湖底堆積物調査における携帯型採泥器具の種類と特徴について

香 月 興 太* 瀬 戸 浩 二*
菅 沼 悠 介**、*** Dong Yoon YANG****

Characteristics of Portable Core Samplers for Lake Deposit Investigations

Kota KATSUKI*, Koji SETO*,
Yusuke SUGANUMA **, *** and Dong Yoon YANG ****

[Received 18 May, 2018; Accepted 15 January, 2019]

Abstract

A suitable sampling tool is indispensable for making sediment observation. Eleven portable sediment core samplers using lake sediment observations are introduced: two box core samplers, four dropping core samplers, and five pushing core samplers. Some are popular for making sediment observations. However, others are unique and are not well known, although they have excellent characteristics. Their structures, merits, demerits, and suitable lake conditions are explained. Core samplers introduced are: Ekman-Birge grab sampler, Smith-McIntyre grab sampler, Rigo gravity corer, Limnos corer, Knocking corer, Mackereth piston corer, Proto-type pushing piston corer, Seto-type undisturbed separable piston corer, Suganuma-type portable percussion piston corer, Multisampler, and Russian Peat sampler.

Key words : lake deposit, portable corer, paleoenvironment investigation, box corer, dropping corer, pushing corer

キーワード : 湖底堆積物, 携帯型採泥器, 古環境調査, 表層採泥器, 投下式採泥器, 押し込み式採泥器

I. はじめに

湖底堆積物は一般に堆積速度が速く、高時間分解能で古環境を復元することが可能なため、世界中の湖沼で堆積物の調査が行われ、報告されている（例えば、Last and Smol, 2001; Smol,

2002）。湖底堆積物の調査に用いられる採泥器具は、市販されて一般に普及している器具が使用されることも多いが（Glew *et al.*, 2001 および離合社や Eijkelpkamp 社 web site 参照）、構造が簡素な器具が多いため、各研究者が創意工夫を凝らして、改良したものや新たにつくったものを用いら

* 島根大学エスチュアリー研究センター

** 国立極地研究所

*** 総合研究大学院大学極域科学専攻

**** 韓国地質資源研究院国土地質研究本部地質研究センター

* Estuary Research Center, Shimane University, Matsue, 690-8504, Japan

** Polar Research Institute, Tachikawa, 190-8518, Japan

*** Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Sciences, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), Tachikawa, Tokyo, 190-8518, Japan

**** Geological Research Center, Geology Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, 34132, Korea

れることも多い（例えば、Mackereth, 1958; Kansanen *et al.*, 1991; 佐藤ほか, 2009）。これらの改良型や新型の採泥器は、なんらかの利点に特化しており、目的に応じた優れた特性を有するものばかりであるが、反面、製作の経緯からその優位性が広く知られることはあまりない。一方で、湖底堆積物を用いた古環境復元研究では、調査に用いた採泥器具の性能限界により、採取できるコアの堆積物長が変わり、古環境を復元できる期間が変わる。また、採泥器具が低性能であるため、研究目的に応じた最適な試料が得られずに、研究精度の低下を招いている論文も見受けられる。そこで本論文では、研究者間で採泥器具に関する知識を共有し、湖底堆積物を用いた古環境復元研究のレベルを向上させることを目的とし、代表的な携帯型採泥器具とその発展・改良型器具の紹介を行う。本稿では「携帯型」の定義として、「調査水域まで人力での運搬が可能」かつ「採泥および回収を人力あるいは同様に人力で運搬が可能な器具（例えば携帯型三脚）のみを用いて行うことができる」の2つを兼ねている器具とした。

湖沼堆積物を用いた研究は、おもに現在の湖底の環境や底質を調べるために行われる表層堆積物の調査と、湖底堆積物層序や環境の経年変化を調べるための柱状堆積物調査の2種類に大別することができる。表層堆積物の採泥に用いられる器具は、おもにグラブサンプラーと称される採泥器であり、一定面積の表層堆積物を乱さずに採取することができる。採取したい堆積物の量や底質に応じて器具の使い分けがされている。一方、柱状堆積物の採取を目的とする場合、用いる採泥器の種類は、おもに水深によって使い分けられることが多い。水深が10 mを超える深い湖の堆積物をとる場合、投下型と呼ばれるコアラーがよく用いられる一方（例えば、Kansanen *et al.*, 1991; Reasoner, 1993; Suzuki *et al.*, 2016）、水深が10 m以下の浅い湖の堆積物の採取を目的とする場合、押し込み式と呼ばれるコアラーの方が目的にあう場合が多い（例えば、佐藤ほか, 2009; Takano *et al.*, 2012; Katsuki *et al.*, 2016）。本論文では、代表的なグラブサンプラー2種類、投下

式4種類、押し込み式5種類の計11種類のコアラーの紹介を行う（表1）。

II. 各採泥器の特徴について

1) 表層採泥器（グラブサンプラー）（表 1.1-2）

グラブサンプラーはもっとも古くからある採泥器の1つであり、湖沼調査では100年以上前から使用されている（Ekman, 1911）。現在は様々なタイプのグラブサンプラーが用いられているが（離合社 website 参照）、市販されている2つの採泥器、「エクマンバージ採泥器（エクマンバージ、エッグマンバージ等の呼称も存在する）」と「スミスマッキンタイヤー採泥器」の完成度が高く、その2種の採泥器を目的に応じて使い分けられることが多いので、本稿ではその2種の概要を紹介するにとどめる。

1-1) エクマンバージ採泥器（表 1.1）

最大で1辺15 cmの立方体状に表層堆積物が採取できる採泥器である（図1：離合社製）。底口部には採取した堆積物を落とさないための可動式の底がついている。底口部を開きフックで固定し、採泥器をロープで湖底に着底させる。その後、ロープに沿って錘（メッセンジャー）を採泥器に落とすと、底口部を固定するフックが外れ、ばねの力で底口部が閉じ、表層堆積物を採取できる。小型で軽く（5.0-7.5 kg程度）、1人で簡単に操作することができる。湖底の泥・シルト堆積物や底生生物の採取に向いており、表層10 cm程度の堆積物を乱さずに採取することができる。一方で、採泥器が軽く、かつ底口部を動かすバネの力が強くないため、粒度の粗い砂の採取を行うことは難しい。そのため、砂の溜まりやすい湖岸の水深が浅い場所での採泥には向いていない。ごく一般的な採泥器で、国内外の多くの会社で市販されている。

エクマンバージ採泥器を用いて軟泥や藻類マット（Microbial mat）のような柔らかい堆積物を採取する場合、湖面上に採泥器を回収した後、しばらく水面上に保持し、水が採泥器から抜けるのを待つと、採泥器内の堆積物をトレイ等にとりだす際に表層が乱れずきれいな表層堆積物が採取できる。

表 1 各携帯型採泥器の特徴について.

