

ガラパゴス海嶺の海底熱水鉱床潜水記

浦辺 徹郎 (鉱床部)・湯浅 真人 (海洋地質部)
Tetsuro URABE Makoto YUASA

1. はじめに

1970年代終り頃から東太平洋海域の各地で続々と発見されている海底熱水鉱床は 21世紀の金属資源として各方面からの注目を浴びている。この鉱床は海底から噴出する温泉水中に金属イオンとして溶けていた鉄・銅・亜鉛・銀などがイオウと化合して硫化物となり沈殿したものである。一方地質時代に同様なプロセスで生成した鉱床の中にはその後周囲の地層とともに隆起して陸上に露出したものがある。その代表例は地中海のキプロス島にある鉱床で 銅(カッパー)という金属名も同島の名に由来しているという。この島から産出した銅は古代青銅器文明を支えたのである。

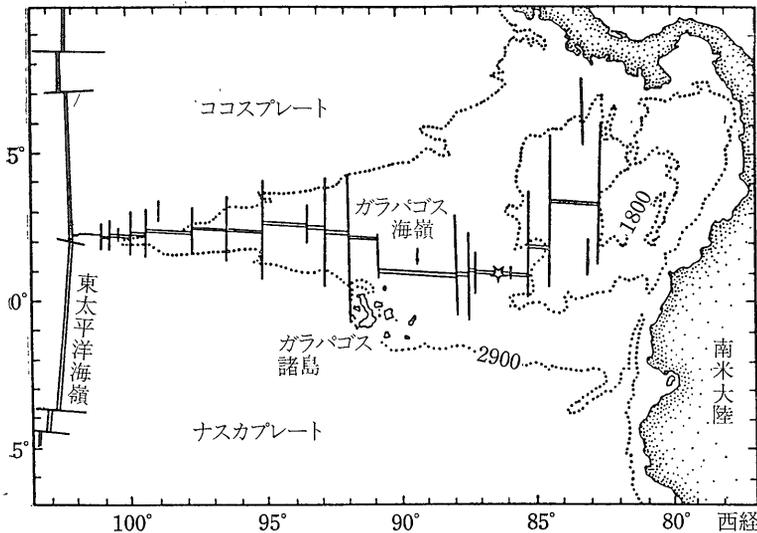
一方我が国にも海底温泉(熱水とも言う)から沈殿したと考えられる鉱床が2種類知られている。秋田県北部に多い黒鉱鉱床と 四国にかつて数多くあった別子型鉱床(キースラーガー鉱床とも言う)である。特に別子銅山で代表される別子型鉱床はその生成の場や鉱石の化学組成が現在の海底熱水鉱床と類似している。そのため海底熱水鉱床を研究することによって 今まで良く分っていなかった別子型鉱床の生成機構が明らかになるので

はないかと期待されている。

ただ海底熱水鉱床は発見されて日も浅く 日本人研究者が直接それを観察する機会はなかなか巡って来なかった。しかし「日米資源会議」の合意に基づき 筆者らは昨秋行われた米国海洋大気局(NOAA)が主催したガラパゴス海嶺の熱水鉱床潜水調査に参加することができた。そこでその折の写真も交えて読者の皆様を海底の世界に御案内したい。

