

潜水調査船用現場間隙水抽出装置による相模湾 初島沖海底生物群集堆積物からの間隙水の採集 (「しんかい2000」第449潜航)

増澤敏行^{*1} 半田暢彦^{*1} 北川浩之^{*1} 松本英二^{*1}

「しんかい2000」のマニピュレーターで操作し、シロウリガイ群集内の砂質堆積物から多層の間隙水を海底で採集することを可能とする潜水調査船用現場間隙水抽出装置 (ISPS-S) を試作し、1989年10月の第449潜航において、相模湾初島沖のシロウリガイ群集内 (34°59.9'N, 139°13.6'E;水深160m) で間隙水の採集を行った。シロウリガイのパッチに装置を設置し、海底面下0, 10, 20, 30, 40cmの5深度で70分間の抽出を行い、1つのポートを除き40~90mlの間隙水を採集した。化学分析の結果、主要成分は深さとともに濃度が低下しており、これらの塩素量を基準とした平均海水組成で規格化した濃度は海水に等しかった。また溶存無機炭素の安定同位体比もまた海水の値に近かった。一方硫化水素とマンガンは検出されなかった。以上の結果から、これらの間隙水は深さ40cmまでで相対的に13%希釈されており、「甘い水」の湧出が再度示された。また同じシロウリガイ群集内のシロウリガイのパッチにより、硫化水素の存在する深度に違いがあるらしい。

Pore water sampling with an *in situ* pore water squeezer from sediments within a deep-sea giant clam colony off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan: Dive 449 of the submersible "SHINKAI 2000"

Toshiyuki MASUZAWA^{*2} Nobuhiko HANDA^{*2}
Hiroyuki KITAGAWA^{*2} and Eiji MATSUMOTO^{*2}

An *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) was developed to collect pore water samples at several depths *in situ* and operated at a deep-sea giant clam colony off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan (34°59.9'N, 139°13.6'E; 160m deep) during Dive 449 of the submersible "SHINKAI 2000" on October 19, 1989. ISPS-S set on one of *Calymene* patches was worked for 70 min and 40 to 90 ml of pore water samples were obtained at 4 squeezing ports of the 5 ports (0, 10, 20, 30, and 40 cm below the sediment surface). The concentrations of major chemical species decreased with increasing depth and their normalized concentrations relative to mean seawater composition were almost unity. Stable isotope ratios of dissolved inorganic carbon were also nearly 0‰. Hydrogen sulfide and manganese were not detected. Then these pore waters were diluted by 13% at 40 cm depth suggesting that

*1 名古屋大学 水圏科学研究所

*2 Water Research Institute, Nagoya University

low salinity waters are supplied within the *Calyptogen* colony. The depth of the appearance of hydrogen sulfide might be different from patch to patch within a *Calyptogen* colony.

1. はじめに

1984年に相模湾初島沖の、水深100-1200mの陸側斜面下部で発見されたシロウリガイ(*Calyptogen* *soyae*)を優先種とする深海高密度生物群集(橋本ほか, 1987)は、1984年以来オレゴン沖、日本海溝、南海トラフなどプレートの沈み込み帯で発見され始めた深海生物群集の一つとして、そのエネルギー源およびテクトニクスとの関係に関心がよせられてきた。1987年には、相模湾の東側の沖ノ山堆でもシロウリガイの高密度群集が発見された(橋本ほか, 1988)。1986年6月以来、初島沖の群集中では最大の群集(34°59.9'N, 139°13.6'E, 水深1160m)で、「シロウリガイ群集総合調査」として生物学的・地球化学的調査研究が行われてきた(太田ほか, 1987)。その結果、シロウリガイは鰓が異常に発達し元素態硫黄濃度が大変高く(Sakai et al., 1987)、化学合成硫黄細菌を内部共生させている(遠藤ほか, 1987)と考えられて硫化水素の供給が期待され、またシロウリガイ群集の直上水中のCH₄濃度が極めて高い(Sakai et al., 1987; Gamo et al., 1988; 蒲生・酒井, 1989)、シロウリガイ軟体部の炭素と窒素の安定同位体比が異常に軽く(Saino and Ohta, 1989)、親銅重金属元素を高濃度に濃縮している(増澤ほか, 1988)、群集内堆積物間隙水中の溶存有機態炭素濃度が高く(半田・増澤, 1987)塩素量が低い(増澤・半田, 1987)など、海水とは大きく組成の異なる物質の供給が示唆され、“冷湧水”の存在が想定されてきた。東京大学海洋研究所「淡青丸」のKT-88-1次航海(1988年2月)およびKT-89-11次航海(1989年7月)の調査において、この生物群集の近くで高い地殻熱流量が見いだされ(Gamo et al., 1988)、また、この群集を狙ってボックスコアラを繰り返し投下したが、生貝を含む群集内堆積物の採取には至らなかった。