Table 1 Characteristics of each portable sediment corer.

	Name	Corer Type	Power Source	Stable Water depth (m)	Sediment length (m)	Sampling area (mm ²)	Catchable deposit	Headcount (person)
1	Ekman-Birge grab sampler	Grab sampler	Weight and Spring	1- >50	≤ 0.15	150 mm × 150 mm	Clay-Silt	1
2	Smith-McIntyre grab sampler	Grab sampler	Weight and Spring	1- >50	≤ 0.25	330 mm × 330mm	Clay-Silt-Sand	1-2
3	Rigo gravity corer (Improvement Satake core sampler)	Gravity corer	Weight	1- >50	≤ 0.50	Dia. 54 mm_circle	Clay-Silt	1-2
4	Limnos corer	Gravity corer	Weight	1- >50	≤ 0.50	Dia. 80 mm_circle	Clay-Silt	1-2
5	Knocking (or purcasion) corer	Knocking corer	Weight and Knocking	1- >50	≤ 5.50	Dia. 54 mm_circle	Clay-Silt-(Sand)	1-2
6	Mackereth piston corer	Air pushing corer	Air pump	5- >50	≤ 6.00	Dia. 71 mm_circle	Clay-Silt	3-4
7	Proto-type pushing piston corer	Pushing corer	Hand	2-15 (*2-30)	≤ 3.00	Dia. 71 mm_circle	Clay-Silt	2
8	Seto-type undisturbed separatable piston corer	Pushing corer	Hand	2-15 (*2-30)	≤ 3.00	Dia. 64 mm_circle	Clay-Silt	2
9	Suganuma-type portable percussion piston corer	Pushing corer	Purcassion mashine	2-30	≤ 8.00	Dia. 64 mm_circle	Clay-Silt-Sand-Pebble	3-4
10	Multisampler	Pushing corer	Hand	1-20	≤ 0.90	Dia. 20 mm_circle	Clay-Silt	1-2
11	Russian Peat sampler	Chamber Type	Hand	0-10	≤ 10.00	Dia. 50 mm_semi circle	Clay-Silt-(sand)	1

図 1 (A) エクマンバージ採泥器と (B-C) 採泥手順.

Fig. 1 (A) Ekman-Birge grab sampler, and (B-C) its sampling method.

1-2) スミスマッキンタイヤー採泥器 (表 1.2)

国内で市販されているスミスマッキンタイヤー採泥器について述べる (図 2)。この採泥器では、バネの力で半円柱形のスペースに表層堆積物を採取することができる。著者は離合社から市販されている採泥器を用いているが、離合社製のスミスマッキンタイヤー採泥器は近年改良が行われたとみられ、採泥箱の開閉を司る連動アーム (図 2-(4)) を固定するフック (図 2-(6)) 構造が変わり、必要動作の簡略化が行われていた。そのため、国内で扱われているスミスマッキンタイヤー採泥器は作成年によって多少仕組みが異なるが、基本的な動作は同じである。採泥箱連動アームをフックに固定し、4 半円柱形の採泥箱を開く。水中に投下し、着底板を湖底に着底させると、着底板連動アームについたフックから採泥箱連動アームが外れ、2 つの 4 半円柱形の採泥箱が閉じ、半円柱形の堆積物を採取できる仕組みとなっている (図 2)。エクマンバージ採泥器と比較して重く (小

型のものでも 20 kg)、バネも強いいため、砂質堆積物が採取できるうえ、大量 (表面積 $33 \text{ cm} \times 33 \text{ cm}$ 、容積は最大で約 850 cm^3) の堆積物を得ることが可能であるが、反面かなりの重量であるため、この採泥器の投下・回収には巻き上げシステムが必要となる。湖沼全域で使用することができるが、堆積物を採取するための可動部を動かすためには、2 か所の着底板を同時に着底させる必要があるため、強い流れがある河川などでの採泥は難しい。流れがある河川の場合、水深が非常に浅い (50 cm 以下) 場所ではハンドグラブサンプラーのように手で開閉する採泥器で河川に入り直接採取する器具を用い、また比較的浅い水深 2 m 以下の場所では握泥器と呼称される棒を使って採泥器を湖底におろしマジックハンドのように採泥スペースを開閉する採泥器を用いると簡単に堆積物を採取できる (いずれの採泥器も離合社から市販されている)。

スミスマッキンタイヤー採泥器は砂質堆積物が

図 2 スミスマッキンタイヤー採泥器.

Fig. 2 Smith-McIntyre grab sampler.

沈殿しやすい浅瀬や流れが緩やかな河川等での堆積物調査や一定面積における底生生物の生息状況調査をするうえで役に立つ採泥器である。この採泥器でうまく採泥ができない場合、採泥器がまっすぐに湖底におりていないか、湖底に水草などがたまっていて着底板が抵抗なく水草のなかに嵌っているか、あるいは採泥箱を閉じるためのフックが錆びなどのためにうまく働いていないか、などが要因であることが多い。何度も採泥が失敗する際は、落ちていて採泥器が水中に垂直に投下されているか確認することが必要である。うまく採泥できず、着底板に水草が絡まっている場合は少し勢よく採泥器を落とすと採泥できる場合がある。それでもうまくいかなければ、可動部に油をさしてやるとよい。

2) 柱状堆積物試料採泥器 (表 1.3-11)

円筒形の採泥管 (パイプ) を湖底・海底に垂直に挿入することにより堆積物を採取する採泥器である。堆積物の層序確認や連続した環境の変化を

調査する古環境復元分野の研究において用いられている。表層採泥器同様長い歴史をもち、きわめて多くの装置が開発され、20 世紀前半には既に当時の柱状採泥器をまとめた総論が報告されている (例えば, Hvorslev, 1949)。柱状堆積物採泥器は、その採泥管を地中に挿入する力によって区分されることが多い (グラビティーコアラヤーや機械式ボーリングなど)。本稿では携帯型の柱状堆積物採泥器をまずその機構により 2 種、採泥器を湖底・海底まで吊るしておろす「投下式」と棒を使っておろしそのまま地中に突き刺す「押し込み式」に大別し、それぞれの採泥器に関して、採泥管を突き刺す原動力別に解説を行う。

