

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： その3 (「しんかい2000」第593潜航)

増澤敏行^{*1} 中塚 武^{*1} 半田暢彦^{*1}

試作した潜水調査船用現場間隙水抽出装置 (ISPS-S) を改良し、1991年12月3日の第593潜航において、1986年以来継続して調査を行っている相模湾初島沖のシロウリガイ群集内 (35°00.0'N, 139°13.5'E, 水深1,146m) で間隙水の採集を行った。間隙水抽出装置は、1988年の第380潜航でコアを採集し1990年の第521潜航でISPS-Sで間隙水の採集をしたシロウリガイのパッチに連続して新たに発達したパッチに設置して120分間の間隙水の抽出を行い、初めて海底面下0,9,18,27,36,45cmの全6深度での間隙水の採集に成功した。間隙水の化学分析および同位体分析の結果、硫酸イオン濃度は深さ9cm以深で急激に低下し、27から36cmでは1.6-2.2mmol/kgに達し、硫化水素は9cm以深で急激に増加し27から36cmでは9.0mmol/kgという極めて高い濃度に達していた。以上の結果から、メタンを酸化剤とする微生物的硫酸還元が生きているシロウリガイ群集直下で活発に進行し、その深さは15-40cmあたりであることが示された。間隙水の硫酸イオンと硫化水素の硫酸安定同位体比から、この活発な硫酸還元に伴う同位体分別がほとんど起こっていないことが見いだされた。溶存無機炭素のC-14の測定の結果 $\delta^{14}C$ 値として深さ9cmから18cmで-860から-940‰に達しており、酸化されたメタンが極めて古いものであることが示された。

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: Part 3. Dive 593 of the Submersible "Shinkai 2000"

Toshiyuki MASUZAWA^{*2} Takeshi Nakatsuka^{*2} Nobuhiko HANDA^{*2}

An improved model of the *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) was deployed in the *Calymene* colony (35°00.0'N, 139°13.5'E, 1,146m deep) off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan, which has been studied using the submersible "Shinkai 2000" since 1986, during Dive 593 of the submersible on December 3, 1991. ISPS-S was operated in a *Calymene* patch, which developed recently and extended from the patch studied since

* 1 名古屋大学大気水圏科学研究所

* 2 Institute for Hydrospheric-Atmospheric Sciences, Nagoya University

Dive 380 in 1988. It was deployed for 120 min and pore waters were collected at all six squeezing ports (0, 9, 18, 27, 36 and 45 cm below the sediment-water interface) for the first time. Pore water sulfate concentration decreased rapidly below 9 cm depth and reached to 1.6 and 2.2 mmol/kg at 27 and 36 cm depth. Hydrogen sulfide increased rapidly below 9 cm depth and reached to 9.0 mmol/kg at 27 and 36 cm depth. This indicates that microbial sulfate reduction using methane is occurring actively at 15 to 40 cm depth beneath the living giant clams. Sulfur isotope ratios of pore water sulfate and hydrogen sulfide suggest that isotope fractionation of stable sulfur isotope does not take place with such quite rapid sulfate reduction. The $\delta^{13}\text{C}$ values of DIC at 9 and 18 cm layers were -860 and -940 ‰, suggesting that the oxidized methane is very old.

1 はじめに

1984年に相模湾初島沖の水深1,100–1,200mの陸側斜面下部で発見されたシロウリガイ (*Calyptragenes soyoyae*) を優先種とする深海高密度生物群集 (橋本ほか, 1987; Hashimoto *et al.*, 1989) 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1つとして, その生態系の維持機構およびテクトニクスとの関係に関心が寄せられている。その後の調査により, 相模湾の東側の沖の山堆のシロウリガイ群集 (橋本ほか, 1988) をはじめとして相模湾全体では水深750m–1,300mにわたる8カ所で高密度生物群集が確認されている (田中・橋本, 1991)。1986年6月以来, 初島沖の群集中では最大の群集 ($34^{\circ}59.9'N$, $139^{\circ}13.6'E$, 水深1,160m) で生物学的, 地球化学的, 地質学的調査研究が行われてきた (太田ほか, 1987; 太田, 1990; 石井ほか, 1988)。その結果, このシロウリガイ群集に関する極めて特異な事実が海水 (Sakai *et al.*, 1987; Gamo *et al.*, 1988; 蒲生・酒井, 1989), 間隙水 (半田・増澤, 1987; 増澤・半田, 1987; 増澤ほか, 1990), シロウリガイ (Sakai *et al.*, 1987; 遠藤ほか, 1987; Saino and Ohta, 1989; 増澤ほか, 1988; 吉田・塚原, 1991) などの調査・研究から明らかにされてきた。一方, 東京大学海洋研究所淡青丸のKT-88-1およびKT-89-11次航海において, この生物群集の近くで高い地殻熱流量が見いだされた (Gamo *et al.*, 1988; Fujioka *et al.*, 1991)。これらの結果

は, シロウリガイ群集が化学合成に基礎をおく生態系であることを示唆し, この生態系を維持する物質を含む“冷湧水”の供給が想定されてきているが, その“冷湧水”を直接採集することができないためその実態が十分には明らかにされていない。

