

— 速 報 —

表層型メタンハイドレート開発における ROV による 堆積物埋在性メガベントス採集技術の考案*

石田 洋^{1†}・瀬尾 絵理子²

要 旨

表層型メタンハイドレート資源開発では、環境影響評価の一環として、メガベントスの調査が行われている。調査海域では、殻長約 80 mm の深海性二枚貝の死殻は確認されているが生貝は採集されていない。この要因として、堆積物の採集深度と量の不足が考えられる。本研究では、ROV により、繰り返し採泥が可能な採集装置を 4 種類考案・試作した。それらを深海底において試験したところ、繰り返しの採泥ができ、その内の 1 種類では 25 回の採泥を行い、殻長約 80 mm のオウナガイ類生貝が採集された。本研究で試作した採集装置は、二枚貝など深海の埋在性メガベントス調査・研究に有用になりうることを示唆された。

キーワード：表層型メタンハイドレート、採集装置、メガベントス、深海性二枚貝

1. はじめに

日本海における表層型メタンハイドレート資源開発では、環境影響評価の一環として、海洋環境ベースライン調査（以降、本調査）が行われている（天満，2022）。本調査では、メガベントス（大きさ 4 mm 以上のベントスの総称）が調査されており、遠隔操作型無人潜水機（ROV: Remotely Operated Vehicle, 以降、ROV）あるいは自律型無人潜水機（AUV: Autonomous Under-

water Vehicle）搭載のカメラにより目視観察がなされている。また、ROV に搭載した採泥器により採集された堆積物を篩分けしてソーティングし、種同定、現存量評価がなされている。さらに、深海性二枚貝類の死殻が海底面上に集積している地点があり、オウナガイ類と考えられる死殻（殻長約 80 mm）が複数採集されている。オウナガイ類は、嫌気的な環境や湧水域の堆積物に、深く潜る埋在性の二枚貝類である（藤倉ら，2012）。日本海においては、化石についての報告がある（天野，2014）。一方で、本調査において採集されたオウナガイ類の死殻には殻皮があり、生貝の存在が示唆される。オウナガイ類の生貝が採集できていない要因として、堆積物の採集深度および量が不足していることが考えられる。表層型メタンハイドレート賦存域においては、二枚貝類などの堆積物埋在性メガベントスの情報は少なく、環境影響評価のために現状を把握しておく必要がある。

* 2025 年 6 月 18 日受領 2025 年 9 月 16 日受理
著作権：日本海洋学会，2025 年

1 公益財団法人海洋生物環境研究所 中央研究所本所
〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田 300 番地

2 公益財団法人海洋生物環境研究所 中央研究所柏崎支所
〒945-0017 新潟県柏崎市荒浜四丁目 7 番 17 号

† 連絡著者：石田 洋
e-mail：h-ishida@kaiseiken.or.jp

本調査における採泥には、MBARI コアラー (Monte-rey Bay Aquarium Research Institute で開発されたコアサンプラー) および ROV のマニピレーターで操作できるように改良されたエクマンバージ型採泥器 (以降、ROV エクマン) が使われている。この内、メガベントス調査には ROV エクマンが使われており、堆積物の約 15 cm×15 cm の区画を深さ方向に最大で約 15 cm まで採集でき、ROV に搭載できる数は 3, 4 台である。

本研究では、ROV の 1 回の潜航で、マニピレーターにより、定量的かつ従来よりも深く、大量に採泥できる技術を開発することを目的とし、採集装置を考案し試作した。また、深海底におけるそれら試作機の実用化試験を実施した。

2. 材料と方法

2.1. 採集装置の考案

採集装置は、本調査で使用している ROV (はくよう 3000; 深田サルベージ建設株式会社) で運用できるように、既存の採泥器および漁具などの技術を利用し、4 種類を考案した。既存の採泥器には、ROV エクマンおよびスミス・マッキンタイヤ採泥器 (以降、スミキン) の採泥部分を、漁具などの技術には、ジョレン (干潟など浅海で貝漁に利用される漁具) とベンチックチャンバー (堆積物一直上水研究用の海底囲い込み実験装置の総称) の技術を、それぞれ利用することとした。