2-1) 投下式 (表 1.3-6)

ロープで採泥器を吊るして投下し、湖底の堆積物を採取する型の採泥器である。水深に対する制約が少ないため、水深の深い湖沼での採泥に向いている。採泥を行うための原動力を基準に「グラビティーコアラヤー」「ノッキングコアラヤー」「空気圧

入式コアラー」などに区分することが可能である。

2-1.1) グラビティーコアラー (表 1.3-4)

グラビティーコアラーは採泥器自体の重さを利用して湖底堆積物に突き刺し、採泥を行う器具である。大重量の採泥器を吊り下げることが可能なフレームを備える船舶を使用できる海洋地質調査では、数十 kg から百 kg、時に 1t のおもりをつけたグラビティーコアラーを用いて、数 m の柱状堆積物を採取することも一般的であるが、人力で運用することを前提とした湖沼型のグラビティーコアラーは重量もさほどの重くなく、数十 cm の柱状堆積物を採取することを目的としている。基本的にはグラビティーコアラーの水深に対する制約はロープの長さのみとなるため、大水深での採泥が可能である。その一方で、押し込みのための力が弱く、また湖底の柔らかい堆積物はパイプとともに下部に押し下げられやすいため、長い堆積物を採取することには向いていない。グラビティーコアラーで採取した試料で長期間の古環境復元を行うことは難しいため、近過去の環境変動や湖底表層の堆積構造の調査などに用いられることが多い。

国内では離合社が上記の特徴を備えた採泥器を複数製造しており、容易に入手できる。著者らは離合社が販売する佐竹式コアサンプラー（後述するノッキングコアラー）をグラビティーコアラーに改良して使用している（図 3）。長さ 50 cm、内径 54 mm のアクリルパイプを吊り下し採泥を行う。採泥器の本体は、パイプを堆積物中に押し込むための錘の役割をもっているほか、可動式の蓋を内蔵している。柱状採泥器はパイプに堆積物を確保する構造上、パイプ上部に蓋がないとパイプを引き上げる際にパイプ上部から圧力がかかり、パイプ内の堆積物が洗い流されてしまう。逆にパイプ上部の蓋が固定されていると、パイプ内の空気や水が邪魔して堆積物がパイプ内にうまく入らない。そこで離合社の投下型採泥器には蓋（弁）がとりつけられており、佐竹式コアラーの場合、投下中は下からの水の流れによりもちあがり、回収中は上部からの圧力によりパイプ上部に押しつけられて蓋となる弁が設計されている。また離合社のコアラーは、堆積物中にまっすぐ突

図 3 離合社製グラビティーコアラー。

Fig. 3 Rigo gravity corer.

き刺すことができるように、上部に水中で垂直を保つためのひれが備え付けられている。湖底が泥質や有機物質の堆積物の場合、水深を問わず、表層の堆積物を柱状に採取することができる。市販されているものをそのまま利用したい場合、離合社の KB 型簡易コアサンプラーは典型的なグラビティーコアラである（離合社 website 参照）。上述した改良型佐竹式コアラとの違いとして蓋の構造があり、KB 型簡易コアサンプラーでは投下中蓋をコアラ上部に固定しており、採泥器が堆積物に刺さったのち、メッセンジャーを投下して採泥パイプに蓋を密着させる形式をとっている。また、重さとパイプ内径にも違いがあり、改良した佐竹式コアラサンプラーが 7 kg 弱に対して KB 型は 9 kg、改良佐竹式がパイプ内径 54 mm に対し KB 型は 40 mm となっている。KB 型は採取量がさほど多くないので、試料の量を必要とする分析や複数の分析を行う場合は、著者らのように他の採泥器を改良するか、次に紹介を行うリムノスコアラを使用するとよい。

グラビティーコアラでは泥質や有機質の堆積物の場合、コア長 30-45 cm 程度の堆積物を得られることが多いが、あまりに軟弱な堆積物の場合、パイプが深く刺さりすぎて堆積物がパイプ上部からあふれ出すことがある。採取した際にパイプの上限まで堆積物が詰まっており、かつ堆積物上部に湖底を示唆する特徴がみられない場合は表層堆積物が失われたことを想定して再度とり直すのがよいと思われる。その場合、湖底までの水深を、錘をつけたメジャー等を用いて正確に測ったうえで、採泥器を自由落下させる湖底からの高さを低くして採泥すると表層を含んだよい試料が採取できる。携帯型の採泥器のなかでも、とくに軽量でとり回しがよいため、山中や極地など人力での輸送が主体となる調査において重用されている。グラビティーコアラはコアキャッチャーなど採取した堆積物を保持するための機構がないため、回収時に採泥器を水中から空中にもちあげると、採泥パイプから堆積物が抜け落ちることが非常に多い。それを防ぐためには、パイプを完全に水中にもちあげる前に、ゴム栓などでパイプの下

部に栓をしてやるのがよい。2 人で採泥を行う場合には、1 人が採泥器を水面近くにもちあげている間に、もう 1 人が水中に手を入れてパイプに栓をすればよいのだが、1 人でグラビティーコアラを用いて採泥する場合、片手で採泥をもちあげて、もう片手を水面に入れて採泥器底部に栓をする必要があるため、バランスを崩して水中に落下しないよう注意を払う必要がある。

リムノスコアラは、表層堆積物を乱さずに大口径（パイプ内径 80-86 mm）の堆積物を採取することを目的に開発されたフィンランド産の採泥器である（図 4）（Kansanen *et al.*, 1991）。50 cm 程度のアクリルパイプを円筒形の採泥器に固定し、アクリルパイプ内に採泥する。湖底表層の約 1 m 上から自由落下させ、パイプを堆積物中に突き刺すとグラビティーコアラ同様、泥質や有機物質の堆積物の場合、コア長 30-45 cm 程度の堆積物を得られる。採泥した表層堆積物を落とさないための底口部はフックでコア上部に固定する。このフックは着底と同時に外れ、コアを引き抜く際にパイプの下に回り込み底となる。他の携帯型採泥器と比較してパイプの径が一回り大きい（表 1）、大容量の試料を得ることができる。また表層を乱さないため、後述する空圧式採泥器（マッケラスピストンコアラ）のように、長尺堆積物を採取できるが表層を乱しやすい採泥器と併用して用いることで、コアトップと現在とする表層堆積物と長尺の堆積物を組み合わせることができ、より古環境復元に適した試料を得ることができる。Limnos 社が製作・販売を行っていたが、2018 年現在リムノスコアラを扱ったウェブサイトは閉鎖されている。日本ではユビロンファクト社が同等品を販売しているが、ユビロンファクト社のリムノスコアラは採泥用のパイプ内径が 80 mm であり、Limnos 社の採泥パイプが扱っていた 86 mm 径より一回り細い仕様となっている。より大口径の堆積物試料を採取したい場合は、離合社から市販されている HR 型不攪乱柱状採泥器はパイプ径が 110 mm のものを用いる採泥器なので、こちらを使用するとよい。

リムノスコアラを用いた採泥作業でとくに注

A. 各部の名称

B. 採泥時の状態

図 4 リムノスコアラー。

Fig. 4 Limnos corer.