我々は、もしそのような“冷湧水”があれば、群集内堆積物の間隙水にその“冷湧水”の組成の反映があるであろうとの想定のもとに、シ

ロウリガイ群集内の粗粒砂質堆積物コアの採取を可能とする重錘打ち込み式コアラを製作し、1988年11月の「しんかい2000」第380潜航で試みたところ、シロウリガイ群集内でこれまでで最長の16cmのコアの採取に成功した。間隙水の抽出と化学分析の結果、これまでその存在が期待されていた硫化水素とメタンを還元剤とする活発な硫酸還元の実証した(増澤・半田, 1989; 増澤ほか, 1989)。今回、シロウリガイ群集内堆積物のより深い間隙水を採集し、その化学組成と鉛直分布を知ることがを目的として、「しんかい2000」のマニピュレーターで作動し、海底で多層の間隙水を直接採集する潜水調査船用現場間隙水抽出装置を試作し、1989年10月の「しんかい2000」第449潜航調査において、初島沖のシロウリガイ群集で試み、間隙水の採集に一応成功した。本報文では、この装置の概要と結果について報告する。

2. 潜水調査船用現場間隙水抽出装置

シロウリガイ群集内は粗粒の砂質堆積物であるため、通常の泥質堆積物に比べコアラを貫入させるのが難しい。前回報告した重錘打ち込み式コアラは、ハンドコアラに比べて口径が大きく、より深い砂質堆積物コアを採集することが可能で、1988年11月の第380潜航で、初島沖シロウリガイ群集中ではこれまでで最深の16cmのコアを採集することができ、間隙水の化学組成から極めて興味ある結果を得ることができた(増澤・半田, 1989; 増澤ほか, 1989)。しかし、これより深い砂質堆積物コアを採集することはかなり難しい。そのため、シロウリガイ群集直下の、より深い堆積物中の間隙水を採集することを可能とする、潜水調査船用現場間隙水抽出装置(ISPS-S)を試作した。

写真1, 2に示すように、装置は深さの異なる6ヵ所の抽出ポートを設けたSUS製の筒および重錘と、バネで作動する同数のアルミニウム製シリンダーとからなる。装置は最初全部SUS製で

考えたが、「しんかい2000」への搭載重量制限（水中重量で20kg）を順守するために、槍と重錘以外はアルミニウム製の表面アルマイト加工とし、潜航調査に当たっては5系列のみの使用とした。抽出ポートは、堆積物表面下0、10、20、30、40cmの5深度である。

本装置は「しんかい2000」のマニピュレーターで保持して潜航し、着底後、装置を堆積物上に設置して重錘打ち込み式コアラー（増澤・半田，1989）と同様、マニピュレーターで重錘を持ち上げては自由落下を繰り返すことにより、槍を堆積物中に打ち込む。打ち込み終了後、試水流路途中に設置した六方バルブのハンドルを、マニピュレーターで動かして流路を開き、各シリンダーのバネをセットしているトリガーのノブを、マニピュレーターで引っ張ることによりバネが動きはじめて間隙水の抽出が開始される。各深度の間隙水

は、直径13mmのカラムガードを加工した抽出ポートから吸引され、直径47mmの濾紙を通り、それに続くテフロンチューブ（内径2mm長さ10mで内容積30ml）を通った後シリンダーに入る。流路には予め超純水を満たしてある。その結果、テフロンチューブ内は間隙水試料となり、シリンダー内は超純水と間隙水との混合したものとなる。シリンダーのバネのセットおよびトリガーに用いるロッドが、バネの作動によるピストンの動きと共に上昇するため、潜水調査船の窓から抽出の進行状況を見ることができる。必要時間放置後、六方バルブのハンドルをマニピュレーターで動かして流路を閉じた後、装置をプラットフォームに回収しマニピュレーターで保持しながら浮上する。