2.2. 既存の採泥器の利用

ROV エクマンは、エクマンバージ型採泥器をマニピレーターで操作できるように改良した採泥器である。下フタが引きバネにより閉じる仕組みに着目した。スミキンの採泥部分は、左右対称の採泥部分の上部が蝶番により繋がっており、開いた状態で堆積物に貫入させ、引き上げる際に閉じる仕組みである。マニピレーターにより、前者は下フタの開閉ができるように、後者は採泥部分の開閉ができるように、それぞれ方法と器具を考案し、試作した。

2.3. 漁具などの技術の利用

ジョレンは、2 台のジョレンの開口部を向かい合わせ、開口部の上部を蝶番で接続することで、上述したスミキンと同様の開閉ができると考えられた。2 台のジョレンを蝶番で接続し、スミキン採泥部分開閉用の器具を調整して組み込んで試作した。

ベンチックチャンバーは複数種類があり (Tengberg *et al.*, 1995), ドイツの海洋研究所 GEOMAR が開発し、我が国でも使用実績のある装置の海底囲い込み部分の構造を参考とした (Pfannkuche, 1993; Ishida *et al.*, 2005)。海底囲い込み部分は箱型で、内側の側面に溝があり、その溝に沿ってシャッターが可動して下フタがなされる。この動作がマニピレーターの操作で可能となる採集装置を考案・試作した。

3. 結果

3.1. 試作した採集装置

Fig. 1 および Table 1 に、本研究で考案・試作した各採集装置の写真および特徴などをまとめた。

3.1.1 ROV エクマンを利用した採集装置

Fig. 2 (a) に、採集装置 (以降、改良型 ROV エクマン) の構造図を、Fig. 2 (b) に、操作のイメージを示した。改良型 ROV エクマンは、下フタを作動させるバーを握ると下フタが開く。その状態で堆積物に押し込み、堆積物から抜き上げる際にバーを開放することで引きバネの力で下フタが閉じ、採泥できる。この状態で回収容器の上部に運び、バーを握ると下フタが開放し、採泥試料は自重で回収容器内に落下する (Fig. 2 (b))。マニピレーターの握る、開くという操作のみで、下フタが開閉することが最大の利点である。

3.1.2 スミキン採泥部分を利用した採集装置

Fig. 3 (a) に、採集装置 (以降、ROV 用スミキン) の構造図を、Fig. 3 (b) に、操作イメージを示した。支柱に沿って上下する可動部を握りながら持ち上げると、採泥部分が開放状態となり、その状態で堆積物に押し込む。支柱の上部に持ち替えて、引き上げると採泥部分が閉じ採泥できる。回収容器内に置き、可動部に握り替えて持

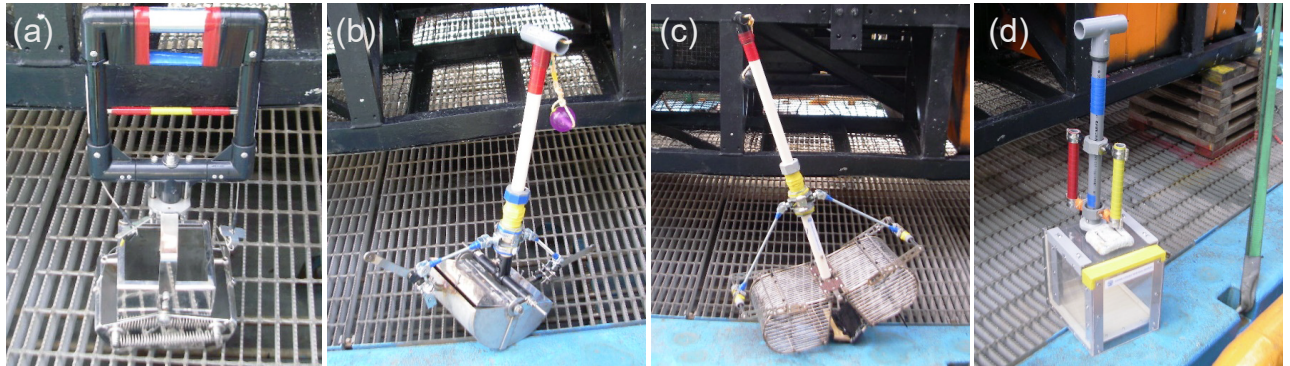


Fig. 1 Photographs of the designed and fabricated samplers. (a) Remotely operated vehicle (ROV)-specific Ekman Barge sediment sampler in use; (b) Grab bucket of a Smith–McIntyre grab sampler in use; (c) Metal fishing cage (Jap. Joren) sampler in use; (d) Sediment-sampling mechanism based on the GEOMAR-type benthic chamber.

