

重錘打ち込み式コアラ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）

増澤敏行*1 半田暢彦*2

「しんかい2000」のマニピュレーターで操作し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月の第380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1,160m）からこれまでで最長の16cmの砂質堆積物コアの採取を行い、間隙水を分離して13成分の鉛直分布を求めた。また堆積物の有機態炭素と全窒素の測定もおこなった。堆積物は黒色の粗砂からなり、4cm以深では強い硫化水素臭がした。間隙水の塩素量は深さ12cmで直上水の97%にまで低下していた。硫酸イオンは深さとともに著しく低下し15cmでは直上水の30%にまで低下し、この低下に対応してアルカリ度、溶存無機炭酸、アンモニウム態窒素が著しく増加し、また硫化水素も増加していて、これまで存在が期待されていた硫化水素の存在が確認された。この活発な硫酸イオンの低下と硫化水素の生成は、化学量論的關係からメタンを還元剤とする微生物的硫酸還元によるものと推定された。

Sampling of a Sandy Core With a Weight-Drive in Corer from a Deep-Sea Giant Clam Colony off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan and its Pore Water Chemistry: Dive 380 of the Submersible "SHINKAI 2000"

Toshiyuki MASUZAWA*2 and Nobuhiko HANDA*2

A weight-driving in corer was developed to collect a sandy sediment core by a submersible and operated at a deep-sea giant clam colony off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan (34°59.9'N, 139°13.6'E; 1,160 m deep) during Dive 380 of the submersible "SHINKAI 2000" on November 4, 1988. A 16 cm long sandy core was collected, and pore waters were separated from it and analyzed for 13 chemical species. Organic carbon and total nitrogen of dried sediments were also analyzed. The sediment core consisted of black coarse sand with a strong hydrogen sulfide smell below 4 cm deep. Chlorinity of pore water decreased to 97% of that of the overlying water 12 cm depth. Sulfate concentration decreased remarkably with depth to 30% of that of the overlying water at 15 cm depth, and alkalinity, dissolved inorganic

*1 名古屋大学水圏科学研究所

*2 Water Research Institute, Nagoya University

carbon and ammonium-N, and hydrogen sulfide concentration increased remarkably with the decrease in sulfate concentration. This confirmed the presence of hydrogen sulfide within the giant clam colony, which had been expected. A chemical stoichiometry of pore water composition suggests that this active decrease in sulfate concentration and production of hydrogen sulfide is due to microbial sulfate reduction using methane as an electron donor.

1. はじめに

1984年に相模湾初島沖の、水深1,100～1,200 mの陸側斜面下部で発見されたシロウリガイ (*Calymene soyoe*) 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寄せられている。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1,160 m) 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 CH_4 濃度が極めて高い (Sakai et al., 1987; Gamo et al., 1988)、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水の存在が想定されているが、これまでのところそのような湧水や硫化水素の存在は確認されていなかった。1988年2月の東京大学淡青丸KT-88-1航海での調査 (Gamo et al., 1988) では、この群集の近くで地殻熱流量が高いのが見いだされ、またこの群集を狙ってボックスコアラを7回投下したが、生貝を含む群集内堆積物の採取には成功しなかった。

我々は、もしそのような湧水があるとすれば、群集内堆積物の間隙水にその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柱状試料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、間隙水の抽出と化学分析を行った。その結果、これまでその存在が期待されていた硫化水素と活発な硫酸還元存在を実証することができた。

2. 潜水調査船用重錘打ち込み式コアラ

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く、また仮にコアラが採取できたとしてもその粗粒堆積物を保持して母船上に回収するのが難しい。また「しんかい2000」は海底では浮力にたいしてニュートラルで作業をするため、マニピュレーターでは上方に持ち上げるような力を加えることはできるが、コアラを貫入させるような下方に力をくわえることは自艇が浮き上がってしまうためできない。それで、海底で自立し、マニピュレーターで重錘をくりかえし持ち上げ自由落下させることにより砂質堆積物中にも貫入できるコアラを製作し、1987年11月の第314潜航で採泥を試みたが、海底での打ち込みと採泥には成功したものの、海面での母船への揚収に際し波で洗われて母船上には回収することができなかった (増澤ほか, 1988)。そのためコアラリテーナの構造と採泥後の保持法に改良を加えた2号器を製作した (図1)。