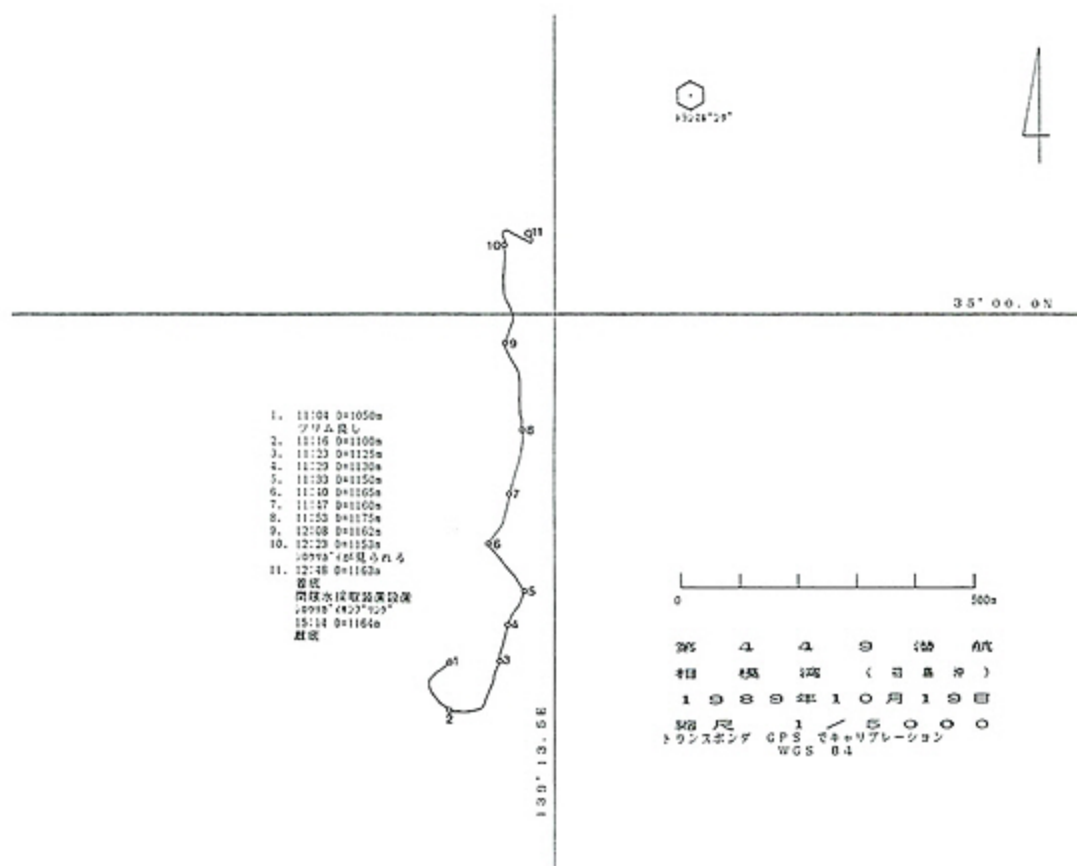


図1 「しんかい2000」第449潜航の航跡図

Fig. 1 The track line of Dive 449 of the submersible "SHINKAI 2000".

3. 潜航調査での装置の作動と化学分析

1989年10月19日の「しんかい2000」第449潜航（船長赤澤，潜航士小倉，観察者増澤）において，1986年以来調査を続けている初島沖の，シロウリガイ群集中最大の群集（34°59.9'N，139°13.6'E，水深1160m）で，ISPS-Sによる間隙水の採集を試みた。

前日の第448潜航（観察者大和田）は，初島沖ではこの年最初の潜航調査であったが，このシロウリガイ群集でチューブワームが採集されるなど，従来とはやや異なった様子が認められた。そのため，第449潜航では，海底視認地点を群集の南800mに設定し，海底を観察しながらこの群集まで航走することにより，他の群集の有無の確認をおこなった（図1）。その結果，この航跡上には他の群集は認められなかった。また1989年7月12日の伊東沖海底噴火に際し，噴火地点の約4マイル沖のこのシロウリガイ群集周辺で観測中であった「淡青丸」で，シロウリガイ群集周辺での海

底地形の変化が想定されたが，これに相当するような大規模な海底地滑りの跡のようなものも認められなかった。

ISPS-Sをこのシロウリガイ群集中のシロウリガイのパッチ（写真3）に設置し，重錘による栓の打ち込み後，70分間の抽出を行った。その結果，ポート3（深さ20cm）は抽出ポートの熔着部分の漏れのために，抽出開始後数分で全容積を引ききってしまった。他の4ポートでは，70分で40～90mlの間隙水を抽出し，少なくとも第一の目標であったテフロンチューブへの30mlの間隙水試料の採集には成功した。