我々は, 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, シロウリガイ群集内でそれまでで最長の16cmのコアの採取に成功し, 間隙水の抽出と化学分析の結果, 硫化水素の存在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; Masuzawa *et al.*, 1992)。さらに, 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を目的として, 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 (ISPS-S) を試作し第380潜航でコアを採集した同じシロウリガイのバッチで, 1989年10月の「しんかい2000」第449潜航で作動を試み (増澤ほか, 1990), さらに大幅な改造後1990年11月の第521潜航で上部3ポートでの間隙水の抽出に成功した (増澤ほか, 1991)。今回装置のさらなる改良を行い, 1991年12月3日の第595潜航で装置を作動させ, 全6抽出ポートでの間隙水の抽出に成功し, シロウリガイ群集堆積物で初めて深さ45cmまでの間隙水の化学組成の鉛直分

布を得た。これらの結果について報告する。

2 現場間隙水抽出装置の改良

I S P S - S の基本的機能は、多層の抽出ポートを設置した槍をシロウリガイ群集の砂質堆積物に貫入させ、この抽出の開始と終了の開閉をきちんと行わせ堆積物から間隙水を装置内に抽出させ、母船上に回収する、ことである（増澤ほか、1990、1991）。第449潜航での作動の結果をふまえて大幅な改造を行い第521潜航で作動させた（増澤ほか、1991）が、それらの経験をふまえて今回以下の改良を行った。

1) 抽出用主シリンダーの作動は、2台の液クロ用六方バルブの開閉により3系列ずつ行っているが、試料流入側流路の開閉から、シリンダーのピストンの背側に詰めた純水の排出用流路の開閉に変更した。

2) 装置の設定作業を容易にするために、それぞれの排出用流路にSUS製ストップバルブを設置した。

3) シリンダーの背側の水詰め作業を容易にするために、空気抜き用ボルト穴を設けた。

4) シリンダーのピストン作動用スピンドルを従来のアルミニウム製から耐蝕性のあるチタン合金製に変えた。

5) 超硬アルミニウム製の槍、フランジおよび他のアルミニウム製パーツに表面アルマイト加工を施した。

以上の改良により、シリンダーによる抽出作動が安定かつ確実となり、また海水中で使用する本装置の耐蝕性が増した（写真2）。

3 第593潜航での調査と装置の作動

1991年12月3日の「しんかい2000」第593潜航（船長 桜井、潜航士 鈴木、観察者 増澤）で、1986年以来調査を続けている初島沖シロウリガイ群集中最大の群集（35°00.0'N, 139°13.5'E, 水深1,146m）で潜航調査を行った（図1）。シロウリガイのパッチは、幅60-80cmの帯が様々に走って直径数mのパッチを作り、それが数十以上群れを

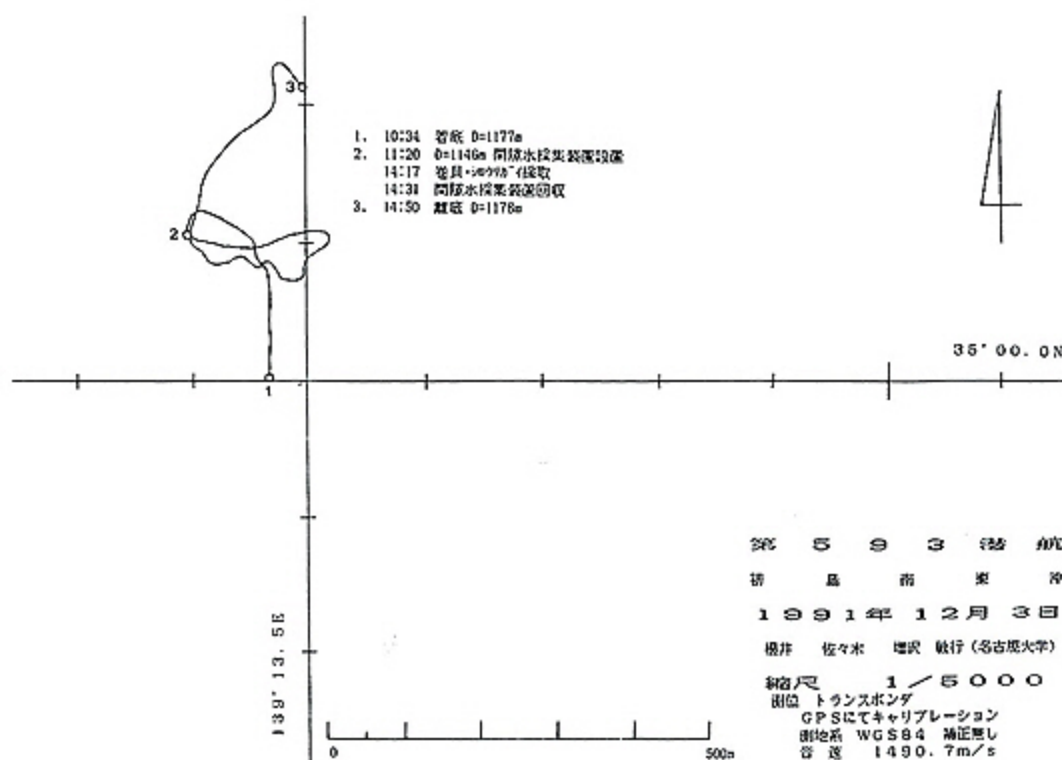


図1 「しんかい2000」第593潜航の航跡図

Fig. 1 The track line of Dive 593 of the submersible "Shinkai 2000".