意が必要なのは、採泥パイプをパイプホルダーからとりだす際である。採泥後パイプホルダーを開いた状態（図 4B）でパイプを前面にとりだすのであるが、この際パイプ底部の下にスペースができるために、そのままとりだすとコア下部から堆積物が流出してしまう。幅広のヘラ等を準備して、パイプの下に差し込んでからパイプとヘラを一緒にとりだすと堆積物を失うことなく確保することができる。

2-1.2) ノッキングコアラー（あるいはパークッションコアラー）（表 1.5）

ノッキングコアラー（あるいはパークッション

コアラー）は、グラビティーコアラーの欠点である長尺堆積物を採取できない点を補うために開発された採泥器である。国立環境研究所の研究者により考案・製作されたコアラーが、離合社から佐竹式コアサンプラーとして販売されている。基本的な形状としてはグラビティーコアラーを吊るすロープに可動式の錘を乗せた形となる（図 5）。採泥方式はグラビティーコアラーと同様に湖底直上 1 m 程度から採泥器を落とし、堆積物をパイプ内に挿入する。その後、コア上の錘を一端軽くもちあげた後、採泥器上に落とし、採泥器を堆積物中に打ち込む形で採泥する。水深を問わない投

図 5 ノッキングコアラの仕組み。

Fig. 5 System of Knocking corer.

下式の採泥器のなかでは、採泥パイプ長にあわせた長めの堆積物試料が採取できる利点があり、大水深の湖沼における中長期の古環境復元に適している。1 m 弱の堆積物を簡易に採取することを目的とした重さ 7 kg 程度の採泥器から、5 m を超える長尺堆積物を採取することを目的とした重さ 25 kg 程度の採泥器、打ち込みに電動ハンマーを利用する重さ 80 kg 程の採泥器まで様々な種類が知られている（例えば, Gilbert and Glew, 1985; Reasoner, 1986, 1993; Adachi *et al.*, 2002）。ただし、電動ハンマーを用いる採泥器は本体重量に加えて回収に巻き上げウインチ等を準備する必要があり、必然的に大重量となり、本稿で定義した携帯型採泥器の範疇には含まれない。長尺コア採取を目的とした採泥器は、試料の採取に際して安定した足場と長時間のロープ固定が必要となるため、おもに氷上で用いられるのが一般的である。ノッキングコアラは採泥を行っている当事者が

現在どの程度採泥器内に堆積物を打ち込んでいるのか判断することができないため、堆積物の組成を把握したうえで複数回実施することが望ましい。また、錘による打ち込みで堆積物を採取するため、軟泥などの非常に柔らかい堆積物を除くと、堆積物を採取するために何度も錘を上げ下げする必要がある。人力によるノッキングコアラの場合、長尺コアを採取する際、他の携帯型採泥器と比較して、採泥にかかる時間が長いことを留意して調査を行う必要がある。

ノッキングコアラは泥質（シルト質）の堆積物採取に向いている。火山灰層や砂層を含む堆積物でもノッキングを繰り返すことで貫入させることができるが、高い頻度で回収時に火山灰層や砂層で堆積物が切れ、下部の層が失われてしまう。採泥に時間がかかる採泥器だけに、コアキャッチャーがついている型の採泥器でないのであれば別の採泥器を用いた方が無難である。離合社の佐

竹式コアサンプラーは別途採泥パイプの先端に蓋をするバルブを購入することができる。

2-1.3) 空気圧入式ピストンコアラ（マッケラスピストンコアラ）（表 1.6）

イギリスで 1958 年に報告された空気圧入式ピストンコアラ、マッケラスピストンコアラは少人数による可搬型の採泥器のなかではもっとも長尺の連続堆積物を採取できる器具の一つである (Mackereth, 1958; Smith, 1959)。その機構は他の携帯採泥器に比べると少々複雑である (図 6)。採泥を行うためには、採泥器本体のほかに、水を吸い上げるポンプと空気を送りこむコンプレッサーが必要となる。採泥器本体は、採泥部分となる塩ビパイプ（インナーパイプ）と、インナーパイプを内蔵するためのアルミニウム製のアウターパイプ、そしてコアの固定およびコア引き上げのための浮力を生み出すための外套からなる。マッケラスピストンコアラの作業手順は以下の通りである。1. 採泥器をポンプおよびコンプレッサーに接続した後、水中に投下する。2. 着底後ポンプで外套部の水を吸い上げ、採泥器の外套を堆積物中に挿入する。3. アウターパイプに圧縮空気を送りこみ、インナーパイプを堆積物中に挿入する。4. 今度は外套に圧縮空気を挿入し、浮力で採泥器を水面に打ち上げる。

マッケラスピストンコアラは人力よりも強い圧縮空気を用いて堆積物中に採泥パイプを押し込むために、最大で 4-6 m の堆積物を採取することが可能であり、数百年～数千年単位 of 古環境復元を行うのに適した試料を採取することができる。その一方で、採泥器本体を堆積物中に挿入するために外套の水を吸い上げる際（上記手順 2）や堆積物や水中から回収する際（上記手順 4）に、表層堆積物を乱しやすく、近過去の環境を復元するには向いていない。また、採泥の際にはコンプレッサーから送りこんだ圧縮空気でパイプを押し出すため、採泥可能水深はコンプレッサーの性能に依存する。開発者である Mackereth は最大水深 250 m まで採泥が可能だと報告しているが (Mackereth, 1958)、大水深で採泥を行う際に大型のコンプレッサーを準備する必要がある、その