装置を「なつしま」に回収後，間隙水試料を装置から回収し，それぞれの化学成分に応じた保存処理をして実験室に持ち帰り，前報（増澤・半田，1989）と同様の方法により10化学成分の分析を行った。また溶存無機炭素（DIC）の安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ ）の測定をも行った。第448潜航で，同じシロウリガイ群集内でハンドコアラに

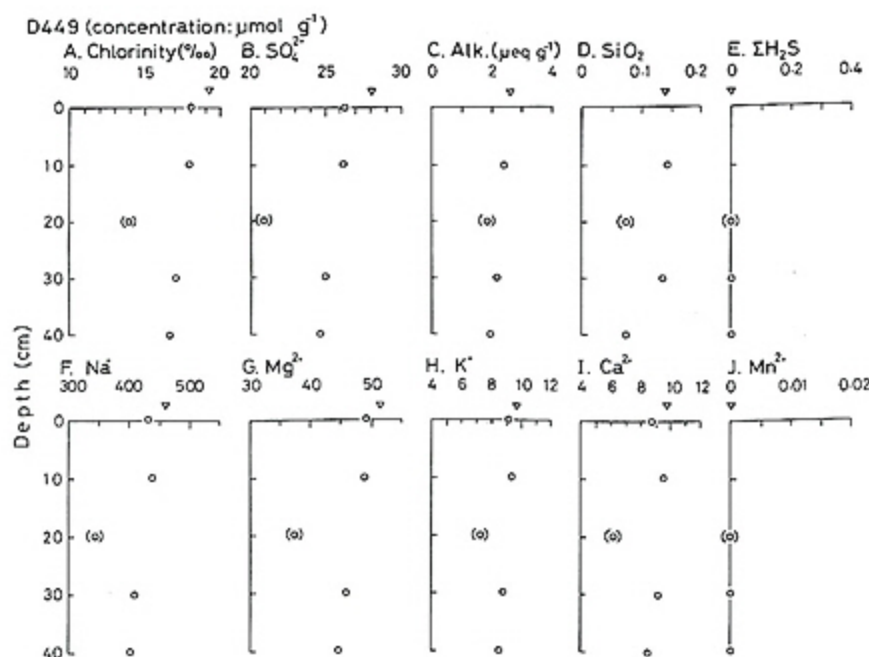


図2 「しんかい2000」第449潜航で潜水調査船用現場間隙水抽出装置（ISPS-S）により相模湾初島沖のシロウリガイ群集内の堆積物から採集された間隙水中の化学成分の鉛直分布，▽は第448潜航で同じ群集から採集された堆積物コアの直上水の組成を示す

Fig. 2 Vertical profiles of chemical species in pore water collected with an *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) from sediments within a *Calyptogenia* colony off Hatsushima Island, Sagami Bay during Dive 449 of the submersible "SHINKAI 2000".

より採集された堆積物コアの直上水も、シロウリガイ群集の直上水として同時に分析を行った。

4. 結果と考察

図2に、第449潜航(D449)でISPS-Sにより採集された間隙水の10化学成分の組成の鉛直分布を示す。▽はD448の直上水の組成である。熔着部の漏れにより、おそらく棺内の水を採集したと考えられる深さ20cmの組成を除くと、塩素量、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} など、主要成分の濃度は深さとともに低下している。塩素量は、直上水で19.0‰なのが深さ40cmでは16.6‰にまで低下しており、これは相対的には13%の低下に相当する。一方、硫化水素と Mn^{2+} は検出されなかった。

図3に、塩素量を基準にして平均海水組成で規格化したこれら化学成分の鉛直分布を示す。図から明かなように、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ とも

に規格値が1であり Ca^{2+} もほぼ1に近く、これらの主要成分は海水の組成を深さとともにだんだん希釈したものとなっている。規格化したアルカリ度は深さとともに低下しており、その希釈に伴ってアルカリ度を消費するような物質が供給されているのかもしれない。またDICの $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ は、深さ30および40cmでも0‰に近く、通常の海水の値に近いものとなっている。

増澤・半田(1987)は、第227潜航で同じシロウリガイ群集の群集内から採集した堆積物の間隙水で、深さ9cmまでで相対的に6%の塩素量の低下を見だし、群集内での甘い水の供給の可能性を示したが、今回の結果は深さ40cmまでで塩素量が13%低下しており、以前の結果を追認するものとなった。一方、増澤・半田(1989)と増澤ほか(1989)は、第380潜航で同じシロウリガイ群集から採集した堆積物の間隙水中に、硫化水素およびメタンを還元剤としている活発な硫酸還元