なして東西約160m,南北約80mのこの群集を形成している。1988年11月の第380潜航でやむをえず放置したフラックス測定用ファンネル(蒲生・酒井, 1989)と重錘打ち込み式コアラー(増澤・半田, 1989)を目印として, 第380潜航以来調査を継続している同じシロウリガイパッチでI S P S-Sによる間隙水の現場抽出を行った。1988年11月の第380潜航の時に比べ1990年11月の第521潜航の時には, シロウリガイが高密度に群集して群集の勢いが強くなっていることが認められた(増澤ほか, 1991)が, 1991年12月には前年にも増して勢いが強くなり, 前年パッチがなかった所にもパッチが拡大していた。第593潜航では, 第380潜航および第521潜航の採集地点から北北東へ約10mの, 前年以後新たにパッチとなったと思われる場所にI S P S-Sを設置し, 重錘により槍を打ち込んでから120分間の抽出を行った(写真3, 4)。第521潜航では, 6ポート中上部3ポートでしか作動できなかったが, 今回初めて海底面下0, 9, 18, 27, 36, 45cmの全6ポートでの間隙水の抽出に成功した。

I S P S-Sは母船「なつしま」に収容後(写真1), 間隙水試料を装置から回収し, 分析目的に沿った保存処置を施した後実験室に持ち帰り, 前報と同様の方法(Masuzawa *et al.*, 1992)により間隙水の化学分析を行った。また深さ0, 9, 18cmの上部3試料については, 真空ラインを用いて間隙水から溶存無機態炭素(DIC)を抽出, 分離, 精製し, 鉄触媒水素還元法によりグラファイトターゲットとし(Kitagawa *et al.*, 1993), 名古屋大学タンデム加速器質量分析計によりC-14濃度($\Delta^{14}C$)を測定した。さらに, 同じ3試料について硫酸イオンの, また深さ9cmの1試料について硫化水素の硫黄同位体比の測定(Yanagisawa and Sakai, 1983)を, 岡山大学地球内部研究センターのSIRA10質量分析計を使用して行った。

4 結果と考察

図2に, 今回I S P S-Sにより初めて深さ45cmまで採集されたシロウリガイパッチ間隙水の化学組成の鉛直分布を示す。間隙水の硫酸イオン濃度は, 深さ9cmから18cmのあいだで急激に減

少し, 深さ27cmでは1.67mmol/kg, 深さ36cmでは2.18mmol/kgまで低下していた。これに対応して深さ9cm以深で硫化水素濃度が急上昇し, 深さ27cmと36cmでは9.0mmol/kgという極めて高い濃度が見いだされた。 PO_4-P , SiO_2 と Ca^{2+} が表面から深さ18cmまで濃度が増加し, それ以深では減少していた。 Mg^{2+} は, 硫酸イオンに似た変化を示していた。 Mn^{2+} はほとんど検出されなかった。

図3にこれまでにこのシロウリガイ群集の外部(D227-202)と内部(D227-120, D380, D521, D593)から得られた間隙水の塩素イオン, 硫酸イオンと硫化水素の鉛直分布を示す(増澤・半田, 1987; 増澤ほか, 1991; Masuzawa *et al.*, 1992)。今回の深さ45cmまでのD593でI S P S-Sにより得られた硫酸イオンの鉛直分布は, 重錘コアラーによる全長16cmのD380のそれに連続するような分布となっていた。一方, 硫化水素はD380のコア下部で0.33mmol/kgであり, 深さ9cm以深で急激に増加し9.0mmol/kgにまで達していた。これらの鉛直分布は, 生きているシロウリガイ直下の深さ27cmあたりを中心とする上下約25cmほどの層で極めて活発なメタンを還元剤とする硫酸還元と硫化水素生成(Masuzawa *et al.*, 1992)が進行していることを示している。

図4に, D593の間隙水の硫酸イオン濃度とその硫黄安定同位体比($\delta^{34}S_{SO_4}$)の鉛直分布をD380のそれらの結果とともに示す。先にも述べたように, D593で得られた硫酸イオンの鉛直分布は, D380のそれに連続的なものであった。これに対し $\delta^{34}S_{SO_4}$ 値は, D380では海水の+20‰から深さとともに著しく増加していたのに対し, D593では極めて活発な硫酸還元が進行しているにもかかわらず, 深さ18cmでも+21.5‰までしか増加していなかった。一方, 深さ9cmの硫化水素の $\delta^{34}S_{SO_4}$ は+22.9‰で, むしろ海水の値よりやや大きい値を示していた。

