

伊是名海穴、鉱床サイト2のチムニー群の産状、及び硫化物チムニーの組織と鉱物組成

青木正博*¹ 中村光一*¹

「しんかい2000」Dive 360により、伊是名海穴で発見された硫化物チムニー群（鉱床サイト2）の産状を観察するとともに、熱水湧出孔、チムニー、生物群集、海底裂か系相互の位置関係を図化した。その結果、硫化物鉱床がほぼ南北に伸びる裂か系に規制されて、発達していることが明らかになった。このサイトから採取された硫化物チムニー3個の形態、組織、鉱物組成、化学組成を検討した。形態・組織とも互いに異っているが、高温熱水からの黄銅鉱、四面銅鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱の沈澱で始まり、温度を減じながら持続する熱水によって、砒素硫化物、シリカにオーバープリントされるに至る過程に個々のチムニーを位置づけることが可能である。末期晶出の砒素硫化物とシリカは、特徴的に金を随伴（6～8 ppm）していることも判明した。金は硫化物錯体として移動し、酸化的で冷たい海水と、還元的な熱水の混合をきっかけとして沈澱したものと考えられる。

The Occurrence of Chimneys in Izena Hole No.2 Ore Body and Texture and Mineral Composition of the Sulfide Chimneys

Masahiro AOKI*² and Ko-ichi NAKAMURA*²

The occurrence and mineralogy of sulfide chimneys found by the Dive 360 of the submersible "SHINKAI 2000" at Izena Hole No.2 ore body are described. Precise mapping of sulfide chimneys, various kinds of living matter and open fractures on the sea floor revealed, that the hydrothermal activity responsible for sulfide mineralization has been focused to the fracture system trending to the N-S direction. Mineralogical and chemical examination was on three sulfide chimneys having much different morphology and internal texture. These three chimneys can be placed on the course of a possible evolutionary process for high temperature sulfide chimney composed mainly of chalcopyrite, tetrahedrite, galena and sphalerite to be overprinted by arsenic sulfides and amorphous silica by sustained low temperature hydrothermal activity. The later stage arsenic sulfides are apt to associate gold (up to 6-8 ppm). The gold is thought to have been remobilized as bisulfide com-

*¹ 工業技術院 地質調査所

*² Geological Survey of Japan

plex and precipitated at the mixing front between reducing hydrothermal fluid and cool oxidizing sea water.

1. はじめに

「しんかい2000」Dive 360により、水深1421 mの地点で発見されたチムニー群は、鉤体としては小さいが、熱水活動は現在もなお継続しており、シンカイコシオリエビ等の海底熱水系に特有な生物群が存在する。ここには形態の良好に保存された高さ10cm程度から数mに到る無数のチムニー群が林立しており、海底熱水性鉤床生成過程の観察に好適なフィールドとなっている。また、熱水の湧出、チムニーの生成地点と母岩の裂か系との関係が、鉤体の縁辺部においてよく観察できる等の利点もある。

このサイトからは、3個の試料が採取されたが、1個は熱水の湧出地点より得られた試料であり、2個は硫化物チムニーである。採取されたチムニーからの熱水湧出は既に停止していたが、50cm以内の近傍に熱水が湧出していること、チムニー試料が形態的にも化学的にも良好な保存状態にあることから、生成後あまり時を経っていないと推察される。2個のチムニー試料は、その形態、鉤物組成において相互に大変異なっており、いかなる生成条件の相違を反映したものか、興味を持たれる。ここでは、鉤床サイト2の鉤体の産状、チムニー試料の産状、形態的特徴、鉤物学的特徴について、生成過程の推定を交えながら記載したい。

2. 鉤床サイト2の図化

図1及び図2に鉤体の平面図を示す。鉤床サイト2は、加藤幸弘ほか(本号報告)によるDive-360の記載に述べられているように、着底後しばらく航走して発見された鉤体である。潜水船は図1の下部から進入して鉤体を見出した後、19付近に着底して(観察者位置)観察、試料採取等の作業をした後、鉤体上を徐々にN23°Eに上昇して、M30にあるこのサイト最大のチムニー頂部の試料採取を試みて失敗した。このチムニーからの熱水湧出は頂部

においては既に停止、根元付近では今なお継続中である。このあと、鉤床サイト1を目指して更に北上した。

図1、2は、着底作業中、及びその前後の移動中に撮られた船外ステレオスチル写真約100×2枚の内、30枚を主材料として図化された。直接使用しなかった船外スチル写真、船内カメラにより撮られた写真、ビデオ映像も図化をする上で大いに参照した。図1、2において写真の枠をはみ出して図が描かれている部分は、そのようなデータに基づいたスケッチである。

