能であることを実践的に確認し、本稿ではそのノウハウを記述した。

また、今後の調査の基礎資料として、上記 3 海域から採取された堆積物の採取地点と特徴に関して概要を記述した。これらの堆積物は、海域によって特徴が異なり、主としてトッテン氷河沖は黄褐色または灰オリーブ色の泥質堆積物からなり、リュツォ・ホルム湾は灰オリーブ色の砂質堆積物、ケープダンレー沖は珪藻軟泥で特徴付けられる。このような特徴の違いは、それぞれの海域の特異な環境条件が起因すると考えられる。今後、採取された堆積物の分析により、現在の堆積作用と底生生物に関する知見、及び過去の氷河の消長と海洋変動の

解明が期待される。

謝 辞

試料採取においては、「しらせ」の艦長はじめ海上自衛隊の乗員、JARE-60及び61観測隊員及び同行者各位には多大なるご協力をいただいた。秋田大学のオブラクタ博士には「Namahage」の利用法についてご教示いただいた。本研究では、科研費番号17H06318(分担:板木), 18H01329(代表:板木), 18K13649(代表:徳田), 17H06321(分担:菅沼), 19H00728(代表:菅沼, 分担:板木・石輪), 21H01201(代表:板木)及び公立鳥取環境大学特別研究費(徳田)の一部を使用した。

文 献

- Borchers, A., Dietze, E., Kuhn, G., Esper, O., Voigt, I., Hartmann, K. and Diekmann, B. (2016): Holocene ice dynamics and bottom-water formation associated with Cape Darnley polynya activity recorded in Burton Basin, East Antarctica. *Mar. Geophys. Res.* **37**, 49–70, doi: 10.1007/s11001-015-9254-z.
- 福島 博・鈴木邦子 (1966): 南極エンダービー陸地沖で得た柱状採泥の微化石分析. *南極資料*. **26**, 2056–2063, doi: 10.15094/00007398.
- GEBCO Bathymetric Compilation Group 2020 (2020): The GEBCO_2020 Grid - a continuous terrain model of the global oceans and land. British Oceanographic Data Centre, National Oceanography Centre, NERC, UK, doi:10.5285/a29c5465-b138-234d-e053-6c86abc040b9.
- Harris, P. T. (2000): Ripple cross-laminated sediments on the East Antarctic Shelf: evidence for episodic bottom water production during the Holocene? *Mar. Geol.* **170** (3–4), 317–330, doi: 10.1016/S0025-3227(00)00096-7.
- Hirano, D., Tamura, T., Kusahara, K., Fujii, M., Yamazaki, K., Nakayama, Y., Ono, K., Itaki, T., Aoyama, Y., Simizu, D., Mizobata, K., Ohshima, K. I., Nogi, Y., Rintoul, S. R., van Wijk, E., Greenbaum, J. S., Blankenship, D. D., Saito, K. and Aoki, S. (2023): On-shelf circulation of warm water toward the Totten Ice Shelf in East Antarctica. *Nat. Commun.* **14**, 4955, doi: 10.1038/s41467-023-39764-z.
- 板木拓也 (2018): 超音波高度計によるK-グラフ採泥器の誤作動防止システム. 板木拓也 (編)「沖縄周辺海域の海洋地質学的研究」平成29年度研究概要報告書—石垣島・奄美大島周辺海域—. 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報. **75**, 143–146.
- 国立極地研究所 (1975): 日本南極地域観測隊第15次隊報告 (1973–1975). 東京, 191p.
- 国立極地研究所 (1977): 日本南極地域観測隊第17次隊報告 (1975–1977). 東京, 198p.
- 国立極地研究所 (1985): 日本南極地域観測隊第25次隊報告 (1983–1985). 東京, 340p.
- 国立極地研究所 (1999): 日本南極地域観測隊第39次隊報告 (1997–1999). 東京, 326p.
- 情報・システム研究機構国立極地研究所 (2019): 南極地域観測隊第59次隊報告 (2017–2019). 東京, 449p.
- Kuga, Y. and Watanuki, K. (1963): On the Oceanographical Observation of the 6th Japanese Antarctic Research Expedition (1961–1962). *南極資料*. **18**, 1545–1562, doi: 10.15094/00007256 (in English with Japanese abstract).
- Kusahara, K., Hirano, D., Fujii, M., Fraser, A. D. and Tamura, T. (2021): Modeling intensive ocean–cryosphere interactions in Lützow-Holm Bay, East Antarctica. *Cryosphere*, **15** (4), 1697–1717, doi: 10.5194/tc-15-1697-2021.
- 南極地域観測統合推進本部 (1966): 第7次南極地域観測隊(夏隊)報告 (1965–1966). 東京, 199p.
- 南極地域観測統合推進本部 (1967): 第8次南極地域観測隊(夏隊)報告 (1966–1967). 東京, 218p.
- 南極地域観測統合推進本部 (1968): 第9次南極地域観測隊(夏隊)報告 (1967–1968). 東京, 277p.
- 南極地域観測統合推進本部 (1969): 日本南極地域観測隊第10次夏隊報告 (1968–1969). 東京, 123p.
- 日本学術会議南極特別委員会 (1960): 第4次南極地域観測隊報告. 東京, 99p.
- 日本学術会議南極特別委員会 (1961): 第5次南極地域観測隊報告. 東京, 161p.
- 日本学術会議南極特別委員会 (1962): 第6次南極地域観測隊報告. 東京, 215p.

- 日本地質学会「海洋底科学の基礎」編集委員会編 (2016): "4.2 海底表層堆積物の採取とその処理". 海洋底科学の基礎. 共立出版, 東京, 46-53.
- Obrochta, S. P., Yokoyama, Y., Yoshimoto, M., Yamamoto, S., Miyairi, Y., Nagano, G., Nakamura, A., Tsunematsu, K., Lamair, L., Hubert-Ferrari, A., Loughheed, B. C., Hokanishi, A., Yasuda, A., Heyvaert, V. M. A., De Batist, M., Fujiwara, O. and the QuakeRecNankai Team. (2018): Mt. Fuji Holocene eruption history reconstructed from proximal lake sediments and high-density radiocarbon dating. *Quat. Sci. Rev.*, **200**, 395-405, doi: 10.1016/j.quascirev.2018.09.001.
- 小野延雄 (1960): 第3次南極地域観測隊海洋部門報告. 南極資料, **10**, 683-691, doi: 10.15094/00006986.
- Sato T. (1964): Submarine Topography and Several Bottom Sediments around Prince Olav and Prince Harald Coasts, Antarctica. 南極資料, **21**, 1777-1787, doi: 10.15094/00007332 (in English with Japanese abstract).
- 庄司大太郎・佐藤任弘 (1959): 南極の底質—その粒度分析—. 南極資料, **7**, 411-421, doi: 10.15094/00006923.
- Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F. and Tian, D. (2019): The Generic Mapping Tools Version 6. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **20** (11), 5556-5564, doi: 10.1029/2019gc008515.