Table 1 Summary of the sizes, features, and main materials of the sediment samplers fabricated in this study.

Name of Sampler	Sampler using a ROV-specific Ekman Barge sediment sampler	Sampler using the grab bucket of a Smith–McIntyre grab sampler	Sampler with <i>Joren</i>	Underlid-shutter-type sediment sampler
Total length (mm)	570	840	850	780
Weight in air (kg)	4.5	7.5	6	3.5
Size of sediment sampling part (width, depth, height in mm)	150, 150, 150	250, 230, 125	430, 265, 160	210, 210, 250
Features	The under lid opens and closes by gripping and releasing the manipulator; changing grips with the manipulator is not required (Fig. 2).	The sediment sampling section opens and closes via manipulator-controlled switching between the movable and holding pipes (Fig. 3).	Functions identically to the sampler using the grab bucket of a Smith–McIntyre grab sampler; intended for collecting samples larger than the mesh.	The under-lid shutter is moved by the manipulator and during sediment collection (Fig. 4). Suitable for collecting soft sediment, materials such as megabenthos, and rocks above the seafloor.
Main materials	ROV-specific Ekman Barge sampler, metal pipes, metal rods, wire, bolts, and nuts.	Grab bucket of a Smith–McIntyre grab sampler, metal pipe, PVC pipe, movable joint, fully threaded metal rod, bolts, and nuts.	Metal fishing cage (<i>Joren</i> in Japanese). The components are those of the sampler using the grab bucket of a Smith–McIntyre grab sampler.	PVC pipe, PVC transparent panels, shutter, PVC angle, PVC pipe-fixing bracket, fully threaded metal rod, bolts, and nuts.

ち上げることで、採泥部分が開放し、自重で採泥試料が落下する (Fig. 3 (b))。

3.1.3 ジョレンを利用した採集装置

この採集装置の操作は、ROV 用スミキンと同じであ

る。ジョレンは、株式会社三谷釣漁具店製のステンレスジョレン L kz-2 (幅 260 mm, 奥行き 200 mm, 高さ 160 mm, メッシュ間隔 10 mm) を用いた。

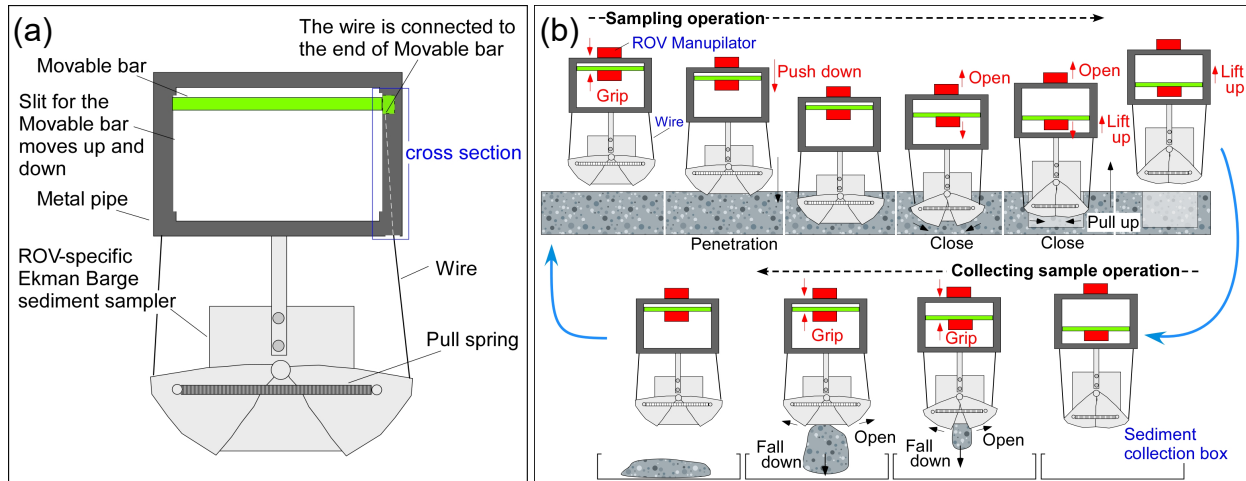


Fig. 2 Schematic of the design using the remotely operated vehicle (ROV)-specific Ekman Barge sediment sampler. (a) Simplified structural diagram showing the lid in the open position; (b) Illustration of the operation mechanism. Red text and arrows indicate manipulator movements.