図化作業は、まずビデオ映像上に現われるフラッシングをもとに各写真撮影の時刻を特定し、ビデオ記録上に表示される潜水船船首方向のデータを読み取って、各写真の方角を決めた。次に隣接する写真の重複部で、なるべく平坦な海底面上にある特徴点を標点として設定し、焼付写真の上にかけたビニールカバーの上に番号を与えて記入し、さらに同カバーの上に岩石の輪郭線、特徴ある生物、変質帯等を書き込んだ。各写真は海底面に対して異なった高度から撮影しているので、写されている範囲、スケールが異なる。また、Dive 360に際しては、船外カメラを鉛直真下から20°前方に振り出して設置していたので、平坦地であれば逆台形の範囲が長方形の画面に歪んで撮影されていることになる。写真を正確に平面、同一縮尺に修正して図化するには、デジタイザー等を用いる必要があるが、それでも、撮影時の海底面からの高さ、潜水船の傾き等のデータが無いので、正確を期することはできない。故に次のような簡便法で図化した。まず、基準となる写真のカバーに書き込んだ線画を、縦横の縮尺比率を揃えることのできる複写機で、横に対して1.06(≒1/cos 20°)倍縦方向に拡大する。この写真の標点に対して、隣接する写真の標点のなるべく多数が合致するようカバー線画を任意の倍率で複写し、若干の試行

錯誤をして、最適の倍率で複写した線画を得る。その際、縦は横の倍率×1.06 倍に複写することは当然である。この作業を繰り返して、「同縮尺」の線画を作り図化する訳だが、その際、なるべく多数の標点の合致を心掛けながら、相互の写真の方向は崩すことなく画をつなげる作業をしている。何故なら、航空写真のように起伏に対して十分に高い高度から撮られた写真と異なって、たかだか海底面より4 m位の至近距離から撮られた写真であるため、海底面の起伏が、垂直投影からのズレの原因となるからである。図の縮尺は、いくつかの写真に写し込まれた温度計のセンサー部の、5 cm間隔のカラーバーで決められた。今回の場合、原図は10分の1の縮尺で作られている。

このような図化においての問題点はいくつかあるが、特にチムニーのように垂直に延びたものの扱いに問題が生じている。高さが低いものでは、適当な側面からの写真や映像がなければ、チムニーと認定することは難しい。また今回、M30付近の最大のチムニーを十分に高い位置から撮った写真が無かったので、M30付近の歪みは充分除かれてはいない。これが、図1、2を暫定版とした理由で、今後注意深く写真、映像を比較検討して、この鉱体のマッピングを完了させたいと考えている。

以上の図化法は簡便法であるので、数多くの写真をつなげた場合、全体としての歪みは蓄積される等のデメリットもあるが、潜水船の窓から感覚的に捕えただけの場合と比較すると、より正確な位置関係の認識にもとづく議論を可能にする。特に裂か系などの線構造を議論するには有効である。

3. 鉱床サイト2の鉱体の産状

鉱体を通覧しての特徴は、第1にM30及びM/N28にある高さ数mのチムニーを中心にして、大小様々なチムニーが無数に存在することである。このような鉱体の産状は、かつて黒鉱鉱体で想像されたことはない。第2に図1の中央部、堆積物の被覆が薄くなったあたりから出現し、図1の上部から図2の下部にまで達する裂か系、及び図2の最上部に見られる裂か系など、鉱体の生成と深く関係すると思われる裂か系が、顕著に見られることである。この裂か系は黒鉱鉱体下部の網状鉱

脈の裂か系を想像させる。

図1の下半部に見られるように鉱体から約5 mのところまで、海底は泥質な堆積物で被覆されている。その中にも白っぽい変質物らしいパッチが散点的に見られるが、E4～F2に見られるような線上に分布するものもある。その泥質な海底の上に岩石のブロックが折り重なって出現する。写真1は、D/E5/6付近を船内カメラで撮影したものである。写真最下部の転石の線状白色部は、割れ目に沿った熱水変質であろう。周辺の岩石の表面に固着している生物はケヤリムシの類である。直径数mm、長さ2～3 cmの褐色の管状の外皮の先から、白い長さ1～2 cmの触手をケヤリのように出したり入れたりしている生物で、伊是名海穴の熱水湧出域を中心に分布する生物の中では、最も遠距離まで分布するもののひとつである。潜航中は、ケヤリムシが多く出て来ると熱水が近くにあると考えて間違いはなかった。

泥質な堆積物の被覆が薄い部分は岩盤が露出し、NS方向の割れ目が2～3列観察される(J12～J20, H13～I20, G12～G14)。岩盤の岩石は今回採取できなかったので正確なことは判らないが、着底点付近の観察では泥岩のように見える。割れ目はところどころで屈曲したり分岐したりしているが、写真2に見られるように、ほぼ垂直に切り込んでおり、開口巾はJ19～J20のように時には10cm近くに達する。深さも10～20cm位あり、割れ目の中には粗粒な堆積物が堆積している。破碎岩のようなものは見られない。熱水の噴出地点以外では、割れ目の中で水の動きなどは観察されなかった。またH/I21の中央部をほぼEWに走る裂かのように、粗粒な堆積物中に1～2 cmの段差を生じさせているだけのものもある。