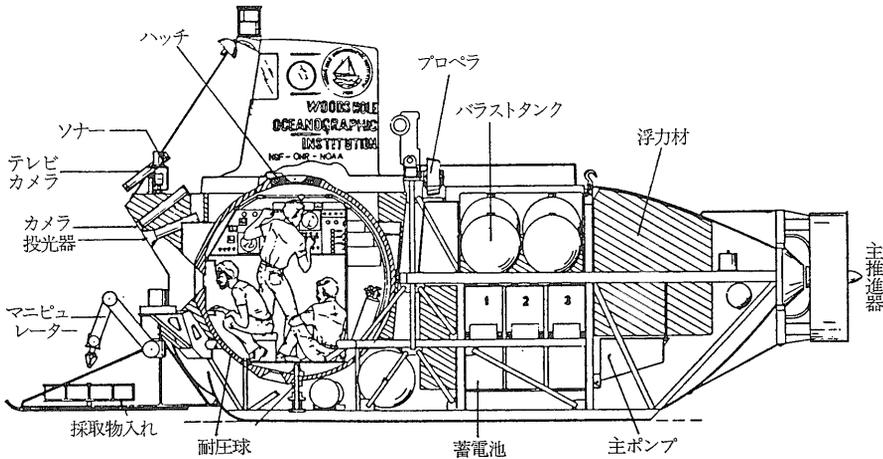
第1表 母船アトランティスII世号

長さ	64メートル	
幅	13.4	
吃水	5.2	
排水トン	2300トン	
巡航速度	12ノット	
航続距離	9000海里	
乗員	50名	
内訳	乗組員 25名	
	アルビン	
	運航班 10名	
	研究者 15名	



第1図

ガラパゴス海嶺の位置図。今回の調査地点は星印で示した所である。二本線が海嶺軸で それを直角に切る線はトランスフォーム断層を示す。この地域の大洋底の深度は約2900メートルで 海嶺部はそれより約300メートル浅くなっている。この地域のプレートの動き方は複雑だが最新新しい説が出されてうまく説明されるようになった。



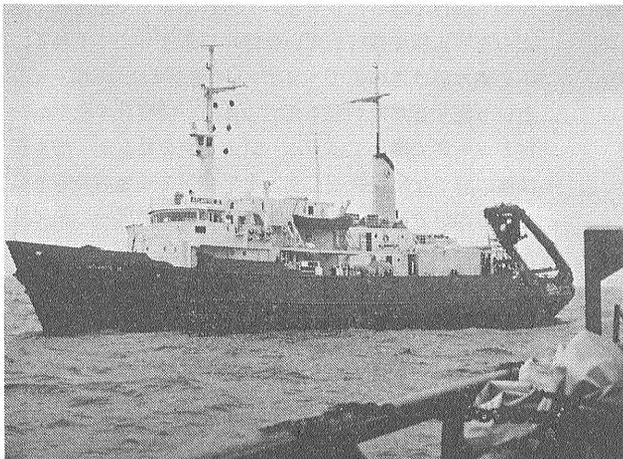
第2図 アルビン号の断面図。 有人自走式の小型深海潜水艇として一つの究極の姿を示している。 三人乗りで 機器の動力源として蓄電池を持っている。 前進・後退・上下動は左右のプロペラおよび主推進器で行う。 緊急の場合は種々の装備を切り離して浮上できる様に設計されている。 乗船者は万一に備えて事前とその操作の説明を受けることが義務づけられている。

2. 深海潜水艇アルビン号

今回の調査は4000メートルの潜水能力を持つ深海潜水艇アルビン号による熱水鉱床の分布図作りと試料採取が主目的であった。 このアルビン号は1964年に建造された 全長7.6メートル重さ16トンの研究用潜水艇で 現在米国ウッズホール海洋研究所によって運航されている。 小型なので潜水地点までは母船のアトランティスII世号(第1表)の甲板奥に格納されて運ばれる。 潜水する時にはアトランティスII世号の船尾のAフレームと呼ばれるクレーンで吊り上げられ 海面に降ろされる(口絵1)。