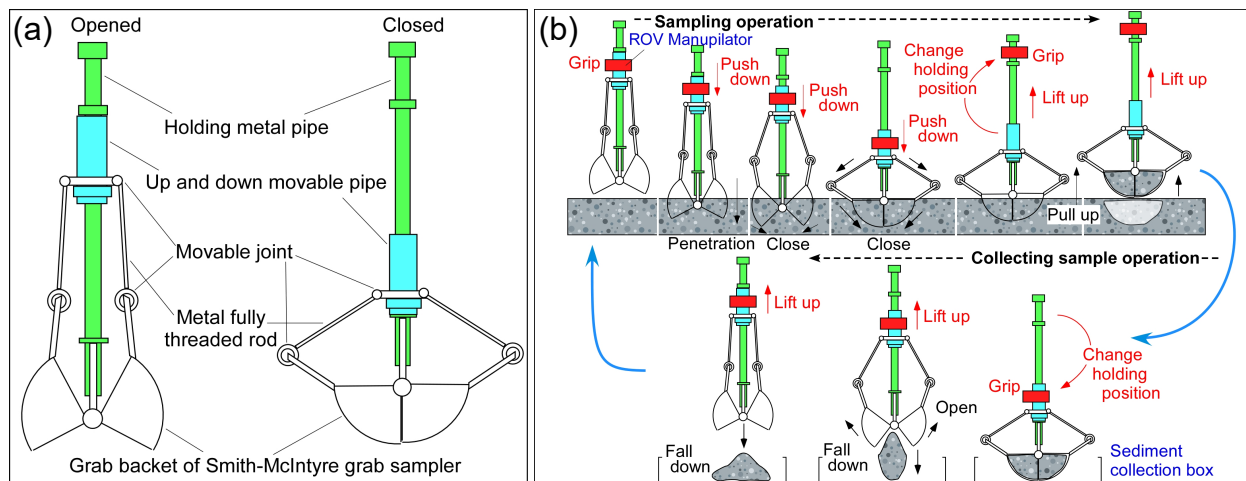


Fig. 3 Schematic of the design using the grab bucket of a Smith-McIntyre grab sampler. (a) Simplified structural diagram showing the sediment-sampling parts in both open and closed positions; (b) Illustration of the operation mechanism. Red text and arrows indicate manipulator movements.

3.1.4 ベンチックチャンバー技術を利用した採集装置

Fig. 4 (a) に、採集装置（以降、シャッター式採集装置）の構造図を、Fig. 4 (b) に、操作イメージを示した。シャッターは、プラシャッターS5000（ピッチ 18 mm）（株式会社石黒製作所）を用い、軟泥の採集を想定した。支柱に沿って上下する可動部分に設けた隙間から支柱を握り、シャッターを開いた状態にして堆積物に貫入させる。次いで可動部分を押し下げること、シャッターが

可動し、下フタができる。回収容器上で、可動部分を押し上げるとシャッターが開き、自重で採泥試料が落下する（Fig. 4 (b)）。

3.2. 実用化試験

改良型 ROV エクマン、ROV 用スミキンおよび ROV 用ジョレンの試験は、海洋調査船「新世丸」（深田サルページ建設株式会社）による SS24-1 航海（2024 年 7