もし微生物的硫酸還元が閉鎖系で進行している場合には, Rayleigh蒸留のモデルから, 硫酸イオンの濃度と硫黄同位体比との間に次式の直線関係が認められる(Goldhaber and Kaplan, 1974; Chambers and Trudinger, 1979):

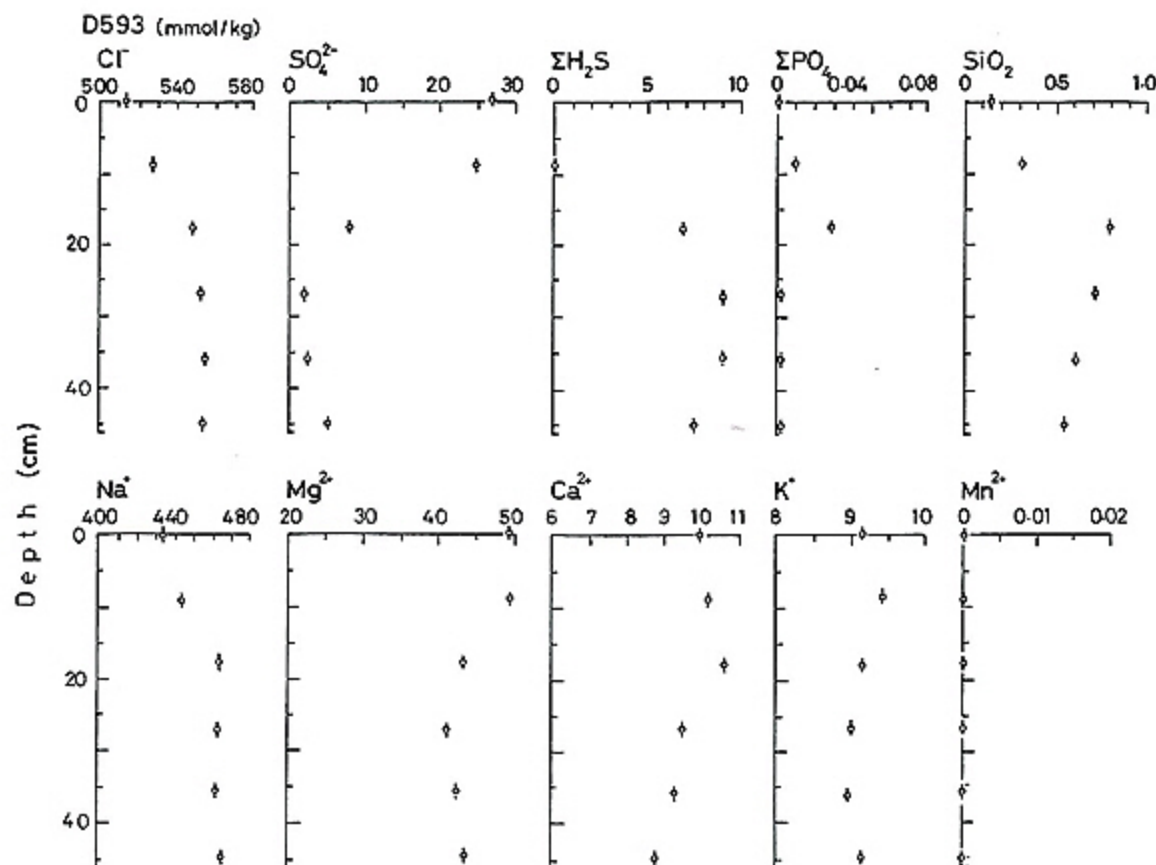


図2 「しんかい2000」第593潜航で潜水調査船用現場間隙水抽出装置(I S P S - S)により相模湾初島沖のシロウリガイ群集内の堆積物から採集された間隙水中の化学組成の鉛直分布

Fig. 2 Vertical profiles of chemical species in pore waters collected with the *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) from sediments in the *Calymene* colony off Hatsushima Island, Sagami Bay, during Dive 593 of the submersible "Shinkai 2000".

$$\log(R'_{\text{SO}_4}/R^0_{\text{SO}_4})$$

$$= (1 - 1/\alpha) \log(C'_{\text{SO}_4}/C^0_{\text{SO}_4}) \quad (1)$$

ここで、 $R^0_{\text{SO}_4}$ と R'_{SO_4} は時間 $t=0$ と $t=t$ における $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ の比、また $C^0_{\text{SO}_4}$ と C'_{SO_4} は時間 $t=0$ と $t=t$ における硫酸イオン濃度を示す。この二者が直線となると、その傾き $(1 - 1/\alpha)$ からその過程の同位体分別係数 α を求めることができる。堆積物中では、時間を深さに置き換えることができれば、深さ方向の変化に対して(1)式を適用することが可能となる。