分採泥器の運搬が難しくなる。安全面の問題として、マッケラスピストンコアラは浮力で採泥器を水面に打ち上げるため、噴出したコアラがボートにあたると大事故が発生しかねないことに留意しなくてはならない。外套に空気を送り込むためのホースは十分な長さを用意し、空気を送り込む前には、ボートをコアラ直上から大きく離れさせることを忘れてはならない。

2-2) 押し込み式（表 1.7-11）

棒を使い堆積物にパイプを押し込む方式の採泥器「押し込み式採泥器」は簡素な形式のため、各研究者により作成されており、とくに種類が多い採泥器である（例えば、Livingstone, 1955; 吉川ほか, 1977; 佐藤ほか, 2009）。基本的に、押し込み式の採泥器は投下式の採泥器と比較して長い堆積物試料を採取することに優れており（例外として、マッケラスピストンコアラ）、数百年から数千年単位 of 古環境復元に適した試料を採取することに適している。この段落では、南極湖沼調査用に 36 次南極観測隊で伊村・瀬戸（敬称略、以下同）が作成した「簡易型押し込みピストンコアラ」と、同じく瀬戸により 46 次南極観測隊で南極湖沼調査用に開発されたものの発展形にあたる「瀬戸式不擾乱半割ピストンコアラ」、および菅沼により 59 次南極観測隊向けに砂泥堆積物の採取を目的に開発された「菅沼式可搬型パークッションピストンコアラ」を紹介する。いずれも南極の水結湖沼を想定して作成された採泥器であるが、南極以外の凍結していない湖沼においても採泥を行うことが可能で、小型ボート等を使った採泥で使用されている（例えば、Katsuki *et al.*, 2008, 2016）。

押し込み式採泥器のなかには上記 3 種の採泥器とは異なった着想により、作成された器具も存在する。「マルチサンプラー」は、水深の浅い湖沼において、1 m 弱の堆積物を迅速に採取することを目的に開発されたコアラである。また、ハンドオーガー（チャンバータイプサンプラー）のなかにも湖沼の柱状堆積物の採取に適した器具が存在するため、この段落で解説を加える。なお、この段落で述べる採泥器の名称は、開発代表者の

図 6 空気圧入式ピストンコアラー（マッケラスピストンコアラー）の構成と採泥手順。

Fig. 6 Components of air pushing piston corer, called a Mackereth piston corer, and sampling method.

名称とその特徴を記載したもので正式名称ではないものが含まれている。

2-2.1) 簡易型押し込みピストンコアラ (表 1.7)

ねじ穴をあけた塩化ビニルあるいはポリカーボネイトのパイプに、堆積物の効率的な採取を行うためのピストンを入れ、堆積物に突き刺すためのステンレス製のヘッドと、押し込み棒と繋ぐためのステンレス製ジョイントを組み合わせた非常に簡素な形状をした採泥器である (図 7A)。押し込み棒は捻じ込みで接続できる 1 本 1 m のステンレスの棒を用いている。泥・シルト堆積物のような軟弱な地層の場合、最大 2-3 m の連続堆積物を採取することが可能な点で優れている。採取に適した湖沼の水深は 2-15 m 程度で、採取可能最大水深は約 20 m である。ただし、採取可能最大水深は基本的に押し込み棒の素材に依存しており、押し込み棒の素材を変えることで最大採取可能深度をさらに深くすることが可能である。押し込み棒の素材において重要視されるのは、圧力をかけた際のたわみの少なさ (剛性) であり、剛性が高いほど押す力を直接採泥器に伝えることができる。また、運搬と使い勝手の観点から軽さも重要である。著者らが知る限りこの 2 点において優れている素材はカーボン FRP である (カーボン FRP を使った押し込み棒に関しては、後述の菅沼式可搬型パーカッションピストンコアラの欄で説明する)。この簡易型押し込みピストンコアラ (以下、簡易型採泥器) および後継機である瀬戸式不擾乱半割ピストンコアラの利点に、堆積物採取時に表層堆積物をほとんど乱さないことがある。また、押し込み式採泥器全般にいえる利点だが、採泥器が湖底に到着してから、押し込み棒を何 cm 押したかを測ることで、現在表層から何 cm の試料を採取しているかある程度把握できるため、目的に応じた長さの試料を採取することができる。最表層の堆積物を損なうことなく連続試料を採取することが可能であるため、近過去の古環境復元に適した採泥器であるといえる。小型湖沼においてボート上からこの簡易型採泥器を用いて採取した試料を使用して、過去の数百年の

豪雨・台風災害を復元した論文等が報告されている (Katsuki *et al.*, 2016)。

2-2.2) 瀬戸式不擾乱半割ピストンコアラ (表 1.8)

瀬戸式不擾乱半割ピストンコアラ (以下、瀬戸式採泥器) は、採泥後の堆積物の変形を防ぐこととコア処理の利便性に重点をおいた押し込み式コアラである。簡易型コアラとの大きな違いは、採取した堆積物の保管場所となるパイプ部分にある。簡易型コアラでパイプであった部分が、瀬戸式コアラでは長さ 1 m の半円柱形のアルミパイプを組み合わせるものとなっており、同じく半円柱形のステンレス製のパイプ接続ジョイントを使って、パイプどうしを接続し、パイプの長さを調整することが可能である (図 7B)。簡易型コアラでは塩化ビニル・ポリカーボネイトパイプを使用していたため、採取した堆積物をパイプからとりだす場合、パイプから堆積物を押し出すか、パイプ自体をグラインダー等で半割するしかなかった。しかし、堆積物を押し出した場合、堆積物が変形してしまう。軟泥などをパイプ底部から押し出すと 1 割前後は圧縮される。押し出した堆積物の受け皿となる半割パイプ状に滑りのよいビニールなどを敷いて、堆積物を押し出すとともにビニールを引いていけば圧縮率は大幅に軽減されるが、押し出し側と引き手側のタイミングがあわないと逆に堆積物が伸長したり、層序境界で堆積物が破断したりする。とくに柔らかい表層堆積物は変形しやすく、含水率が高い試料では押し出しの際に流れ出しが起こる。さらに、堆積物の粒度や組成ごとに伸縮率が変わったりするため、表層堆積物の堆積速度を正確に求めることが困難となる。パイプ自体を半割すればこの問題点は解消されるが、パイプは使い捨てになってしまう。瀬戸式コアラはパイプ自体をパイプ接続ジョイントとともに容易に半割できるため、堆積物の半割がたやすく、パイプ自体を失うことなく堆積物を採取時の状態のままで観察することが可能である。採取に適した湖沼の水深は、簡易型コアラと同じく 2-15 m 程度で、採取可能最大水深は約 20 m となっている。

図 7 押し込み式ピストンコアラーの構成と特徴。(A) 簡易押し込み式コアラーの構成。(B) 瀬戸式ピストンコアラーで使用される半割パイプとジョイント。(C) 菅沼式コアラーの特徴と採泥風景。

Fig. 7 Compositions and characteristics of pushing piston corers. (A) Composition of Proto-type pushing piston corer. (B) Separated pipes and joints of Seto-type undisturbed separable piston corer. (C) Characteristics of Suganuma-type portable percussion piston corer, and sampling using the corer.

