

遠州灘の漸深海帯に化学合成生態系を求めて —「しんかい2000」第771潜航報告—

太田 秀*¹ 小島 茂明*¹ 葉 信明*¹ 橋本 惇*²

1994年11月下旬、主として化学合成生物群集の調査を目的に、「ドルフィン 3K」のダイブ#199～202と「しんかい2000」のダイブ#770～772の潜航調査が遠州灘の金洲ノ瀬頂部から南西裾部にかけて行われた。そのうちダイブ#771は金洲ノ瀬南西で御前崎海脚の南裾部にあたる1,220～1,000mの scarp-terrace 構造における生物調査に当てられ、水深1,200mと1,040m付近の3か所に、過去の冷水水域を示す含貝化石カーボネートコンクリーションの大きな露頭を確認し、1,040m付近では現在の湧水活動と化学合成生物群集を確認し、ハオリムシ類を中心に採集した。なお、周辺は強い底層流に洗われる薄い粗砂に覆われる岩盤域であるが、懸濁食・有機テトラヒス食性のメガベントスの密度がやや高く、クモヒトデ類を優占種としたその高生物量を支えるエネルギー源として、冷水水性化学合成エネルギー生産の一部が流れているものと推定される。

キーワード：化学合成生物群集、ハオリムシ、遠州灘、カーボネートコンクリーション

Search for the Chemosynthetic Ecosystem in the Bathyal Zone of Enshunada —Report of the Observations of the Dive 771 of “Shinkai 2000”—

Suguru OHTA*³ Shigeaki KOJIMA*³
Shin-Ming YIEH*³ Jun HASHIMOTO*⁴

Chemosynthesis-based biological communities were explored on and along the southwestern flank of the Kanesu-no-se Bank, Enshu-nada, Japan, with the unmanned submersible “Dolphin 3K” (Dives #199-202) and manned submersible “Shinkai 2000” (Dives #770-772) in November 1994. Dive #771 of the “Shinkai 2000” was dedicated to the exploration and sampling of the chemosynthesis-based biological communities along a scarp-terrace structure on the southern slope of the Omaezaki Spur between depths of 1,000-1,220m. Outcroppings of carbonate concretion rocks embedding huge fossil bivalves were located at 1,200m spot, and 2 sites along 1,040m contour during the

* 1 東京大学海洋研究所

* 2 海洋科学技術センター深海研究部

* 3 Ocean Research Institute, University of Tokyo

* 4 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center

dive. The shallower spots are still active, sustaining 3 species of vestimentiferan tube worms and mytilid mussels.

The ambient environment was basically flat (monotonously inclining) bottom of sedimentary rocks covered thinly by coarse debris and scoria. Together with the bottom features, relatively higher abundance of bottom biota, composed mainly of ophiuroids, comatulids and other suspension or organic detritus feeders suggested strong erosive bottom current regimes. The outflow of the biological energy produced in local "chemosynthetic fermenters" along the subduction-induced cold seeps may account partly for the high abundance of suspension feeders.

Key words: Chemosynthetic community, Vestimentiferan tube worms, Enshu-nada, Carbonate concretion