3. 試料と方法

1988年11月4日の第380潜航 (観察者、半田) において、1986年以来調査を続けている初島沖深海シロウリガイ群集中最大の群集 (34° 59.9' N, 139° 13.6' E, 水深1,160 m) で再度採泥を試み

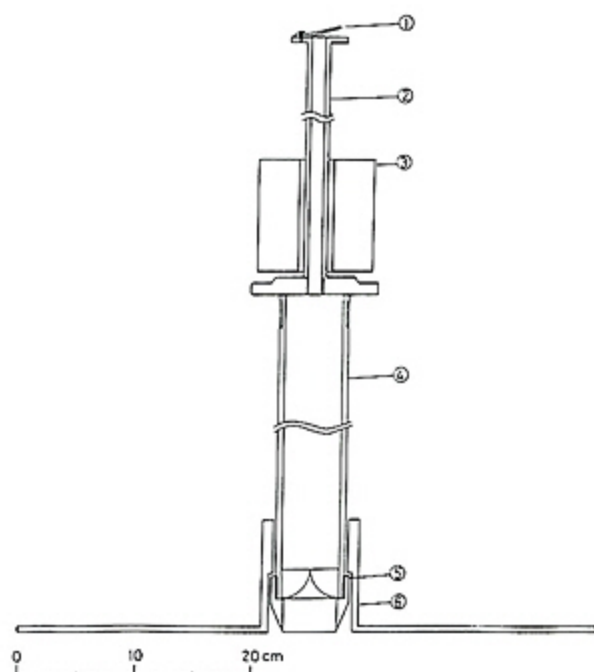


図1 「しんかい2000」用重錘打ち込み式コアラ。

- 1: ゴム製水抜き弁, 2: SUS パイプ,
3: SUS 重錘, 4: アクリル製パイプ (I.D.
5 cm, O.D. 6 cm, 長さ50または60cm),
5: コアキャッチャー, 6: SUS 支持板。

Fig. 1 A weight-driving in corer for a submersible.

- 1: rubber disk, 2: SUS pipe,
3: SUS weight, 4: acrylic pipe
(I.D. 5 cm, O.D. 6 cm, 50 or 60 cm
long), 5: core catcher, 6: SUS
supporting disk.

た (写真1)。コアラは、生貝をどかして設置し、重錘の100回の打ち込みでコアラ頭部を破壊してしまったものの、これまで最長の16cmの砂質堆積物コアの採取と母船上への回収に成功した (D380 コア; 写真2)。コア試料は密栓冷蔵して実験室に持ち帰り、現場温度条件下で冷却濾過遠心法により間隙水を分離し、ただちにそれぞれの分析項目に応じた保存処理を行ない、前報と同様の方法により13成分の化学分析を行った (増澤・半田, 1987; 半田・増澤, 1987)。東京大学海洋研究所海洋無機化学部門により製作された装置により採集された群集内直上水試料について

も、同様に分析を行った。堆積物試料は真空乾燥後、前報 (半田・増澤, 1987) と同様にして有機態炭素 (C)、全窒素 (N) と C/N 比の測定を行った。

4. 結果と考察

D380 コアは同一群集内で採取された D227-120 コア (増澤・半田, 1987) と同様、黒色で粗粒の砂質堆積物からなり、シロウリガイの貝殻の破片を数多く含んでいた。コアの4 cm 以深では強い硫化水素臭がして、これまで想定されていたシロウリガイ群集内における硫化水素の存在 (Sakai et al., 1987) が、本コアラによる採泥により初めて確認された (図2)。図2に C と N の鉛直分布を示す。C 含量は D227-120 コア (半田・増澤, 1987) よりも低い、コア下部でやや高くなっているのは、泥質分がやや多くなっていることによると思われる。