図5にこのシロウリガイ群集外部の通常の微生物的硫酸還元が進行中のD227-202コアとシロウリガイパッチ内のメタンを還元剤とする硫酸還元

の進行しているD380とD593の間隙水における $\log(C'_{\text{SO}_4}/C^0_{\text{SO}_4})$ と $\log(R'_{\text{SO}_4}/R^0_{\text{SO}_4})$ の関係を示す。ここで $t=0$ の値としては、底層海水の値をとっている。どの場合も異なる直線上にならび、それぞれの間隙水の鉛直分布に対して見かけ上同じ同位体分別過程で支配されているように見え、その傾きから見かけの分別係数が求められる。実際には、間隙水を通しての拡散による輸送があり閉鎖系が完全には成立していないため、ここで求められた見かけの分別係数は、実際のものより小さいと予想される。

この結果は、D593においては硫酸イオンの同位体比からも、また1点ではあるが硫化水素の同

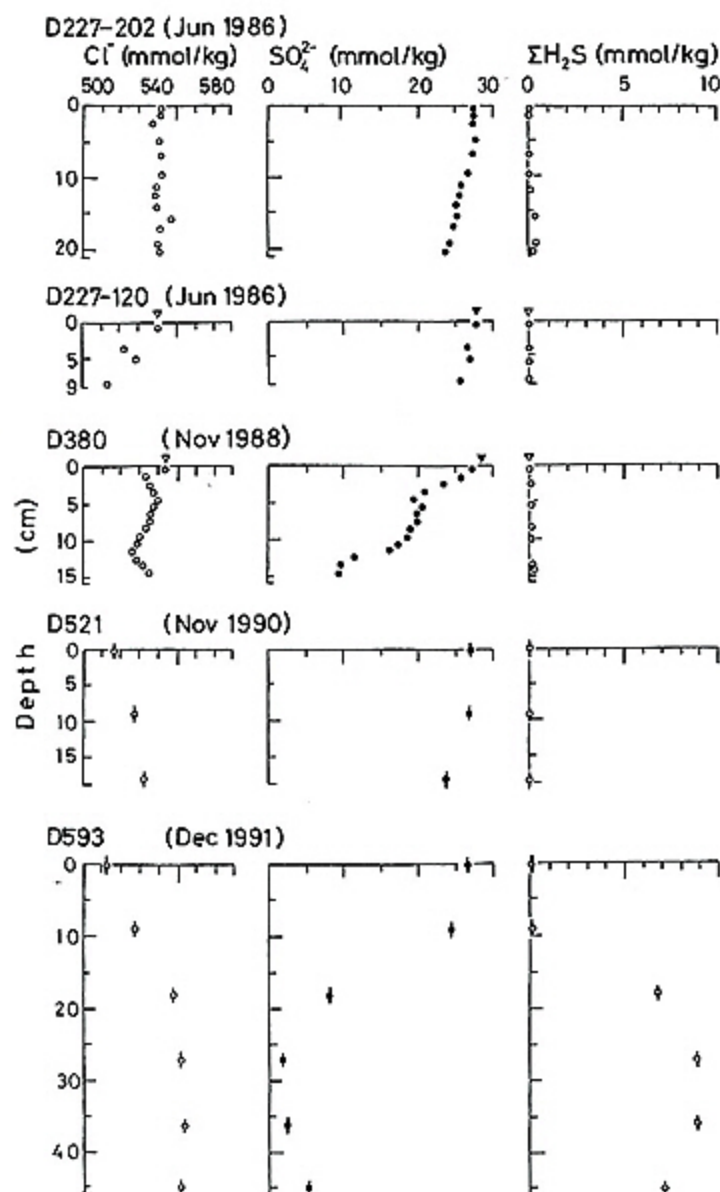


図3 「しんかい2000」により相模湾初島沖のシロウリガイ群集外(D227-202)および群集内(D227-120,D380,D521,D593)堆積物から採集された間隙水中の塩素イオン、硫酸イオンと硫化水素の鉛直分布

Fig. 3 Vertical profiles of chloride, sulfate and hydrogen sulfide collected by the submersible "Shinkai 2000" from a deep-sea *Calyptogenia* colony off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan.

位体比からも硫酸還元にとまなう硫黄安定同位体の同位体分別がほとんど起こっていないことを示している。Sakai *et al.* (1987) は、このシロウリガイ群集の堆積物の酸可溶性硫化物の $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 値として -22.7‰ を、またシロウリガイのエラ中

の硫黄の値として -29‰ という低い値を報告している。今回、極めて活発な硫酸還元が進行中のD593で、硫黄安定同位体の同位体分別がほとんど起こっていないという結果は、硫酸還元が極めて速く、またほぼ完全に進行しているために