1. はじめに

フィリピンプレート北端部がユーラシアプレートに衝突し沈み込む場である遠州灘-銭洲海域が、1984年以来主として日仏 KAICO 計画を契機に調査されてきた。筆者らも当初からこの計画に参画しつつ、曳航式深海探査・測定・採集機 DESMOS (Deep-sea multi-monitoring system) を開発し、独自に海底探査調査を行い、地球物理・地質学の研究者らの研究にも資してきた。研究の出発時点においては、生物グループとしての研究目的の大枠は生物群集と環境の記載、エネルギー基盤の解析、生理学的機構の解明にあったが、最近ではむしろ、海底下から海水に負荷され、生物を経由する物質のフラックス、化学合成生態系という特殊な環境に固有種として適応した生物グループについて、いろいろな空間スケールで隔離した化学合成生態系間における進化系統の解析に移行してきている。種々の機会に繰り返し述べてきたように、化学合成生態系が成立するのは、立地条件では大洋底拡大軸、背弧海盆リフト系、火山弧に沿った温泉、サブダクションゾーンの冷湧水地帯、石油・天然ガス浸出地帯、有機物成分を含む地下水の流出、(自然・人為)有機物高負荷環境とがあげられ、またその水深は範囲を問わないものである。しかし、テクニクを営力で維持される化学合成生態系として、サブダクションゾーンの冷湧水帯が時空間的にもっとも大規模かつ安定なものであり、また、我が国の研究者として地の利を得た研究対象である。日仏 KAICO 計画が、むしろ2,000~6,000m級の深部に焦点を当ててきたが、筆者らは遠州灘(南海トラフ北端部)の水深300~2,000mにおける発見にも努力を続け、本年度は11月20~22日の「ドルフィン3K」による金洲ノ瀬近辺の放置漁具調査を兼ねて、金洲ノ瀬頂上近くの南西肩290mにおける化学合成生物群集の確認後に、

さらに深部への延長を確認する予備調査を行い、これを受けて化学合成生物群集の構成種の深度分帯を確認するための採集を主目的に「しんかい2000」の第771潜航を割り当てた。

2. 方法と海域

1994年11月25日、段野司令の指揮のもとに潜航観察者太田、艇長鈴木晋一、艇長補佐松本恵太が搭乗。海洋科学技術センターの橋本淳氏、東大海洋研の小島茂明氏、大学院生葉信明君が船上研究をサポートしてくれる。

遠州灘沖にはほぼ北東-南西に雁行する scarp-terrace の繰り返しが見られ、数回の日仏 KAICO 計画の調査対象となってきた。このうち、金洲ノ瀬南西、御前崎海脚の真南に、御前崎海脚の裾部にあたる水深約1,200mにテラスが存在し、ここから北北西に強い斜面が駆け上がる。前述した「ドルフィン3K」による予備調査でも水深1,100m付近を中心に繰り返し出現するカーボネートコンクリーションと思われる小露頭に、シロウリガイ類の死殻の散乱と、ハオリムシ類とシンカイヒバリガイ類の棲息がみられた。

ミッションの目的は、水深1,200~1,000mレンジに、①おそらくスルガシロウリガイ、オウナガイ、シンカイヒバリガイ類、ハオリムシ類を指標とする化学合成生物群集を発見し、各種生物を採取すること、②生物採取は、現在分子生物学的、遺伝的研究手法を集中しているハオリムシ類、シンカイヒバリガイ類を10個体以上の単位で捕獲する、③含貝化石カーボネートコンクリーション露頭、断層崖などを詳しく観察すること、④課題を終え次第、さらに浅部に探査範囲をひろげることである。マンガと俗称する鋤簾と厚肉塩ビ製の生物サンプル用断熱密閉容器をペイロードラックに装備し、外付け長尺スチル

カメラはステレオ仕様で前方30度にセット、艇内には超小型デュアルビームレーザーポインター（平行ビーム幅5 cm）を持ち込み、対象物指示とサイズ測定に備えた。

風力5、波浪4、うねり3と初冬としてはなんとかという海況で、09:10ハッチ閉鎖、09:58に潜航開始し、水深1,220mの予定点に11:12に着底した。その後、離底予定時刻15:30までの間、観察・採集作業を行うことができた。