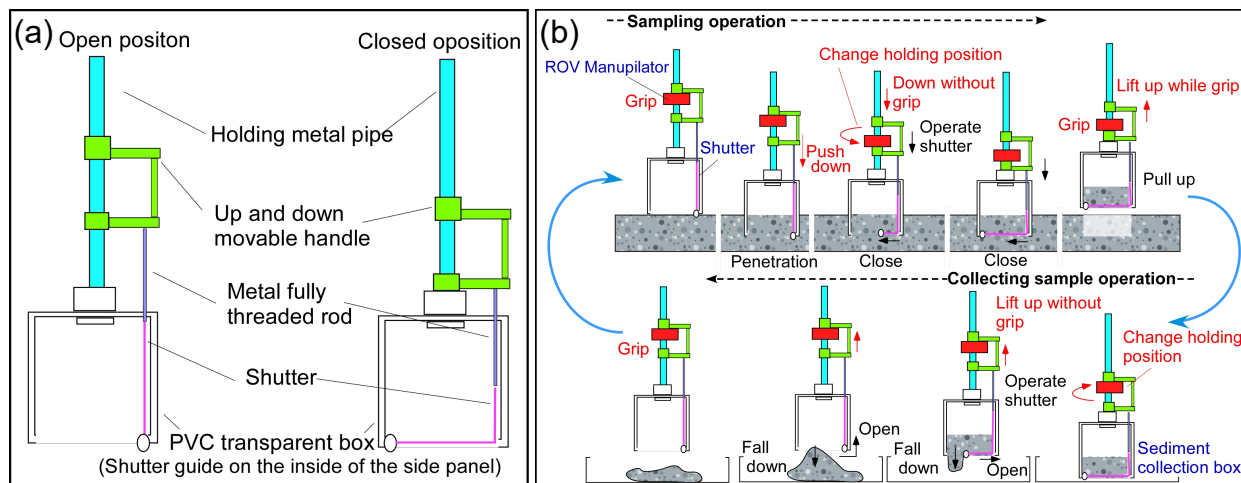


Fig. 4 Schematic of the underlid-shutter-type sediment sampler using the mechanism of the GEOMAR-type benthic chamber. (a) Simplified structural diagram showing the shutter in both open and closed position; (b) Illustration of the operation mechanism. Red text and arrows indicate manipulator movements.

月 27 日—8 月 11 日) において、同船に搭載された ROV「はくよう 3000」により水深約 550 m の海底で実施した。その結果、これら採集装置は、考案通りの繰り返し採集操作ができた。改良型 ROV エクマンおよび ROV 用スミキンでは、それぞれ同じ場所を 3 回掘り下げて採泥し、従来の採泥器よりも約 3 台分深い堆積物 (30 - 40 cm) を採集できた。ROV 用ジョレンは、岩石およびクモヒトデ類の採集に留まったが、堆積物中のジョレンの目合いより大きな試料に的を絞った採集ができる見込みが立った。

シャッター式採集装置は、SS24-2 航海 (2024 年 8 月 12 日—8 月 18 日) において、水深約 1,000 m の海底で試験した。この時は、堆積物下約 10 cm に硬い粘土層があり、無理に押し込み、一部部品が破損したが、軟泥であれば繰り返し採泥ができる見込みが立った。また、同航海では、オウナガイ類の死殻が集積している場所に潜航し、改良型 ROV エクマンを用いて生貝の採集を試みた。約 1 m × 1 m の範囲の堆積物深度約 30 cm まで、25 回採泥を繰り返したところ、本調査でこれまで採集されていないオウナガイ類と考えられる殻長約 80 mm の生貝 1 個体および殻長約 10 mm の二枚貝類生貝複数個体が採集された。

4. 展望

本研究で考案・試作した採集装置は、マニピレーターの「握る、開く、上下左右に動かす、回す」という主な動作で、堆積物の繰り返しの採集が、深海底において実現でき、実用化の目途が立った。これにより、従来の採泥方法よりも広い面積かつ掘り下げて採泥することで、深い試料を採集でき、オウナガイ類を含む二枚貝類などの埋性メガベントスの現状把握に貢献できると考えられる。また、採集面積が把握できるため、生物の定量的評価も可能である。改良型 ROV エクマンの採泥部分は箱型であり透明板で製作可能なため、採泥深度を目視確認でき、単位体積当たりの生物量評価に貢献できうる。ROV 用スミキンは、潜水土による使用が主目的で販売されているハンドグラブサンプラー (株式会社離合社) により小型化でき、製作も容易で既に試作済みである。既存の採泥器を利用した採集装置では、従来通り、採泥試料の保持もでき、採泥のやり直しも可能で、メガベントスに限らないベントスおよび堆積物の調査にも有用になりうる。