図3にD380 コア間隙水の13成分の鉛直分布を

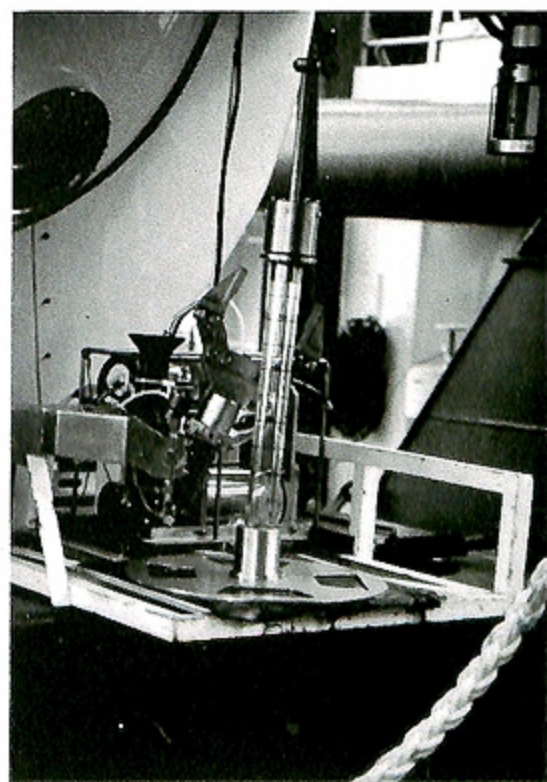


写真1 「しんかい2000」用重錘打ち込み式コアラ。
photo. 1 A weight-driving in corer for a submersible.

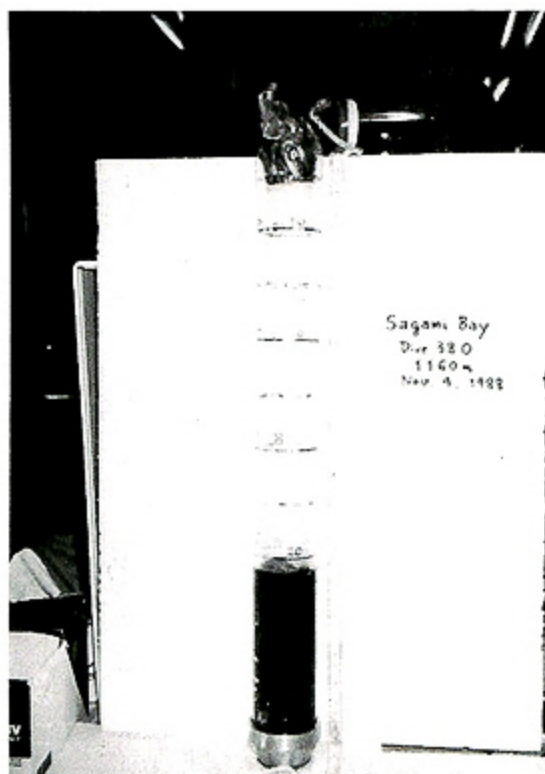


写真2 「しんかい 2000」第380潜航で相模湾初島沖シロウリガイ群集内で採取された砂質堆積物コア (D380 コア)。

photo. 2 A sandy sediment core (Core D380) collected during Dive 380 of the submersible "SHINKAI 2000" from a deep-sea giant clam colony off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan.