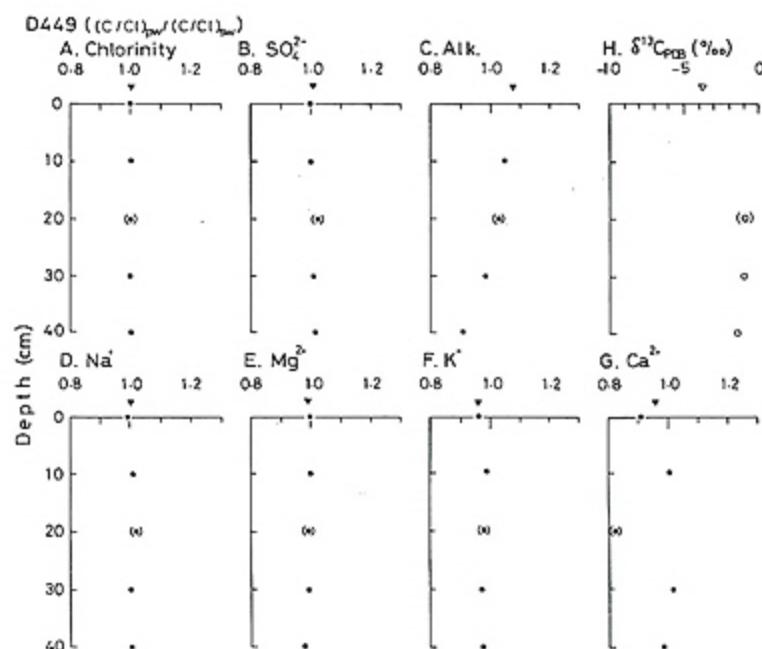


図3 「しんかい2000」第449潜航で潜水調査船用現場間隙水抽出装置(ISPS-S)により相模湾初島沖のシロウリガイ群集内の堆積物から採集された間隙水中の平均海水組成で規格化した化学成分の組成および溶存無機炭素の安定同位体比の鉛直分布

Fig. 3 Vertical profiles of chemical species concentrations normalized to mean seawater concentration and stable isotope ratio of dissolved inorganic carbon in pore waters collected with an *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) from sediments within a *Calyptogena* colony off Hatsushima Island, Sagami Bay during Dive 449 of the submersible "SHINKAI 2000".

の存在を認めたが、今回得られた間隙水にはその影響は見いだされなかった。

これまでの研究から、これらのシロウリガイは、活発なメタンの供給のある場で鰐に化学合成硫黄細菌を内部共生させることにより生活していると想定されるが、初島沖の同じシロウリガイ群集での、これまで3回の間隙水の調査の結果からは、少なくとも有力なエネルギー源である硫化水素の存在する深さが、シロウリガイのバッチにより大きく異なる可能性が示された。また供給されている“冷湧水”が平均海水に比べて“甘い水”である可能性がより強くなった。

今後、この“冷湧水”の実態を明らかにするためには、より広範に、より深い深度の間隙水の組成と分布を明らかにすることが、極めて有力な方法と考えられる。潜水調査船用現場間隙水抽出装置は、今回初めての試みであったが、初島沖のみならず、他の深海高密度生物群集の調査のためにも、また海水-堆積物相互作用の研究のためにも、今後発展させる必要があろう。

謝 辞

「しんかい2000」用現場間隙水抽出装置の設計・製作にあたっては、共和鉄工所の杉井勝洋氏とエンジニアリング東海の大倉一高氏はじめ皆様から並々ならぬ御努力をいただき、また装置の作動テストに際しては、東海大学海洋学部の加藤義久助教授および学生諸君の協力をいただき篤くお礼申し上げます。本装置を用いた1989年10月の「しんかい2000」による潜航調査において、協力を惜しまなかった段野司令以下、整備・潜航・航法管制の諸氏に感謝致します。特に、今井整備長には本装置の設計段階から助言と協力をいただき、第449潜航の赤澤船長と小倉潜航士には様々な御苦勞をおかけしました。東京大学海洋研究所の大和田紘一助教授には第448潜航の際に堆積物直上水の採集をしていただきました。本研究の経費の一部は、平成元年度名古屋大学教育研究学内特別経費によりました。

参考文献

遠藤圭子, 酒井均, 太田秀, 1987. アクリジンオレンジ染色によるエポキシ樹脂包埋組織切片

中の共生細菌の検索—シロウリガイ鰐組織中の共生細菌の検索を例として, 第3回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 61-68.