3. 観察結果

バラスト調整、ツリム調整を終えて着底した海底は、等深線が南西から北東に走る斜面である。堆積岩性の基盤岩を粗砂とよく酸化した緑褐色のシルトが数cmの厚みで覆い、暗色の粗砂～細礫大のスコリアがよく見える。水温3.07°C、底層水の流向流速真北よりごくわずか（<0.1kt）、視程6mであった。リップルマークは認められないが、粗粒堆積物はスミージングを受け、細泥成分は吹き払われているから、底層流は20~30cm/secを超えることもあると推定される。もっとも目に付く大型生物は、アカトゲナガクモヒトデ、フウリンクモヒトデ、ライマンクモヒトデ、*Ophiura irrorata*、*Ophiocten hastatum*などの線絡性や表在性のクモヒトデ類とウミユリ・ウミシグ類、それにオバケフクロウニやシロウニなどの流れ来る植物破片を好むウニ類などと、棘皮動物の密度が高い。また、固着性で濾過食を営む海綿や腔腸動物が多いことも、この環境が堆積学的に erosive であることを示している。

着底点にはミッションの課題である冷湧水性生物群集を示唆する指標はなく、これより真北に向かって斜面を斜めに上りながら探索を開始した。南東に駆け下る斜面は堆積岩性の基盤岩で、時には鏡肌というのは大げさとしても、堆積物をほとんど欠いた平面をみせる。

11:23鋭くカール状、あるいはどじょうすくいのようなザルに似た馬蹄形の崩落地形に出会う（写真1）。もっとも深い段差で2、3mあり、潜水艇全体がちょうどはまりこむサイズである。崩落崖面は極めて新鮮で、「昨日の落盤事故」とでも表現できそうであるが、タルスあるいはガレの大部分はすでに運び去られている。1~2cm厚の水平な灰褐色の砂層（タービダイト？）を挟むが、崖面自体は白色で石灰岩を思わせる。また、シロウリガイ類と思われる大型二枚貝の化石もいくらか含んでいるが、むしろその数が少ないものであった。ただし、上面観では骨盤のような形態、マッシュルーム状の瘤、あるいは眼穴のようなくぼみが認められ、やはりカーボネートコンク

リーションと考えられる。崖下に散在する10cmサイズのシロウリガイ類の死殻は、この堆積岩崖由来の化石か、現生種の死殻かは確認できない。生きたハオリムシ類やシンカイヒバリガイ類は存在せず、白色の粉を伴う変色斑も見えないので現在活発な湧水域とは思えないが、ギボシムシ類が多数みられた。興味はそそられるが、この地形に艇がはまりこみそうなので詳しい観察や採集は割愛し、北への探索を再開した。

その後の2時間はひたすら化学合成生物群集の探索に費やされた。図1のトラックチャートに示すように、北上すれども指標となる石灰質露頭や化学合成生物群集がみられず、西北西に斜面を登る。やはり、基盤岩を粗砂が覆い、ウミシグとライマンクモヒトデが優占する環境が続く。「ドルフィン3K」のポジショニングとの系統誤差を考慮して、水深ほぼ1,030m沿いに南下して探索を継続する。12:36水深1,035m付近でとうとう巨大な骨盤状の外観をしめすカーボネートコンクリーションの露頭と、ハオリムシの群棲地を確認した。単調な斜面に幅50mほどにわたって小テラス状にカーボネートコンクリーションが1~3mの段差をなして露出する。このコンクリーションは全体としては厚いスラブ状であるが、表面は複雑な perforation や callus をもち、極めて立体的である。また、シロウリガイ類やオウナガイ類化石が多量にスタックした断面をみせるものもある。シロウリガイ類の死殻の破片も散在するが、化石種か現生種の死殻かはやはり観察窓からでは確認できない。残念ながら生きたシロウリガイ類やシンカイヒバリガイ類のバッチもみつからない。コンクリーションの陰から立ち上がる多数のハオリムシ類と、たぶん小型のシロウリガイが棲息するかもしれぬ堆積物のポケットを含む場所に艇を着座させた。3種のハオリムシが混生するのを視認し、写真撮影ののち（写真2）採集にうつる。