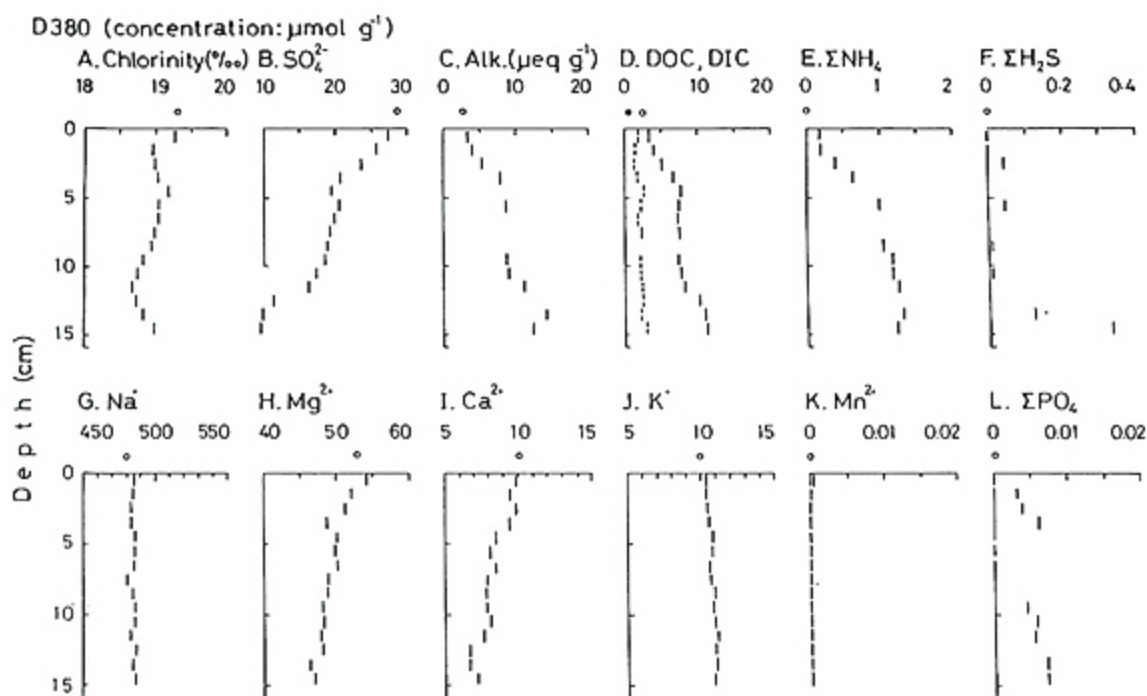


図3 相模湾初島沖シロウリガイ群集から「しんかい 2000」第380潜航で採取されたコア (D380 コア) 間隙水の13化学成分の鉛直分布。

Fig.3 Vertical distributions of 13 chemical constituents in pore waters of a core (Core D380) collected during Dive 380 of the submersible "SHINKAI 2000" from a deep-sea giant clam colony off Hatsushima Island, Sagami Bay, Japan.

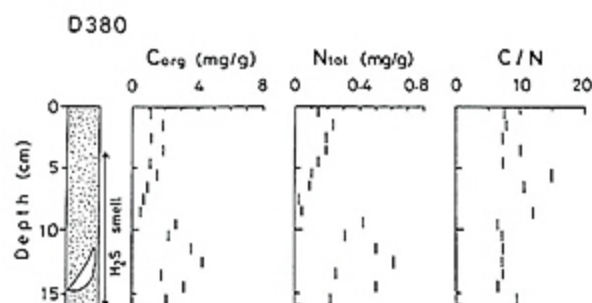


図2 D380 コアの有機態炭素 (C_{org}), 全窒素 (N_{tot}) と C/N 比の鉛直分布。

Fig.2 Vertical distributions of organic carbon (C_{org}), total nitrogen (N_{tot}) and C/N ratio of Core 380.