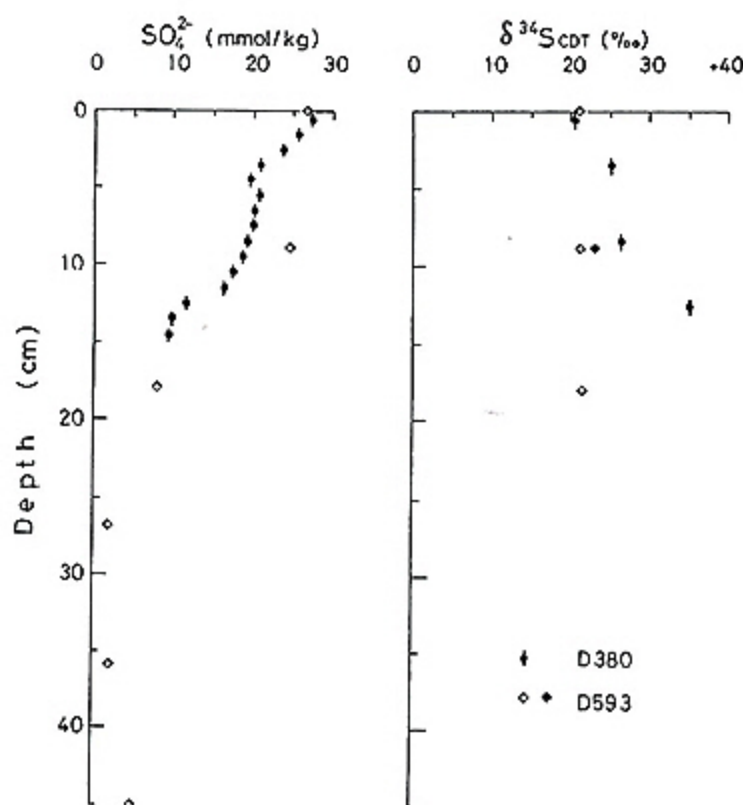


図4 「しんかい2000」第593潜航で潜水調査船用現場間隙水抽出装置(I S P S - S)により相模湾初島沖のシロウリガイ群集内の堆積物から採集された間隙水中の硫酸イオン濃度とその硫黄安定同位体比 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$) の鉛直分布 ($\diamond$; $\blacklozenge$ は硫化水素の硫黄安定同位体比)。1988年11月の第380潜航で同じシロウリガイのバッチから重錘打ち込み式コアラにより採集された堆積物間隙水の結果も同時に示す (Masuzawa *et al.*, 1992)。

Fig. 4 Vertical profiles of concentration and sulfur isotope ratio ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$) of sulfate ($\diamond$) and hydrogen sulfide ($\blacklozenge$) in pore waters collected with the *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) from a deep-sea *Calymene* colony off Hatsushima Island, Sagami Bay, during Dive 593 of the submersible "Shinkai 2000" as well as those in pore waters of the same colony collected with a weight-driven corer during Dive 380 in November 1988 (Masuzawa *et al.*, 1992).

同位体分別が現れないと理解される。このバッチは少なくとも過去1年以内に新たに生成したと考えられるが、同位体分別が起こっているD380との違いが、できたばかりのバッチと多年にわたるバッチとの違いかどうか、今後のより詳しい調査が必要である。

図6にD593で得られた間隙水のDICの $\Delta^{14}\text{C}$ 濃度の鉛直分布を示す。1990年11月のD521の結果に比べて、9 cm以深では-940‰にも達する極めて低い値が得られた。D593に比べ極めて活発な硫酸還元が進行中であるD593で、DICの材料

物質あるメタンが極めて古いものであり、またDICに対するその寄与が大きいことを示している。

以上の結果から、相模湾初島沖深海シロウリガイ群集においては、エラに共生する硫黄酸化細菌による有機物の化学合成に基礎を置くと考えられるシロウリガイ生態系を支えている物質である硫化水素が、生きているシロウリガイ群集直下の深さ約15-40 cmでのメタンを還元剤とする微生物的硫酸還元により活発に生産されており、そのメタンは堆積物下部から供給されている。とりわけ、今回ISPS-Sの全6ポートでの間隙水の採集

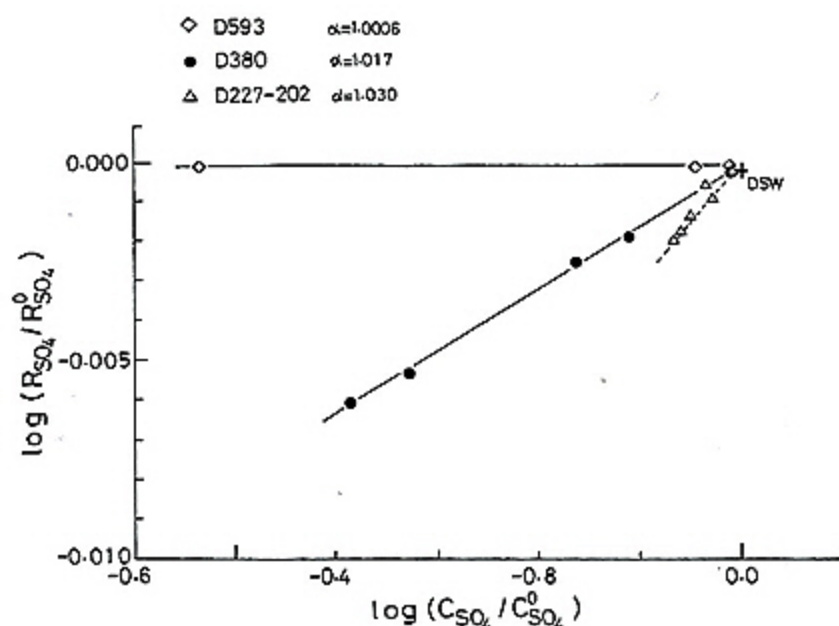


図5 相模湾初島沖のシロウリガイ群集外(D227-202)および群集内(D380, D593)の堆積物間隙水中の硫酸イオンの同対数図での濃度比に対する硫黄安定同位体比の関係。 α は見かけの同位体分別係数

Fig. 5 Relationships of isotope ratio vs. concentration ratio of sulfate in pore waters collected from the outside (D227-120) and inside (D380 and D593) of a deep-sea *Calymene* colony off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan. α shows estimated values of apparent isotope fractionation factors.