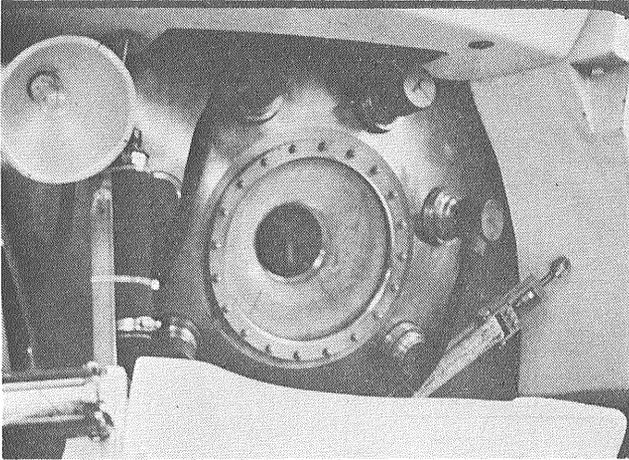
この母船はシービームというオンラインで海底地形図を作製する装置を搭載しており 潜水地点の事前調査を潜水前夜に行える様になっている。 また潜水中はアルビン号の正しい位置を決定し誘導する。 潜水後は蓄電池の充電 故障の点検修理をすべて船で行えるようになっている。 つまり母船は文字通り 乳呑児を育てる母親の様な役割を果している のである。 アルビン号(Alvin)の名は その設計者 アリン・バイン (ALVIN VINE) のつづりから付けられたが もとの母船ルル(LULU)は実際彼の母親のファーストネームをもらったのだそうである。

人間であれば成人式を過ぎたアルビン号の「半生」は



第3図

西ドイツの調査船ゾンネから見たアトランティスII世号。 船尾にAフレームが見えている。 ゾンネは今回の調査地付近で熱水鉱床の探査を行っており 独自に開発した船上機器を用いて 潜水することなく約10トンもの硫化物をしゅんせつした。



第4図

アルビン号の“のぞき窓”から外を見ている湯浅。潜水前に船上で撮影したもの。窓の内径は15センチメートル 外径は30センチメートルである。

波乱に富んだものであった。シークリフ号 タートル号とともに三つ子の長男として米海軍に生まれたアルビン号は 2才の時に最初の大舞台を踏むことになる。1966年1月17日 米空軍のB52機が空中給油機と衝突し搭載されていた水素爆弾が海中に落下し行方不明になった。核の恐怖を世界中に印象づけたこの事件後 直ちにアルビン号はスペイン沖での捜索に参加した。そして2ヶ月後 深度850メートルの海底に沈んでいた水爆の発見に成功したのである。しかし好運は長続きしなかった。2年後の1968年10月16日 アルビン号を吊り上げていた左舷のロープが突然切れ そのはずみで右舷のロープも切れてしまった。そのためアルビン号は母船ルルから放り出され コッド岬沖の深さ1530メートルの海底へと沈没して行ったのである。幸い乗組員は奇跡的に脱出したが 船体は膨大な回収費用を考えて放棄されることになった。しかしスペイン沖でのアルビン号の活躍は人々の記憶に新しかった。助命運動が組織され 翌年8月28日にほぼ完全な姿でクレーン船上に揚収され 10ヶ月ぶりに息を吹き返したのである。この時海底に横たわるアルビン号を発見したのは 水爆探索の先陣争いで敗れた別の深海潜水艇アルミノートであったという。