数の多いハオリムシは相模湾の初島沖や沖ノ山堆積部のもものと形態的に共通な *Lamellibrachia* に属するもの（サガミハオリムシと仮称）で、赤紫色の糸絨を花のように開き、中央部に薄緑の漏斗状の obtulacrum をもつ。チューブは厚肉硬質の角皮色～汚褐色で、外観はなめらかである。直径が1cmほどの端部はラッパ状に開くこともなく、屈曲しながらも後端に向かって一様にテーパリングしながら、全長は約70cm級である。これを14個体採集した。ほぼ同サイズであるが、チューブの先端がラッパ状に開き、また、成長に伴いこのラッパ状のリングを先端近くにリングとして残す種類は *Escarpia* に属するものと思われる。この類は伊平屋海嶺でおなじみのグループ

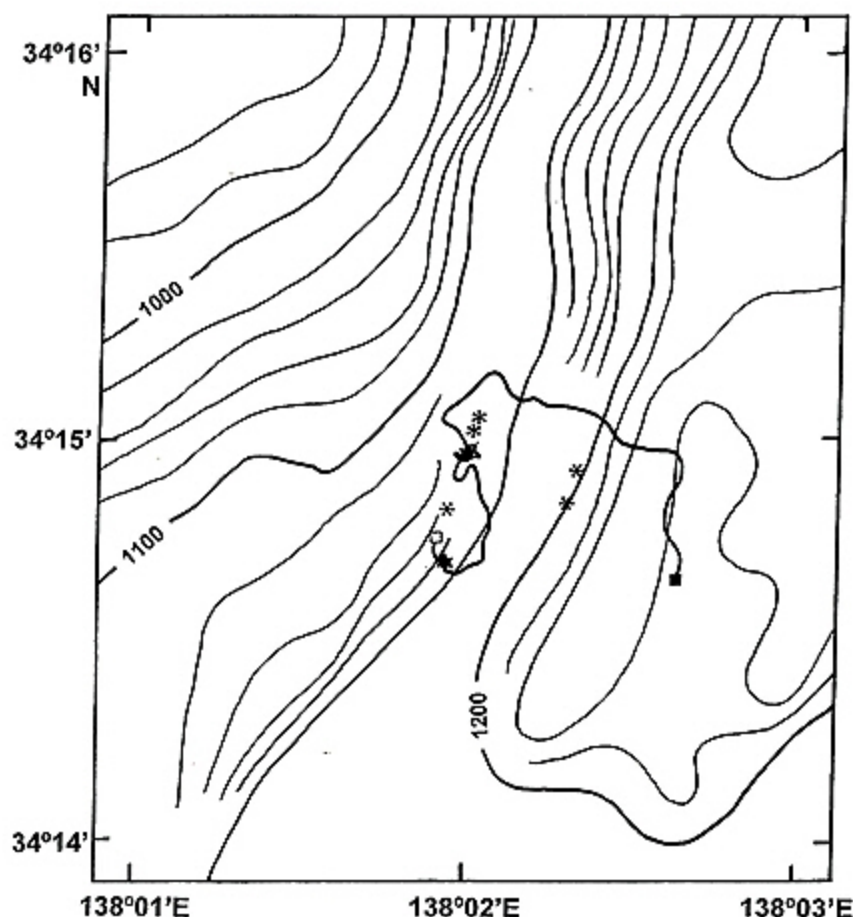


図1 潜航地点の海底地形と「しんかい2000」#771潜航のトラックチャート。■：着底点、□：浮上開始点、★：カーボネート露頭とハオリムシ、*：「ドルフィン3K」#200、#202潜航による露頭・ハオリムシ・ヒバリガイ視認点

Fig. 1 Bottom topography and the track chart of Dive #771 of "Shinkai 2000" including the annotations during the preceding "Dolphin 3K" Dives #200 and #202. ■: landing point, □: ascending point, ★: outcrop of carbonate concretion and chemosynthetic biota, *: outcrop of carbonate concretion and chemosynthetic biota found during "Dolphin 3K" dives.