蒲生俊敬, 酒井均, 1989. 相模湾初島沖における海底湧水の化学フラックス測定のための採水装置の試作. 第5回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 317-323.

Gamo, T. et al., 1988. Anomalies of bottom CH_4 and trace metal concentrations associated with high heat flow at the *Calyptogenia* community off Hatsu-shima Island, Sagami Bay, Japan: A preliminary report of Tansei Maru KT-88-1 cruise Leg-1. *Geochemical Journal*, 22, 215-230.

半田暢彦, 増澤敏行, 1987. 相模湾初島沖深海底生物群集近傍堆積物中の有機物の化学的特性. 第3回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 91-98.

橋本惇, 田中武男, 松澤誠二, 堀田宏, 1987. 相模湾初島沖におけるシロウリガイ群集の調査. 第3回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 37-50.

橋本惇, 松澤誠二, 堀田宏, 1988. 相模湾沖ノ山堆における深海生物群集の探索. 第5回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 177-188.

増澤敏行, 半田暢彦, 1987. 相模湾初島沖海底生物群集の堆積物コア間隙水の化学組成. 第3回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 99-104.

増澤敏行, 半田暢彦, 小山睦夫, 1988. 相模湾初島沖海底生物群集のシロウリガイの微量元素組成. 第4回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 225-232.

増澤敏行, 半田暢彦, 1989. 重錘打ち込み式コーラーによる相模湾初島沖海底生物群集からの砂質堆積物コアの採取と間隙水の化学組成(「しんかい2000」第380潜航). 第5回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 23-29.

増澤敏行, 半田暢彦, 北川浩之, 日下部実, 1989. 相模湾初島沖シロウリガイ群集堆積物

間隙水の化学組成. 1989年度日本地球化学会
年会講演要旨集, 271.

太田秀ほか, 1987. 相模湾初島沖における「シロ
ウリガイ群集」総合調査報告 (I). 第3回
「しんかい2000」研究シンポジウム報告書,
51-60.

Saino, T. and Ohta, S., 1989. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$
ratios of vesicomyd clams and a ves-
timentiferan tube worm in the subduction
zone East of Japan. *Paleogeography, Paleocli-
matology and Paleoecology*, 71, 169-178.

Sakai, H. et al., 1987. Geochemical study of the
bathyal seep communities at the Hatsushima
site, Sagami Bay, Central Japan. *Geochemical
Journal*, 21, 227-236.

(原稿受理 1990年7月2日)



写真1 潜水調査船用現場間隙水抽出装置 (ISPS-S) の基本構造

Photo. 1 The basic structure of *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S).

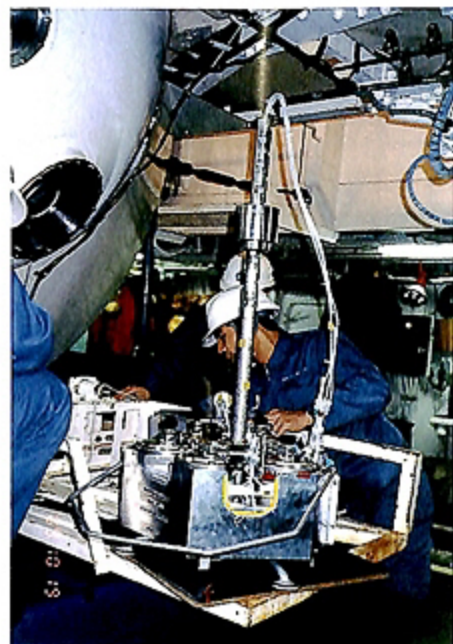


写真2 「しんかい2000」に搭載した潜水調査船用現場間隙水抽出装置 (ISPS-S)

Photo. 2 *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) mounted on the platform of the submersible "SHINKAI 2000".



写真3 「しんかい2000」の第449潜航で潜水調査船用現場間隙水抽出装置 (ISPS-S) を設置した相模湾初島沖の深海シロウリガイ群集

Photo. 3 The deep-sea *Calyptogenas* colony where *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) was deployed during Dive 449 of the submersible "SHINKAI 2000" off Hatsushima Island, Sagami Bay.



写真4 「しんかい2000」の第449潜航で相模湾初島沖の深海シロウリガイ群集中に設置中の潜水調査船用現場間隙水抽出装置 (ISPS-S)

Photo. 4 *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) deployed within the deep-sea *Calyptogenas* colony off Hatsushima Island, Sagami Bay during Dive 449 of the submersible "SHINKAI 2000".