3. 潜水開始

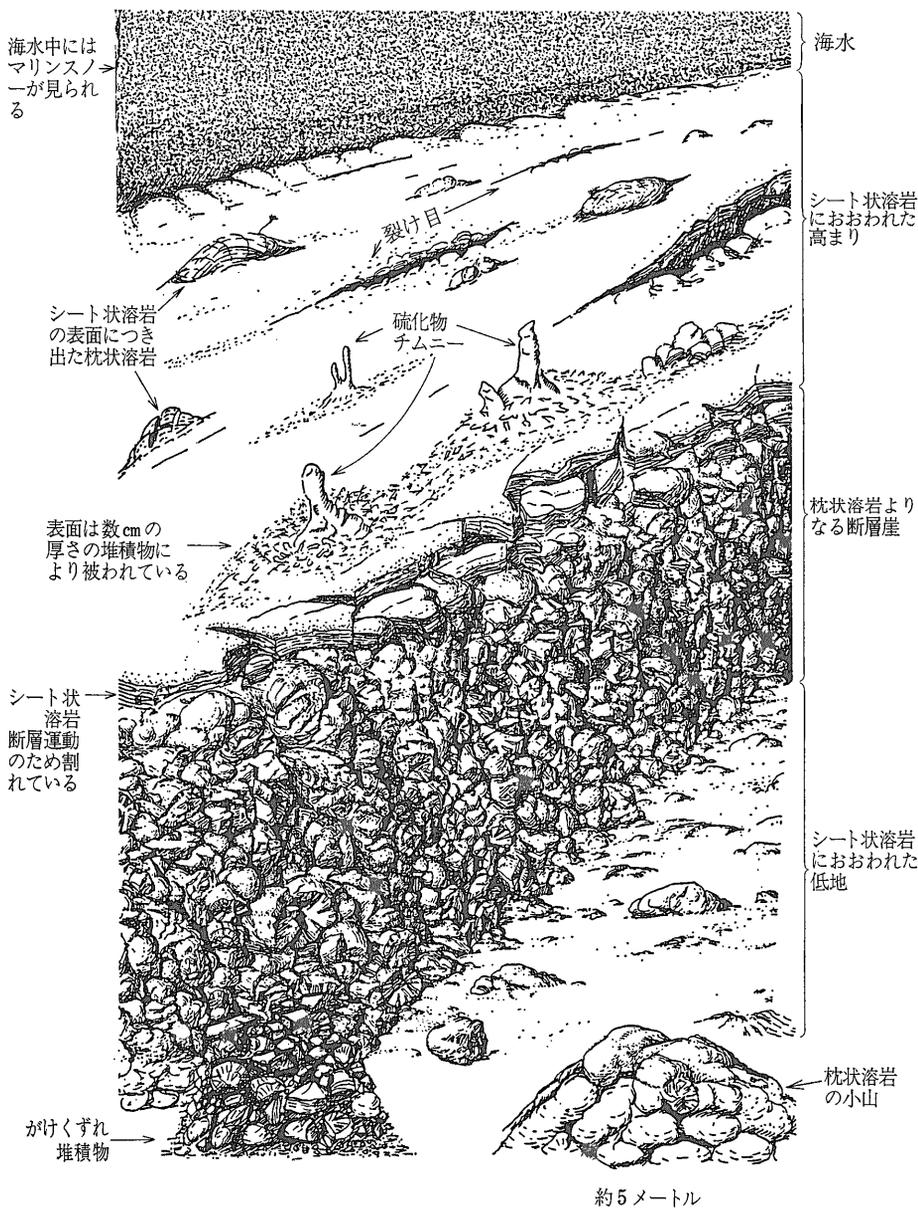
いよいよ今日は待ちに待った潜水の日である。アルビン号は後部甲板に引き出され 入念なチェックを受けている。安全装置は大丈夫か プロペラは回るか 投光器は切れていないか……。それぞれのチェックが終るたびに担当者がチェックリストにサインをし 最後に母船のペーカー船長がゴーサインを出す。研究者2

名とパイロット1名が乗船する。ハッチからすべり込む様に中に入ると狭い球の壁中を計器類が埋めつくしているのが見える。アルビン号は3人乗りであるが耐圧球の内径は2メートルしかない。我々は床の上にあぐらをかいて座り 下から50センチ程の高さにくり抜かれた“のぞき窓”から外を観察するようになっている(第4図)。