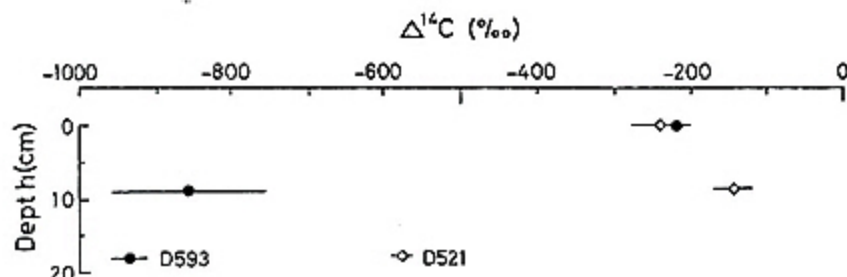


図6 「しんかい2000」第593潜航および第521潜航(増澤ほか(1991))で潜水調査船用現場間隙水抽出装置(ISPS-S)により相模湾初島沖のシロウリガイ群集内の堆積物から採集された間隙水中の溶存無機炭素(DIC)の $\delta^{14}\text{C}$ 濃度の鉛直分布

Fig. 6 Vertical profiles of $\delta^{14}\text{C}$ value of dissolved inorganic carbon (DIC) in pore waters collected with the *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) from sediments in a *Calymene* colony off Hatsushima Island, Sagami Bay, during Dive 593 and during Dive 521 (Masuzawa *et al.*, 1991) of the submersible "Shinkai 2000".

の成功により、深さ45cmまでの鉛直分布が初めて求まり、硫酸還元が起こっている深さの特定が可能とした。しかし新たに、この活発な硫酸還元に伴い硫黄安定同位体の同位体分別がほとんど起こっていないという事実が見いだされた。現在ま

での結果の範囲内では、メタンの供給とそれを用いる硫酸還元の存在が本質的であり、それらを選ぶ媒体としての「湧水」の存在の確認は、シロウリガイ生態系における物質フラックスの評価とともに次なる課題と考えられる。

謝 辞

「しんかい2000」用現場間隙水抽出装置の改良にあたっては、共和鉄工所の杉井勝洋氏とエンジニアリング東海の出水良信氏はじめ皆様の多大な協力をいただいた。本装置を用いた1991年12月の「しんかい2000」による潜航調査において協力を惜しまれなかった段野司令以下、整備、潜航、航法管制の諸氏に感謝いたします。また第593潜航の桜井船長と鈴木潜航士には装置の作動に際し大変な御苦労をしていただいた。硫黄同位体比の測定は、岡山大学地球内部研究センターの日下部実教授と野儀多津恵氏の協力のもとに行われた。

参考文献

- Chambers, L.A. and P.A. Trudinger (1979): Microbiological fractionation of stable sulfur isotopes: A review and critique. *Geomicrobiology J.*, 1, 249-293.
- 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—シロウリガイ鰓組織中の共生細菌の検索を例として。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 61-68.
- Fujioka, K., T. Gamo, M. Kinoshita, K. Koga, K. Kaiho, M. Yamano and H. Tokuyama (1991): Seismo-volcanic catastrophe happened in western Sagami Bay, Central Japan—Results on R/V Tansei Maru KT89-11 Cruise—. *J. Physics of the Earth*, 39, 267-297.
- Gamo, T., J. Ishibashi, K. Shitashima, M. Kinoshita, M. Watanabe, E. Nakayama, Y. Sohrin, E.-S. Kim, T. Masuzawa and K. Fujioka (1988): Anomalies of bottom CH_4 and trace metal concentrations associated with high heat flow at the *Calyptogena* community off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan: A preliminary report of Tansei Maru KT-88-1 cruise Leg-1. *Geochemical J.*, 22, 215-230.
- 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。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 5, 317-323.
- Goldhaber, M.B., I.R. Kaplan (1974): "The sulfur cycle." p569-655. In: *The Sea*, Vol. 5. Edited by E.D. Goldberg, Wiley, New York, 895pp.
- 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。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 91-98.
- 橋本 倬・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。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 37-50.
- 橋本 倬・松澤誠二・堀田 宏 (1988): 相模湾沖の山堆における深海底生物群集の探索。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 5, 177-188.
- 石井輝秋・渡辺正晴・石塚明男・太田 秀・酒井均・原村 寛・鹿園直建・富樫和也・葉袋佳孝・富永 健・鎮西清高・堀越増興・松本英二 (1988): 「しんかい2000」によるシロウリガイ群生地を含む相模湾西部の地質学的研究。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 4, 189-218.
- Kitagawa, H., T. Masuzawa, T. Nakamura and E. Matsumoto (1993): A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements. *Radio-carbon*, 35, 295-300.
- 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。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 99-104.
- 増澤敏行・半田暢彦・小山陸夫 (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。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 4, 225-232.
- 増澤敏行・半田暢彦 (1989): 重錘打ち込み式コア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)。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 5, 23-29.