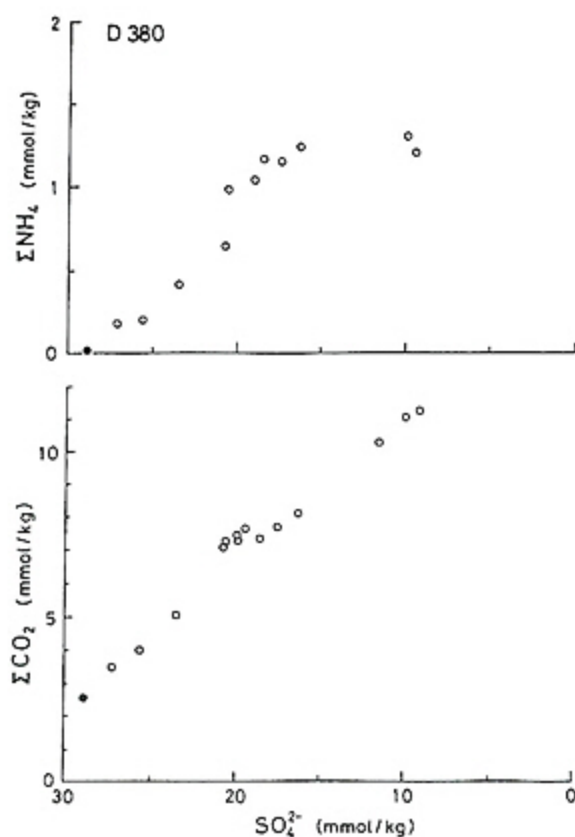
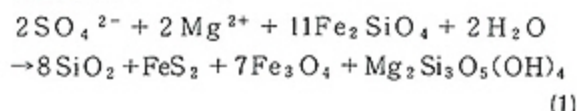


図4 D380 コア間隙水における SO_4^{2-} と ΣCO_2 および ΣNH_4 の関係。

Fig. 4 Relationships of ΣCO_2 and ΣNH_4 vs. SO_4^{2-} in pore waters of Core D380.

示す。塩素量は、12cmで直上水に比し3%低下していたが、D227-120 コア (増澤・半田, 1987) で認められた程ではなかった。一方 SO_4^{2-} は、深さとともに急激に減少し、15cmで直上水の30%という著しい低下を示した硫化水素が検出された。このことは、現在活発な硫酸還元が進行中であることを示している。この SO_4^{2-} の顕著な減少に伴いアルカリ度、溶存無機炭素、アンモニア態窒素の顕著な増加が認められた (図3, 4)。他方 Mg^{2+} と Ca^{2+} の濃度が深さとともに減少し、また Mn^{2+} はほとんど検出されなかった。

では、この硫酸還元と硫化水素の生成はどのようにして行われているのであろうか。第一の可能性として中央海嶺で見いだされているような熱水過程もしくはその冷却したものが考えられよう。Bischoff and Dickson (1975) は、高温高圧熱水実験 (200°C, 500 bars) から次のような化学量論式をたてた。

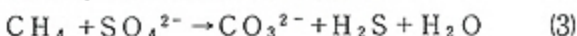


この式にも示されているように、熱水過程での海水起源の SO_4^{2-} の珪酸塩岩石中の Fe (II) による還元では、 Mg^{2+} の著しい減少と SiO_2 や Mn^{2+} の増加を伴いまた炭酸物質の関与はほとんど無い。D380 コアの間隙水の化学組成は、これらの点で熱水過程を指示していない。

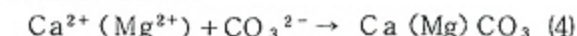
第二の可能性としては、微生物的硫酸還元であるが、光合成による有機物を還元剤とする場合、 $(CH_2O)(NH_3)_x + 0.5SO_4^{2-}$



と CH_4 を還元剤とする場合、



とが考えられる。これらの反応により炭酸アルカリ度が増加する結果、炭酸カルシウム (+ マグネシウム) の沈積が促進される (Masuzawa and Kitano, 1983)。



(2)式と(3)式の違いは、 CH_2O の炭素が0価であるのに対し CH_4 の炭素が-4価であるため $\Delta A1k / \Delta SO_4^{2-}$ は2で等しいが、 $\Delta \Sigma CO_2 / \Delta SO_4^{2-}$ が(2)式では2に対し(3)式では1となることである。