アルビン号は海面を離れると 毎分20~24メートルの速さで自由降下を始める。窓の外を遊泳していたクラゲもすぐに姿を消し 白いマリンスノーにとって代わられる。明るかった海は刻一刻と底知れぬブルーの色を濃くして行く。深度200メートルを越えると もはや太陽の光は全くとどかず完全な闇の世界となる。その内に目が慣れ 夜光虫が上に向かって流されて行くのが見え始める。沈んで行く潜水艇が起こす渦によって発光するのであろうか。海草の表面に発光バクテリアの付着したものが窓をよぎったり 小エビが青白く光を発しながら逃げて行ったりする。それはまるで銀河系の真ん中を宇宙船で飛行している様な幻想を与えてくれる。不思議な静けさの中で ソナー(音響測深器)のピッピッという電子音だけが聞こえている。深度計の数字が一定のペースで増えていく。ジャイロを見ると 潜水艇は体に感じない程ゆっくりと水平回転をしながら降下しているのが分る。私はふと斎藤史の「洗濯機の渦にもまれてのめりつつ萎えし浴衣が壁ちゆく 他界」という短歌を思い出していた。

4. 海底の世界

世界中の大洋底を作っているのは大部分玄武岩溶岩である。海嶺の割れ目から湧き上ったマグマが冷え固ま



第5図 今回の潜水地点のスケッチ。中央やや上寄りにあるチムニーが表紙の写真のものである。実際の崖の高さは40メートル程であったが 図中では約10メートルの高さに表現してある。高まりの幅は約40メートルで チムニーはその端の所に並んでいた。ちなみに海底のこの様な図のことを鮫鱈図というそうである。

ってできたこの黒っぽい岩石は 流出の仕方の違いによって枕状溶岩(口絵3)とシート状溶岩(口絵4)に分けられる。これらの溶岩は海嶺から離れて行くにつれてその表面を堆積物によって被われ始め 太平洋中央部では堆積物の厚さが300~500メートルに達している。

つまりここに見えている玄武岩は 数千年以内に噴出した“最近の”溶岩なのである。その溶岩を放出したマグマは現在も海嶺直下数キロメートルの所にマグマ溜りを作っていることが知られている。

今回調査したガラパゴス海嶺は 太平洋東端を南北に

走る東太平洋海嶺（海膨とも言う）から直角に枝分かれしたもので 赤道付近を東西2000キロメートルにわたって延びている（第1図）。このガラパゴス海嶺をはさむココス ナスカの両プレートは 毎年5～7センチメートルずつ離れつつある。つまりここで大洋底が割れ広がり その割れ目を玄武岩溶岩が埋めつつあるのである。実際海底に潜って見ると 幅数センチから数メートルのものまで数多くの裂け目が走っているのが見え（口絵5）まさにここで海底が拡大しつつあるのが実感される。

そんな海底の様子を模式的に描いてみると第5図のようになる。この図よりこの地域の大まかな地史が読みとれよう。まずこの地域の海底に多量の枕状溶岩流が流れ出た。それを平らに被って厚さ1メートル未満のシート状溶岩の噴出があった。その後も枕状溶岩が流れ出て高さ20メートル程の小山を作ることもある。活発な地殻変動の場であるここでは裂け目は常に生成されている。その裂け目の中には少し開いただけで止まってしまうものもあれば 大きな正断層崖を作るものもある。あるいはそこから300度を越える熱水が噴出して海底熱水鉱床をもたらしたのもあった。今回の調査の目的は正にそのプロセスを解明することにあつたのである。