本研究により考案・試作した採集装置は、利用する ROV に合わせて製作・改良して用いることで、表層型メタンハイドレートなどの深海資源開発におけるメガベントスを含む埋性ベントスの現状把握および深海底生

生物などの調査・研究の高度化に資すると考えている。

謝 辞

本研究は、経済産業省のメタンハイドレート研究開発事業の一部として実施しました。また、深田サルベージ建設株式会社所有の調査船「新世丸」および ROV「はくよう 3000」の船長、乗組員および操縦者の方々に多大なご協力をいただきました。海洋調査では、調査・研究計画立案者および責任者として、本装置の製作および試験の機会を下さった国立研究開発法人産業技術総合研究所の鈴木博士、鈴木博士、宮嶋博士、喜瀬博士、採集装置の部品となる採泥器をお貸しくださり、船上での助勢を快く引き受けてくださった、株式会社日本海洋生物研究所の松井氏、鈴木氏、株式会社マリン・ワーク・ジャパンの藤木氏、株式会社 KANSO テクノスの大西氏に感謝の意を表します。

References

- 天野和孝 (2014) : 化学合成二枚貝の化石記録と進化. 化石 **96**, 5-14.
- 藤倉克則, 奥谷喬司, 丸山正 (2012) : 潜水調査船が観た深海生物 : 深海生物研究の現在. 東海大学出版会, 第 2 版. 487pp.
- Ishida, H., Y. Watanabe, T. Fukuhara, S. Kaneko, K. Furusawa, and Y. Shirayama (2005): *In situ* enclosure experiment using benthic chamber system to assess the effect of high concentration of CO₂ on deep-sea benthic communities. *J. Oceanogr.*, **61**, 835-843.
- Pfannkuche, O. (1993): Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47°N, 20°W. *Deep Sea Res. Part II: Topical Studies in Oceanography*, **40**(1-2), 135-149.
- Tengberg, A. *et al.* (1995): Benthic chamber and profiling landers in oceanography – A review of design, technical solutions and functioning. *Prog. Oceanogr.*, **35**, 253-294.
- 天満則夫 (2022) : 表層型メタンハイドレートの研究開発—2021 年度 of 取組について—. 表層型メタンハイドレートの研究開発 2021 年度研究成果報告会, 国立研究開発法人産業技術総合研究所主催, 2021 年 12 月 3 日. https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/forum/forum/2021/1_tenma.overall.pdf

Sediment samplers for collecting sediment-intrinsic megabenthos using remotely operated vehicles in surface-type methane hydrate areas

Hiroshi Ishida^{1†}, and Eriko Seo²

Abstract

To facilitate the development of surface-type methane hydrate resources in the Sea of Japan, we conducted an ocean environmental baseline survey and assessed the current status of megabenthos in the area. Sampling within the target area yielded only the dead shells of deep-sea bivalves with shell lengths of approximately 80 mm; no information on living individuals was obtained. It is believed that both the depth and quantity of the sediment samples collected by the existing samplers were insufficient. Therefore, we designed and fabricated four types of samplers capable of collecting large amounts of sediment through repeated sampling during a single dive of a remotely operated vehicle. The proposed sediment-sampling technique was tested on the deep-sea floor. The samplers successfully repeated the sediment-sampling, with one sampler completing 25 samplings during a single dive. A live bivalve approximately 80 mm in shell length and presumed to be *Conchocele* sp., was successfully collected. The developed samplers represent a potentially valuable technology for environmental impact assessments associated with deep-sea resource development.

Key words: surface-type methane hydrate, sediment sampler, megabenthos, deep-sea bivalve

(Corresponding author's e-mail address: h-ishida@kaiseiken.or.jp)

(Received 18 June 2025; accepted 16 September 2025)

(doi: 10.5928/kaiyou.34.6_177)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2025)

¹ Central Research Laboratory, Marine Ecology Research Institute, 300 Iwawada, Onjuku-machi, Isumi-gun, Chiba, 299-5105, Japan

² Central Research Laboratory Kashiwazaki Station, Marine Ecology Research Institute, 4-7-17 Arahama, Kashiwazaki-shi, Niigata, 945-0017, Japan

† Corresponding author: Hiroshi Ishida
e-mail: h-ishida@kaiseiken.or.jp