簡易型採泥器や瀬戸式採泥器の使用上の注意として、採泥後のパイプのとり扱いがあげられる。グラビティーコアラと同様パイプを水面からあげる前に、コア下部に蓋をすると堆積物の下部からの流出を防ぐことができる。採泥器を船にあげたらビニールテープ等を用いて、蓋をコア下部に固定し、ユニパック等のビニール袋でくるんでしまうといよい。採泥後、パイプ内の堆積物上にはピストンがあるが、通常堆積物とピストンの間には水が入っている。この状態でパイプを横にすると水と表層堆積物が混ざり表層堆積物の層序が崩れるため、採取後はパイプを立てておく必要がある。採泥後陸上に着いたら、まずコア上部のジョイントをとり外し、パイプ上部からピストンの位置を確認する。目視で確認できなければ折れ尺等を入れて確認するとよい。次に堆積物がどの程度入っているか目安をつける。堆積物と湖底の水は温度差があること多いので、パイプの温度差からある程度判別がつく。あるいは、パイプを軽くノックし、堆積物が詰まっているところとそうでないところの反響の違いから判断する。簡易型採泥器の場合、堆積物上の水が入っている場所に目安がついたら、その位置にハンドドリル等で塩ビパイプに穴をあけ、水を抜く。この際、水が濁っていたり泥が出てきたりするようだと、表層堆積物が流出している可能性が高いので、即座に穴をビニールテープ等で塞ぎ、穴をあけた場所より少し高い位置にもう一度穴をあけて水を抜く。穴から水が完全に抜けたら、パイプ上部からピストンを引き抜き、代わりに堆積物を抑える蓋を入れる。瀬戸式採泥器の場合はジョイントを外した後、半割アルミパイプを軽く左右に引っ張ってやると、パイプとパイプの隙間から水が抜けるので、水が抜けた後、ピストンを引き抜き、蓋を入れる。蓋はパイプ内径と同じサイズであれば、素材は何でもよいが分析項目を考慮して試料の汚染が起きないように気をつける必要がある。多少厚みがある蓋の方がきれいにパイプに入れやすく、パイプを横にした際に堆積物の流出も起きにくい。パイプの一番上から堆積物まで距離がある場合は蓋を押し込み棒などで押してやるとよいが、この際蓋がまっ

すぐおりているか気をつける必要がある。蓋の上には、タオルやキムタオル等を入れてやると、パイプを横にした際に蓋が動くのを防ぎ、堆積物からしみだしてくる水がパイプから流れ出るのを抑えることができる。この状態になるとパイプを横にしても堆積物の搅拌や擾乱は起きにくいので、保管し任意のタイミングで堆積物の処理を行うことができる。

2.2.3) 菅沼式可搬型パーカッションピストンコアラ (表 1.9)

菅沼ほか (2019) は、基盤岩に到達するまで堆積物を採取することを目的に新たな可搬型パーカッションピストンコアラを開発した。本論ではこのコアラを菅沼式可搬型パーカッションピストンコアラ (以下、菅沼式採泥器) と呼ぶ。菅沼式採泥器は携帯型の採泥器全般で採取することが難しい砂質・砂礫堆積物を採取することが可能な数少ない採泥器である。外観は簡易型採泥器上に押し込み機具であるパーカッション・マシン Cobra PROi (TTe) (Atlas Copco 製: 図 7C) を接続する形態となっており、採泥器本体の外観は簡易型とほぼ同じであるが、各パーツの構造は Cobra の振動に耐え、砂質堆積物を採取するため、素材と形状が異なっている (菅沼ほか, 2019)。堆積物に突き刺すためのヘッドは基盤岩に打ち付けても変形しない熱入れをしたモリブデン鋼である。押し込み棒は、変形しにくいカーボン FRP 素材であり、各押し込み棒は Cobra の振動で接続部が焼き切れるのを避けるため、捻じ込み式ではなく、専用のジョイントを螺子で固定する形式となっている。菅沼式採泥器の採取に適した湖沼の水深は、2-25 m 程度で、採取可能最大水深は 30 m を超えると考えられる (水深 30 m 以上の採泥は未検証)。菅沼式採泥器に使われているカーボン FRP 素材の押し込み棒は、前述のステンレス製の押し込み棒に比べて、軽量さと曲がりにくさの点で優れており、専用の接続器具を使い、簡易型採泥器や瀬戸式採泥器に繋げることで、簡易型採泥器や瀬戸式採泥器でも水深 30 m 以下の地点で採泥を行うことが可能である。菅沼式採泥器は押し込み方法が人力でなく、Cobra による機

械式であるため採泥深度と堆積物組成によっては打ち込んだ採泥器の引き上げを人力で行うことができない。その際は携帯三脚にチェーンブロックをつけて押し込み棒を巻き上げると堆積物の回収ができる。菅沼式採泥器は湖底堆積物中に砂層が含まれていても問題なく採取することが可能なため、数千年単位の古環境復元や湖底の堆積物層序を調査する際に有用な採泥器であるが、使用にあたってコア本体と押し込み棒のほかに、押し込み動力となる *Cobra* が不可欠であり、さらに三脚・巻き上げ器が要求される。電動式ノッキングコアロー同様に運搬重量が重い場合、運用に人員が必要な点が課題である。