5. 海底熱水鉱床

先にも書いた様にガラパゴス海嶺の熱水鉱床は現在活動を停止しており いわば“死んだ”鉱床ということが

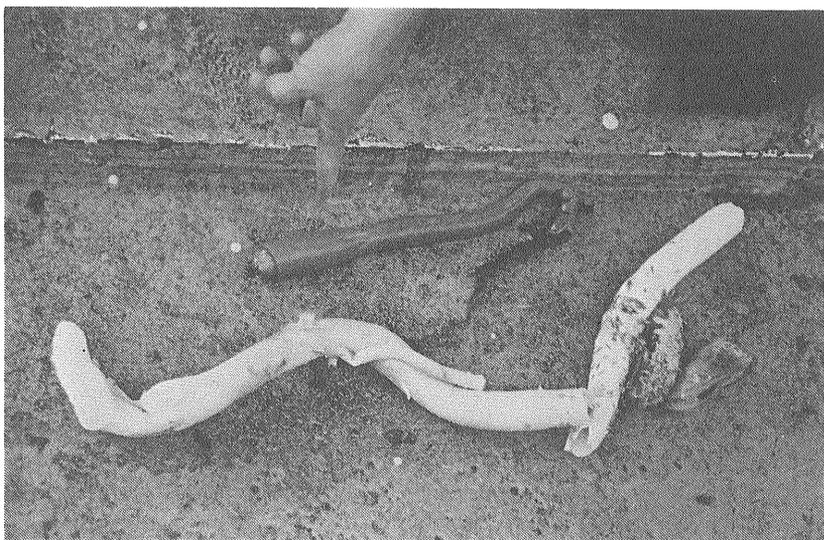
第2表 今回の調査で採取された硫化物鉱石の分析結果。陸上にある別子型鉱床とほぼ同程度の品位を持っていることが分る。

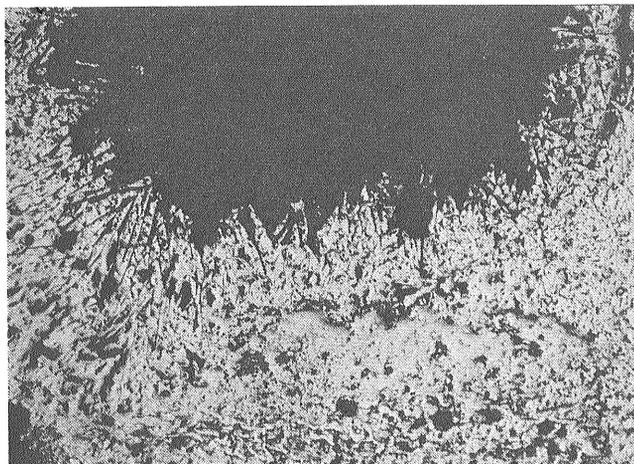
試料番号	鉄 (パーセント)	銅 (パーセント)	亜鉛 (パーセント)	鉛 (パーセント)	金 (トシ当りグラム)	銀
1650-1	36.66	8.71	0.08	0.00	0.0	15.5
-2	40.09	6.77	0.03	0.00	0.0	12.3
-4	33.10	4.16	15.97	0.01	0.0	36.0
-5	42.68	0.08	0.06	0.02	0.0	6.5
-6	35.30	0.15	0.32	0.03	0.0	6.8
-7	38.96	0.09	0.04	0.01	0.0	4.6
-8	30.63	5.04	0.56	0.01	0.0	2.0
-10	28.53	3.29	1.90	0.01	0.0	43.4
-11	38.41	0.15	0.00	0.00	0.0	0.5
1651-12	43.09	0.27	0.98	0.07	0.2	26.1
B-14	28.68	11.66	0.72	0.00	0.0	19.9
別子鉱山	—	1.2	0.3	—	0.2	6.6

できる。一方東太平洋海嶺の北緯13度や21度の地点に発見された鉱床は現在活動中で 盛んに350度の熱水を噴き上げている。深海の海水の温度は2度前後しかないので 熱水は急冷され溶かし込んでいた金属分を硫化物として沈殿する。その硫化物の中にはチムニーの内壁に付加されるものと 熱水と一緒に黒い微粒子として噴き上げられてしまうものがある。その微粒子がまるで黒煙の様に見えるので 活動中のチムニーはブラック・スモーカー（黒い煙突）と呼ばれている。

第6図

ブラック・スモーカーの周囲には熱水中の硫化イオンやメタンをエネルギー源として生きている奇妙な生態系が形成されている。チューブ・ウォーム（学名ベスティメンティフェラ）白うり貝（ポリゴノフェラ）カニ（ガラテア）ボンベイ虫（アルビネラ）などである。この写真はチューブ・ウォームのカラ（白い筒）とその中味を示している。生きている時には先にエラに相当する器官がついていたが 採取直後飢えたカニに食い荒らされてしまった。傷口から赤い血が流れ出ているが循環系は全く発達しておらず 肉に相当する部分は大部分イオウ酸化細菌の塊りということである。これは硫化物チムニーの西数十キロメートルの所にある海底熱水地帯からとられたもので そこには硫化物は見られなかった。