である。虫体部をチューブからあまりせり出さず、鰓も花卉状で糸絨状に散開せず、表面がざらざらした棒状の obtulacrum を突き出す。これを4個体採集。もう1種は、最大径4mmほどで、長さは50cm級の暗色で強靱なチューブをもつ種類で、これは1個体しか採集できなかった。これらのハオリムシの採集品は形態学的には未記載であるが、筆者らによるこれまでの採集品を含めて分子生物学的な系統研究の結果を本書に別記事として報告しておいた(小島ら)。

生きたシロウリガイ類(海域及び水深的にスルガシロウリガイ *Calyptogena fausta* であると期待される)の探索と採集は果たせなかった。堆積物とともに採集できた死殻は、オウナガイ *Conchocele bisecta* の死殻であった。

この採集場所をあとにして、今度はシンカイヒバリガイ類の発見と採集を主目的にさらに南下したが、底層流が約0.5ktと強くなり始め、艇の操縦がやや困難になってきた。リュウコックモヒトデやナガタネクモヒトデのような内在性のクモヒトデが潜れるだけの厚みをもった砂底がひろがるばかりなので、再度西の浅い方に向かう。14:45ころ、再度カーボネートコンクリーションの露頭に出会う。250m北方の先ほどの採集地点とほぼ同一の水深1,045mであり、一連の構造と思われるが、こちらは全体として斜面傾斜が弱く、断層による露頭というよりは全体が堆積物から洗い出されたような印象である。よりスラブ状で、むしろその下も洗掘されたようなレッジ構造が目立つ。また、周辺の砂底には、白色粉末を伴う

表1 冷湧水域周辺で視認されたメガベントス

Table 1 Megabenthic organisms observed during the Dive #771 in and around the cold seeps.