- 増澤敏行・半田暢彦・北川浩之・松本英二 (1990): 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). 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 6, 197-204.
- 増澤敏行・北川浩之・半田暢彦 (1991): 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: その2 (「しんかい2000」第521潜航). 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 7, 7-15.
- Masuzawa, T., N. Handa, H. Kitagawa and M. Kusakabe (1992): Sulfate reduction using methane in sediments beneath a bathyal "cold seep" giant clam community off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, 110, 39-50.
- 太田 秀・酒井 均・平 朝彦・大和田紘一・石井輝秋・前田昌調・藤岡換太郎・才野敏郎・木暮一啓・蒲生俊敬・白山義久・古田俊夫・石塚明男・遠藤圭子・角 隆幸・堀田 宏・橋本 惇・半田暢彦・増澤敏行・堀越増興 (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). 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 51-60.
- 太田 秀 (1990): 相模湾冷湧水生態系に関する生態学的知見. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 6, 181-195.
- Saino, T. and S. Ohta (1989): $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios of vesicomyid clams and a vestimentiferan tube worm in the subduction zone East of Japan. *Paleogeography, Paleoclimatology and Paleoecology*, 71, 169-178.
- Sakai, H., T. Gamo, K. Endow, J. Ishibashi, T. Ishizuka, F. Yanagisawa, M. Kusakabe, T. Akagi, G. Igarashi and S. Ohta (1987): Geochemical study of the bathyal seep communities at the Hatsushima site, Sagami Bay, Central Japan. *Geochemical J.*, 21, 227-236.
- 田中武男・橋本 惇 (1991): 相模湾の現生シロウリガイの分布. 月刊地球, 13, 42-46.
- 吉田則夫・塚原弘昭 (1991): シロウリガイ貝殻の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ と群生地下からの物質の供給. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 7, 25-31.

(原稿受理: 1993年8月10日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

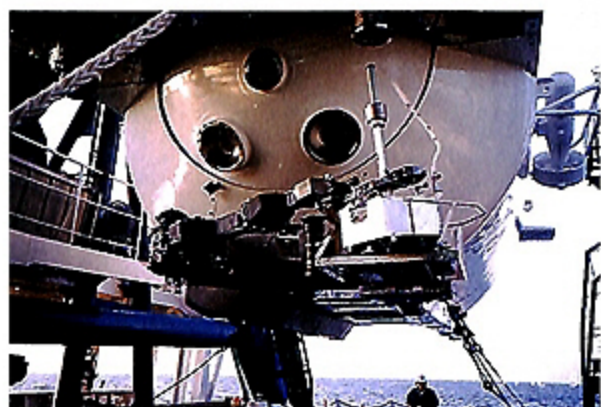


写真1 1991年12月3日の第593潜航で全6抽出ポートでの間隙水抽出後母船「なつしま」に回収された「しんかい2000」と潜水調査船用現場間隙水抽出装置 (ISPS-S)

Photo 1 *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) and the submersible "Shinkai 2000" recovered on board of R/V "Natsushima" after collecting pore waters at all six squeezing ports during Dive 593 on December 3, 1991.



写真3 1991年12月3日の第593潜航で相模湾初島沖シロウリガイパッチで作動中の潜水調査船用現場間隙水抽出装置 (ISPS-S)

Photo 3 The *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) working on a *Calyptogen* patch during Dive 593 on December 3, 1991.

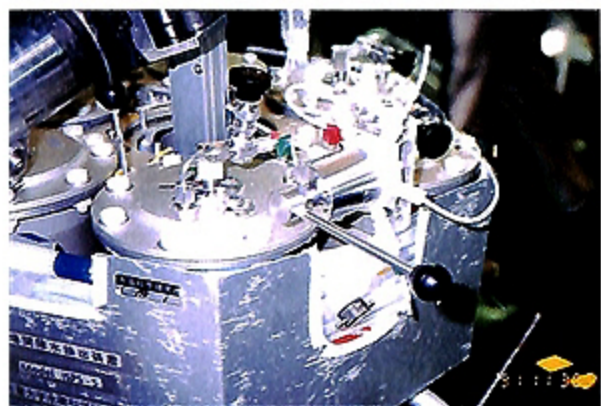


写真2 潜水調査船用現場間隙水抽出装置 (ISPS-S) の改良した作動機構の詳細

Photo 2 A precise view of the improved *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S).



写真4 1991年12月3日の第593潜航で潜水調査船用現場間隙水抽出装置 (ISPS-S) で間隙水を抽出した相模湾初島沖シロウリガイパッチの詳細

Photo 4 A precise view of the *Calyptogen* patch where pore waters were collected with the *in situ* pore water squeezer for a submersible (ISPS-S) during Dive 593 on December 3, 1991.