菅沼式採泥器を運用するうえでの注意点として、採泥器を水中に投下する前、あるいは水面付近でパイプのなかに水を満たす必要があることがあげられる。パイプ状に水が満たされていないとパイプを水中に投下した際にパイプ底部からピストンに水圧がかかり、パイプが堆積物に刺さる前に、ピストンが上方に移動してしまう（著者の経験上パイプ長が3-4 m を超えるあたりから水圧によるピストン移動の問題が深刻化する）。ピストンがコア最上部まで移動すると採泥器をそれ以上押し込めなくなってしまうので、採取できる堆積物の長さが短くなる。そこであらかじめパイプ内のピストン上に水を満たし、ピストンの水圧による移動を避けることが必要となる。また、安定した氷上ではなく、ボートなどを用いて採泥を行う場合、ボートの安定に気を配る必要がある。*Cobra* を使用して採泥器を押している間ボートが動かないことが重要なため、錨を4つ準備しボートの四方におろし、ボートが流されそうになったらオールではなく、アンカーロープを引っ張って位置調整を行うとよい。

2-2.4) マルチサンプラー（表 1.10）

オランダの *Eijkelpamp* 社が作成したマルチサンプラーは、水深の浅い湖沼において、1m 弱の堆積物を多数の地点から迅速に採取することに優れた採泥器である（図 8）。軽量さととり回しのよさが特徴で、パイプを含めた採泥器本体の重さは 3 kg 以下である。他の採泥器と異なり、押し

込み棒は採泥パイプの真上ではなく、ピストンの動作を制御する上部パーツ（図 8-(2)）の側面に接続される。パイプを堆積物に深く差し込むためのピストンは、パイプの固定具を兼ね、堆積物採取後は採泥器本体からとり外し、堆積物上部の蓋としてそのまま使用することができる。押し込み棒自体も接続速度を重視している。各押し込み棒は長さ 1 m の細身のステンレス製の棒であり、押し込み棒どうしは嵌め込みで接続する。簡単に接続できる反面、接続部分の強度が低く、締まりのよい堆積物などでは深く押し込むことが難しい。マルチサンプラーは堆積物保管部分であるパイプを簡単にとり外し次のパイプととり換えることが可能であるため、湖沼において測線に沿って連続的に表層堆積物を採取することが可能であり、湖底の浚渫や覆砂事業の後に新たに堆積した新生堆積物の分布状況の把握や複数堆積物試料による小型湖沼全体の堆積環境の変化を調査する際に有用である（*Bábek et al.*, 2008, 2011）。

2-2.5) ロシア式ピートサンプラー（図 9, 表 1.11）

ハンドオーガーあるいはチャンバータイプサンプラーと呼称される刃を回転させて堆積物を採取する型の採土器は様々な種類が存在するが、そのうちロシア式ピートサンプラーと呼ばれる採土器は、湖底堆積物のある程度連続的に採取することができる。その原理は、内部に堆積物を保管するスペースのある半割された三角錐を、押し込み棒で目的の湖底堆積物の深度まで挿し込み、目的深度で半割された三角錐を回転させることにより、試料を採取する手法である（図 9）。原理上連続して採取できるのは、三角錐内部の堆積物保管スペースの長さ（大体 20-40 cm）までとなり、連続した堆積層の変化や古環境の変遷を確認したい場合、採泥地点をずらして何度も採泥する必要がある。その性質上、厳密な意味では連続堆積物の採泥器ではなく、年縞堆積物のように連続性に価値がある堆積物試料の調査には向かない。しかし、ロシア式ピートサンプラーは形状的に他の押し込み式採泥器より堆積物に押し込みやすいため、浅い湖の湖底堆積物では深度 5 m を超える

図 8 マルチサンプラーの構成と採泥手順.

Fig. 8 Components of multisampler, and sampling method by the corer.

堆積物の採泥が比較的容易であり、砂層もその層厚が薄い場合は採取することができるという大きな利点がある。そのため、菅沼式採泥器同様、数千年単位の古環境復元や湖底の堆積物層序を調査する際に有用な採土器である。

III. ま と め

本稿では、湖沼調査で用いられる数ある採泥器のうち、もち運びが可能で、とくに代表的な器具と優れた特性をもちながらあまり知られていない器具を中心に紹介を行った。採泥器は種類が多く、研究目的に応じて器具を選ぶ必要がある。携帯型の採泥器は研究者が町工場等と共同して開発し、宣伝を行わないことが多いので、各採泥器の有用性は研究者間の口コミでしか広がりず、公には知られていないことが多い。本稿では、11種の採泥器について、その構造や採泥に適した水深、採泥可能な堆積物長、ならびに堆積物組成を

紹介し、読者が湖底堆積物の調査時に目的に応じた採泥器を選べるように配慮した。紹介した採泥器は、表層堆積物の採取を主目的とする「エクマンバージ採泥器」と「スミスマッキンタイヤー採泥器」、水深を選ばず柱状堆積物の採取を行える投下型採泥器「離合社製グラビティーコアラ」「リムノスコアラ」「ノッキングコアラ」、3 mを超えるロングコアの採取が可能である「マッケラスピストンコアラ」、表層を乱さずに1 mを超える柱状堆積物の採取が可能である「簡易型押し込みピストンコアラ」「瀬戸式不擾乱半割ピストンコアラ」、砂層を含めた柱状堆積物の採取が可能な「菅沼式可搬型パーカッションピストンコアラ」、連続で表層堆積物の採取が可能な「マルチサンプラー」、そして不連続ながら5 m以上の湖底堆積物を人力で採取可能な「ロシア式ピートサンプラー」である。

湖底堆積物を用いて古環境復元を行う場合、研

図 9 ロシア式ピートサンプラーの構成と採泥手順.

Fig. 9 Components of Russian Peat sampler, and sampling method using the corer.

究目的を明確にして採泥器を選ぶことが肝要である。表層数十 cm の試料を用いて現在から近過去の環境変動解析を目的とした場合、「グラビティコーラー」か「リムノスコアー」を用いるのがよく、多項目分析を行うために試料の量が必要ならば「リムノスコアー」がとくに適している。より長い試料 (0.5-2 m) を採取し、現在から過去数百年の環境解析を目的とする場合、調査湖沼が浅い (水深 15 m 以下) ならば「瀬戸式不擾乱半割ピストンコーラー」、より深い湖沼ならば「ノッキングコーラー」を用いることができる。表層堆積物は失われるが、長い堆積物 (3-8 m) を用いて長期 (数百年から数千年) の環境変動の解明を目指す場合は「マッケラスピストンコーラー」か「菅沼式可搬型パーカッションピストンコーラー」が必要となる。とくに、湖底に河川堆積物や災害イベントなどによる粗粒堆積物が含まれることが想定される場合は「菅沼式可搬型パーカッションピストンコーラー」を用いるとよい。