六方海綿類	ガラス海面の1種 <i>Farrea occa</i> Bowerbank
腔腸動物	単生珊瑚類 <i>Deltocyathus</i> , <i>Fungiacyathus</i> , <i>Flabellum</i> spp. ハエジボクイソギンチャクの仲間 <i>Actinoscyphia</i> sp. [cf. <i>A. aurelia</i>] ウミエラ類 <i>Pennatulana naresi</i> Kolliker, 1880 & <i>Pennatulana</i> sp. ウミキノコ類 ? <i>Anthomastus granulatus</i> Kükenthal
軟体動物	エゾバイ類 <i>Neptunea</i> (or <i>Buccinum</i>) sp.
甲殻類	ベニオオウミグモ <i>Colossendeis colossea</i> Wilson, 1881 マルソコチヒロエビ <i>Benthescymus investigatoris</i> Alcock & Anderson, 1899 トゲヒオドシエビ <i>Acanthephyra eximia</i> Smith, 1884 イトアシエビ (mainly <i>Nematocarcinus productus</i> Bate, 1888) 赤色のコシオリエビ red squat lobsters シンカイコシオリエビ類 <i>Munidopsis</i> sp.
ウミユリ類	5腕のウミシダ類と多腕のウミシダ類 うみゆり類
海星類	<i>Dytaster</i> sp. <i>Henricia</i> spp. マクヒトデ <i>Hymenaster glaucus</i> Sladen, 1889 ニチリンヒトデ類 [probably <i>Solaster paxillatus</i> Sladen, 1889] ホソホシガタヒトデ <i>Zoroaster ophiactis</i> Fisher, 1916
クモヒトデ類	アカトゲナガクモヒトデ <i>Ophiolima bairdi</i> (Lyman, 1883) ノルマンクモヒトデ <i>Ophiophthalmus normani</i> (Lyman, 1879) フウリンクモヒトデ <i>Ophiophthalmus cateleimoides</i> (H. L. Clark, 1911) ジュズクモヒトデ <i>Ophiopholis japonica</i> Lyman, 1879 ナガタネクモヒトデ <i>Amphioplus macrascops</i> (H.L. Clark, 1911) ライマンクモヒトデ <i>Ophiomusium lymani</i> W. Thomson, 1873 <i>Ophiura irrorata</i> (Lyman, 1878) <i>Ophiocten hastatum</i> Lyman, 1878 <i>Amphiophiura</i> sp. [aff. <i>A. pomphophora</i> and/or <i>Stegophiura ponderosa</i>] リュウコツクモヒトデ <i>Ophiocliton fastigatus</i> Lyman, 1878
海胆類	オバケフクロウニ <i>Sperosoma nudum</i> Shigei, 1977 シロウニ <i>Echinus lucidus</i> Döderlein, 1885
ナマコ類	ミツマタナマコ <i>Synallactes chuni</i> Augustin, 1908 ゲジナマコ <i>Oneirophanta mutabilis mutabilis</i> Théel, 1879 カンテンナマコ <i>Laetmogone violacea</i> Théel, 1879 ハゲナマコ <i>Pannychia moseleyi</i> Théel, 1882 <i>Benthoctes</i> spp. (and/or <i>Paelopatides</i> spp.)
頭索類	ギボシムシ類 "Lophenteropneusts"
魚類	アズマギンザメ <i>Harriotta raleighana</i> Goode & Bean, 1895 ホラアナゴ類 <i>Synaphobranchus affinis</i> Günther, 1877 [and/or <i>S. kaupii</i> Johnson, 1862; <i>S. brevidorsalis</i> Günther, 1877] <i>Synaphobranchus bathybius</i> Günther, 1877 クズアナゴ <i>Nettastoma parviceps</i> Günther, 1877 トカゲギス <i>Aldrovandia affinis</i> (Günther, 1877) コンニャクイワシ類 <i>Alepocephalus umbriceps</i> Jordan & Thompson, 1914 <i>Rouleina guentheri</i> (Alcock) ソコクロダラ <i>Lepidion inoshimae</i> (Günther, 1887) ヘリダラ <i>Coryphaenoides marginatus</i> Steindachner & Döderlein, 1887 ハナトゲアシロ <i>Acanthonus armatus</i> Günther, 1878 ウシノシタ類

灰黒色の湧水孔が認められるので、明らかに現在活動的な湧水域である。先述したハオリムシ類の密度も高い。ただ、鋤簾で堆積物をすくおうにも、数 cm 下は岩盤で、シロウリガイ類やハナシガイ類の若い個体でもと期待しての採泥は不調に終わった。めざすシンカイヒバリガイ類はこのオーバーハング下面に足糸でまばらに附着している。残された時間をすべてその採集に投入する。隙間はマニピュレーターを挿入するのがやっとである。数 cm 厚のコンクリーションをマニピュレーターで割り取ろうとしても、これがまた堅くて割れない。マニピュレーターによる手探りの採集では、貝をすべて粉砕してしまう結果となった。惨めにクラッシュしたカツキシカイヒバリガイ *Bathymodiolus adulosus* の標本 1 個と、につっきコンクリーションの破片 1 個を土産に、浮上を開始することにした。このフィールドの上をトラバースしながら、再訪するのはここであろうと見当をつけ、生物群集への支障のない場所で 15:30 にショットを投棄し、上昇を開始、16:09 に浮上した。外付けのステルカメラによる撮影約 300 ステレオ・ペア、艇内手持ちカメラによるステル撮影 3 本、ビデオ記録 3 対 6 本とまづまづの観察である。

4. まとめと考察

御前崎海脚の裾部 1,000~1,200 m にも、かつての大規模な冷湧水域の含貝化石カーボネートコンクリーションが確認され、その一部は現在もお活動的であった。採集された 3 種のハオリムシ類は分類形態学的研究と分子生物学的系統解析にまわした。湧水の範囲はあまり広範なものではなさそうであるが、周辺には、1,000~1,200 m の漸深海帯の礫と露岩含みの粗砂底を代表する生物種が多量にみられ、その観察にも適当なダイブであった。