第7図

口絵8のアルビネラがあげた穴をうめる放射状の黄銅鉱結晶。 図の横幅が約9ミリメートルである。

ここのチムニーもまた以前はブラック・スモーカーであったことが 様々な事実から推定されている。 その頃には生きていたであろう奇妙な生物群(第6図)も今はすべて死に絶えて チムニーが静寂の中にひっそり立っているのが印象的であった。 それらの生物達は硫化物やシリカ(二酸化ケイ素)によって置換され 化石としてその姿をとどめているにすぎない。

観察が終わったら次は試料の採取にとりかかる。パイロットにどれを取るか指示すると 左右にあるマニピュレーター(マジックハンドのこと)を器用に操作してもぎ取ってくれる(口絵6)。この時一本の手だけでチムニーを取ろうとするとチムニーは折れないで逆に潜水艇の方が動いてしまうことがある。採取した試料は前面のカゴに入れて持ち帰ることになるが 第2表に今回採取した試料の主成分分析結果を示しておいた。

ブラック・スモーカーと同様にここのチムニーは主として黄鉄鉱(FeS_2)から成っている。次いで多いのが黄銅鉱(CuFeS_2)で 両鉱物とも金色をしており 新鮮な面を見るとききらきら光って見える。しかし表にもあるように金そのものはほとんど含まれておらずそれが 鉱石としての経済的価値を抑えている大きな要因となっている。試料を切断し磨いてみた所奇妙な構造が見えて来た(口絵8)。黄鉄鉱より成る塊りの中に直径15ミリ程の穴があいており 黄銅鉱がそれを埋めて放射状に成長しているのである。実はこの穴はアルビネラまたはポンペイ虫と呼ばれる長さ10センチ程の 今まで知られていなかった環形動物の一種の住処であったと考えられる。この新種の“ゴカイ”は硫化物を食べて体内のイオウ酸化バクテリアに与え そのバクテリアの生成する化学合成エネルギーをもらって生きているらしいのである。ところでアルビネラがこの穴を掘っている内に

チムニーの中心にある熱水の通路に貫通し 黄銅鉱を沈殿した熱水が上って来たことがあるのではないだろうか。アルビネラの運命やいかにという所である。

6. P・ボトル

通常の潜水の場合 深さによるが海底に到達するまでに2時間半 海底で5時間 海面に浮上するのに2時間合わせて9時間あまり耐圧球の中に居ることになる。しかし宇宙船と異なり 室内の気圧および酸素濃度は常に地上と同様に保たれているので 不自由でもなければ苦痛でもない。それどころか窓の外に展開する海底の世界に見とれ 写真のシャッターを押し 観察内容をテープレコーダーに向けてしゃべり続ける内に時間はあっけなく過ぎてしまった程である。

問題は水温2度の海水中に長時間居るために耐圧球の中が冷蔵庫のようになることである。帰日後潜水の感想を聞かれた時に必ず最後に登場する質問は その寒さに伴う生理現象のことであった。前夜のビールを控えなかった人のために 潜水艇の中には俗称P・ボトルが備えつけてあるので 読者の皆様も御安心されたい。ただこれは何の変哲もないプラスチックの小びんなので何かと取扱いに注意を要する。そこで我々は長時間ドライブ用に売られている 固化剤入りのチャック付ポリ袋を用意して行った。それを見つけたアルビン号のチーフパイロットが「オー ジャパニーズ テクノロジー」とさげんだ。彼にたのまれて 我々は帰国後薬局に行き大量に買い占めて米国へ送ったので 次回からは海底においても日本製品にお目にかかれることと信じている。