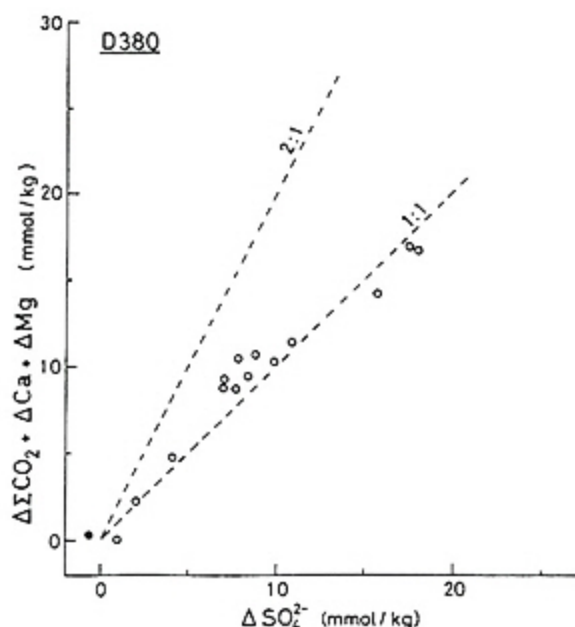


図5 D 380 コア間隙水における ΔSO_4^{2-} と $\Delta\Sigma\text{CO}_2 + \Delta\text{Ca}^{2+} + \Delta\text{Mg}^{2+}$ との関係。

Fig. 5 Relationship between ΔSO_4^{2-} and $\Delta\Sigma\text{CO}_2 + \Delta\text{Ca}^{2+} + \Delta\text{Mg}^{2+}$ in pore waters of Core D380.

図5に Ca^{2+} と Mg^{2+} の減少が(4)式の反応によるとして補正した場合の ΔSO_4^{2-} との関係を示す。図5からわかるように点は傾き1の直線の回りにあり、化学量論的には、D 380 コアにおける硫酸還元が(3)式によること、すなわち CH_4 を還元剤としていることを指示している。

今回の結果から、この初島沖の深海シロウリガイ群集では、起源はまだ解明されていないがおそらくテクトニクスに関係していると想定される、観測されているような活発なメタンの供給があり、群集内の堆積物中で、このメタンを還元剤とする海水から供給される硫酸イオンの微生物的還元により硫化水素が形成され、シロウリガイの鰓に内部共生する化学合成硫黄細菌が、この硫化水素を酸化し有機物を合成してこの生態系を維持していると考えられる。中央海嶺の硫化水素の生成が(1)式のような熱水過程によるという違いはあるものの、溶存酸素と硫化水素との境界面での化学合成硫黄細菌による有機物の合成をエネルギー源と

しているという意味では、この初島沖の沈み込み帯の深海高密度生物群集は、中央海嶺の熱水湧出口周辺の生物群集とよく似た situation にあるといえよう。

謝 辞

本研究は、1988年11月の海洋科学技術センターの「しんかい 2000」による潜航調査を用いて行われた。調査に協力を惜しまなかった鶴司令、段野副司令以下、整備、潜航、航法管制の諸氏に感謝致します。「しんかい 2000」用重錘打ち込み式コーラの制作をしていただいた名古屋大学理学部装置開発室の高松三枝官と、コアリテイナーの構造に関して有益な助言をいただいた「しんかい 2000」の今井整備士に御礼申し上げます。

参考文献

- Bischoff J.L. and Dickson F.W., 1975, Seawater-basalt interaction at 200°C and 500 bars: implications for origin of sea floor heavy metal deposits and regulation of sea water chemistry. *Earth and Planetary Science Letters*, 25, 385-397.
- 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. 第3回「しんかい 2000」研究シンポジウム報告書, 61-68.
- Gamo T. et al., 1988, Anomalies of bottom CH_4 and trace metal concentrations associated with high heat flow at the *Calymene* 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.
- 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.
- Masuzawa T. and Kitano Y., 1983, Interstitial water chemistry in deep-sea sediments from the Japan Sea. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 39, 171-184.
- 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 vesicomyid clams and a vestimentiferan tube worm in the subduction zone east of Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 71, 169-178.
- Sakai H. et al., 1987, Geochemical study of the bathyal seep communities at the Hatsu-shima site, Sagami Bay, Central Japan. *Geochemical Journal*, 21, 227-236.

(原稿受理 1989年4月27日)