筆者の太田はこの海域・水深で多数回のトロールと膨大な採集標本を基礎に、出現するメガベントス生物種と

その分布パターンにかなり精通しており、目視結果からでもかなりの精度で種が同定・推定できる。主な出現種を表 1 にあげておいた。

全体として表在性のクモヒトデ類（内在性クモヒトデ類はまれである）とウミシグ類が個体数密度のうえで圧倒的に優占する。これらのほかにもガラス海綿類、ウミユリ類、ウミエラ類、単生珊瑚類などの固着性・定座性の濾過食者が優占する。これはもちろん堆積物が沈積せず、むしろ剝離的にはたらく強い底層流の流れる海底地質学的な立地条件に対応する。つまり、堆積物は粗く、薄いけれども海底を通過する有機物は多量であることを示しており、シロウニやオバケフクロウニなどは浅所から流下する植物破片を好み、ナマコ類やクモヒトデ類は粗砂上を転動する有機デトリタスを捕えているのであろう。おそらく、これに加えて冷湧水に含まれる成分を化学合成的に利用する自由生活性及び表在性微生物が、これら懸濁食・濾過食・選択的表層泥食者の栄養源となっているものと考えられる。定量性はないが、1,000~1,200 m 層の平均的な泥質の中部漸深海底のバイオマス (ca. 10 g wet weight/m²) の約 2 倍程度と見積もられるが、高い生物量を説明する要因の 1 つが、やや強い底層流による有機デトリタスの移送であり、もう 1 つが化学合成的生物エネルギー生産が周辺を潤しているものと推定される。

乗船中段野司令以下、「しんかい 2000」運航チーム並びに川名氏以下「ドルフィン 3K」運航チーム、母船「なつしま」の士官・乗組員一同にたいへんお世話になった。研究費の一部に、科技庁振興調整費が当てられた。

（原稿受理：1995 年 7 月 3 日）

（注）写真は次ページ以降に掲載

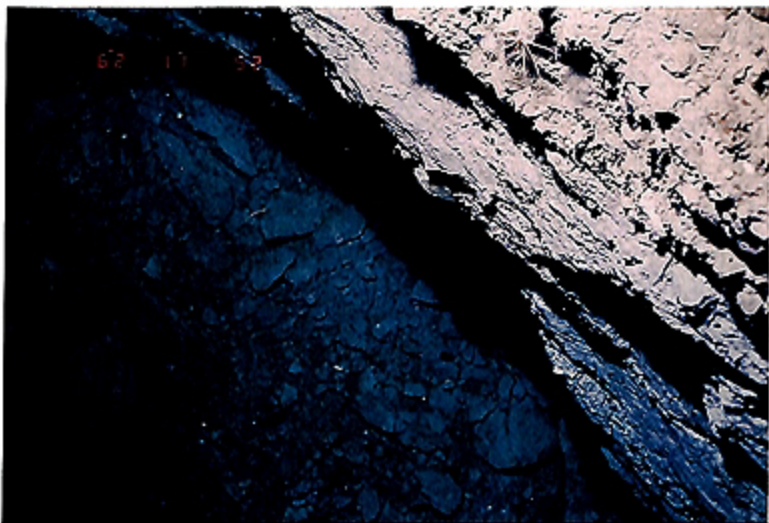


写真1 水深1,200mにみられたカーボネートコンクリーションの新鮮な崩落崖
 Photo 1 A part of very fresh, local U-shaped landslide incising the carbonate concretions at the depth of 1,200m.



写真2 水深1,034m地点における含貝化石カーボネートコンクリーションと2種のハオリムシ類
 Photo 2 Carbonate concretions embedding bivalve fossils and 2 species of vestimentiferan tube worm at the depth of 1,034m.