分析において堆積物の連続性が重要視されない場合は「ロシア式ピートサンプラー」を用いても、簡便に長尺堆積物に類する試料を得ることができる。また、長い試料ではなく多数の地点において 1 m 弱程度の堆積物を採取し比較したい場合には、「マルチサンプラー」を用いると迅速な採取が可能である。

謝 辞

採泥器を所有する島根大学エスチュアリー研究センター、国立極地研究所、ならびに韓国地質資源研究院地質環境災害研究センターの方々には、採泥器を用いた湖沼調査の際にお世話になった。本稿で紹介した採泥器を用いた調査には文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (B) 課題番号 16H05739 (代表者菅沼悠介)、新学術領域研究 (研究領域提案型) 課題番号 17H06321 (代表者福田洋一)、および公益財団法人東レ科学振興会研究助成金 (代表者菅沼悠介)、韓国地質資源研究院受託研究費 (代表者香月興太) の一部を使用した。こ

こに記して謝意を表する。

文 献

- Adachi, H., Yamano, H., Kayanne, H., Matsuda F. and Tsuji, Y. (2002): A portable, electrical-based percussion coring system for use in deep water. *Journal of Sedimentary Research*, **72**, 727–730.
- Bábek, O., Hilscherová, K., Nehyba, S., Zeman, J., Faměra, M., Franců, J., Holoubek, I., Machát, J. and Klánová, J. (2008): Contamination history of river sediments accumulated in an oxbow lake over the last 25 year; Morava River (Danube Catchment Area), Czech Republic. *Journal of Soils and Sediments*, **8**, 165–176.
- Bábek, O., Faměra, M., Hilscherová, K., Kalvoda, J., Dobrovolný, P., Jan Sedláček, J., Machát, J. and Holoubek, I. (2011): Geochemical traces of flood layers in the fluvial sedimentary archive; Implications for contamination history analyses. *Catena*, **87**, 281–290.
- Ekman, S. (1911): Neue Apparate zur qualitativen und quantitativen Erforschung der Bodenfauna der Seen. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, **3**, 553–561.
- Gilbert, R. and Glew, J. (1985): A portable percussion coring device for lacustrine and marine sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, **55**, 607–608.
- Glew, J.R., Smol, J.P. and Last, W.M. (2001): Sediment core collection and extrusion. in *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques* edited by Last, W.M. and Smol, J.P., Springer, 73–105.
- Hvorslev, M.J. (1949): *Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes*. Waterways Experiment Station, the Engineering Foundation.
- Kansanen, P.H., Jaakkola, T., Kulmala, S. and Suutarinen, R. (1991): Sedimentation and distribution of gamma-emitting radionuclides in bottom sediments of southern Lake Päijänne, Finland, after the Chernobyl accident. *Hydrobiologia*, **222**, 121–140.
- Katsuki, K., Miyamoto, Y., Yamada, K., Takata, H., Yamaguchi, K., Nakayama, D., Coops, H., Kunii, H., Nomura, R. and Khim, B.K. (2008): Eutrophication-induced phase changes of the ecosystem in a Lake Nakaumi, southwestern Japan. *Journal of Paleolimnology*, **40**, 1115–1125.
- Katsuki, K., Yang, D.Y., Seto, K., Yasuhara, M., Takata, H., Otsuka, M., Nakanishi, T., Yoon, Y., Um, I.K., Cheung, R.C.W., Khim, B.K. and Kashima, K. (2016): Factors controlling typhoons and storm rain on the Korean Peninsula during the Little Ice Age. *Journal of Paleolimnology*, **55**, 35–48.
- Last, W.M. and Smol, J.P. (2001): *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*. Springer.
- Livingstone, D.A. (1955): A lightweight piston sampler for lake deposits. *Ecology*, **36**, 137–139.
- Mackereth, F.J.H. (1958): A portable core sampler for lake deposits. *Limnology and Oceanography*, **3**, 181–191.
- Reasoner, M.A. (1986): An inexpensive, lightweight percussion core sampling system. *Geographie Physique et Quaternaire*, **XL**, 2, 217–219.
- Reasoner, M.A. (1993): Equipment and procedure improvements for a lightweight, inexpensive, percussion core sampling system. *Journal of Paleolimnology*, **8**, 273–281.
- 佐藤高晴・竹田一彦・田中謙太郎・山崎博史 (2009): 小さな池での堆積物コアを用いた長期間の環境汚染モニタリングの提案. 人間と環境, **35**, 14–17. [Sato, T., Takeda, K., Tanaka, K. and Yamasaki, H. (2009): Proposal of long term environmental-pollution monitoring by use of sediment cores in a small pond. *People and Environment*, **35**, 14–17. (in Japanese)]
- Smith, A.J. (1959): Description of the Mackereth portable core sampler. *Journal of Sedimentary Petrology*, **29**, 246–250.
- Smol, J.P. (2002): *Pollution of Lake and Rivers*. Oxford University Press.
- 菅沼悠介・香月興太・金田平太郎・川又基人・田邊優貴子・柴田大輔 (2019): 可搬型パーカッションピストンコアラーの開発. 地質学雑誌, **125**, 323–326. [Suganuma, Y., Katsuki, K., Kaneda, H., Kawamata, M., Tanabe, Y. and Shibata, D. (2019): Development of a portable percussion piston corer. *Journal of the Geological Society of Japan*, **125**, 323–326. (in Japanese with English abstract)]
- Suzuki, Y., Tada, Y., Yamada, K., Irino, T., Nagashima, K., Nakagawa, T. and Omori, T. (2016): Mass accumulation rate of detrital materials in Lake Suigetsu as a potential proxy for heavy precipitation: A comparison of the observational precipitation and sedimentary record. *Progress in Earth and Planetary Science*, **3**, 5.
- Takano, Y., Tyler, J.J., Kojima, H., Yokoyama, Y., Tanabe, Y., Sato, T., Ogawa, N., Ohkouchi, N. and Fukui, M. (2012): Holocene lake development and glacial-isostatic uplift at Lake Skallen and Lake Oyako, Lützow-Holm Bay, East Antarctica: Based on biogeochemical facies and molecular signatures. *Applied Geochemistry*, **27**, 2546–2559.
- 吉川秀樹・山口英利・安田 聡 (1997): 水深の浅い湖沼における押し込み式簡易軽量柱状採泥器の紹介. 地質ニュース, **520**, 30–33. [Yoshikawa, H., Yamaguchi, E. and Yasuda, S. (1997): Development of handy corer in shallow water. *Chishitsu News*, **520**, 30–33. (in Japanese)]