最も外縁にある熱水の湧出口は、明らかに割れ目の延長上にある。写真2はI21南東角の試料360-1を得た28.1℃の湧出口を南側から見たもので、南北に走る割れ目の上に熱水の湧出口があり、黒色硫化鉱物類が、白い管状の外皮を作る *aluwinella* 類のゴカイによって被われているのがわかる。1988年の潜航調査で見出された熱水活動のあるチムニーは、すべて透明な熱水を噴出しており、この *aluwinella* のなかまによって被覆されているため白っぽく見える。写真3はI/J23/24、

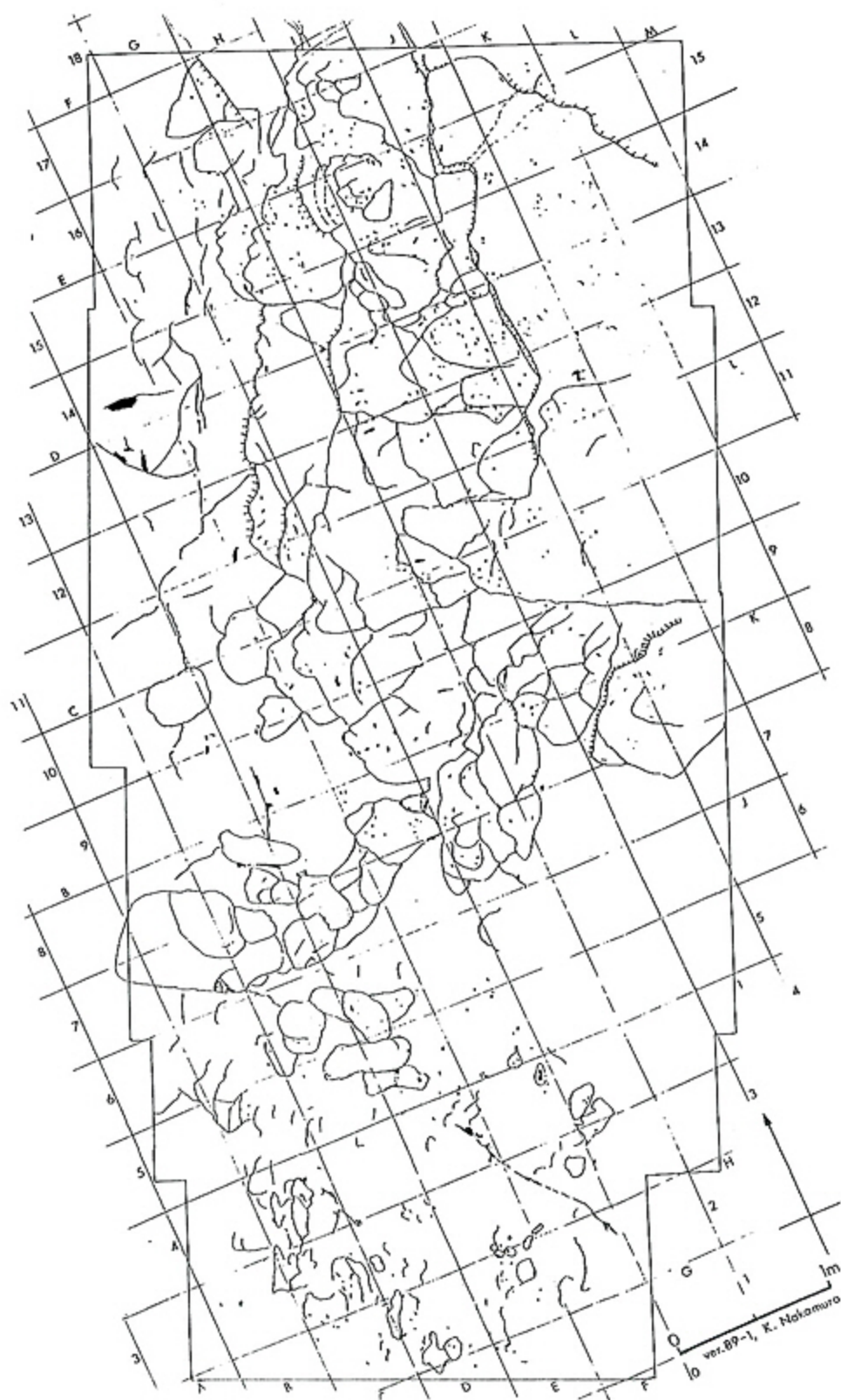


図1. 鉱床サイト2, 南側の平面図

Fig. 1 Plan view, south of ore body no. 2

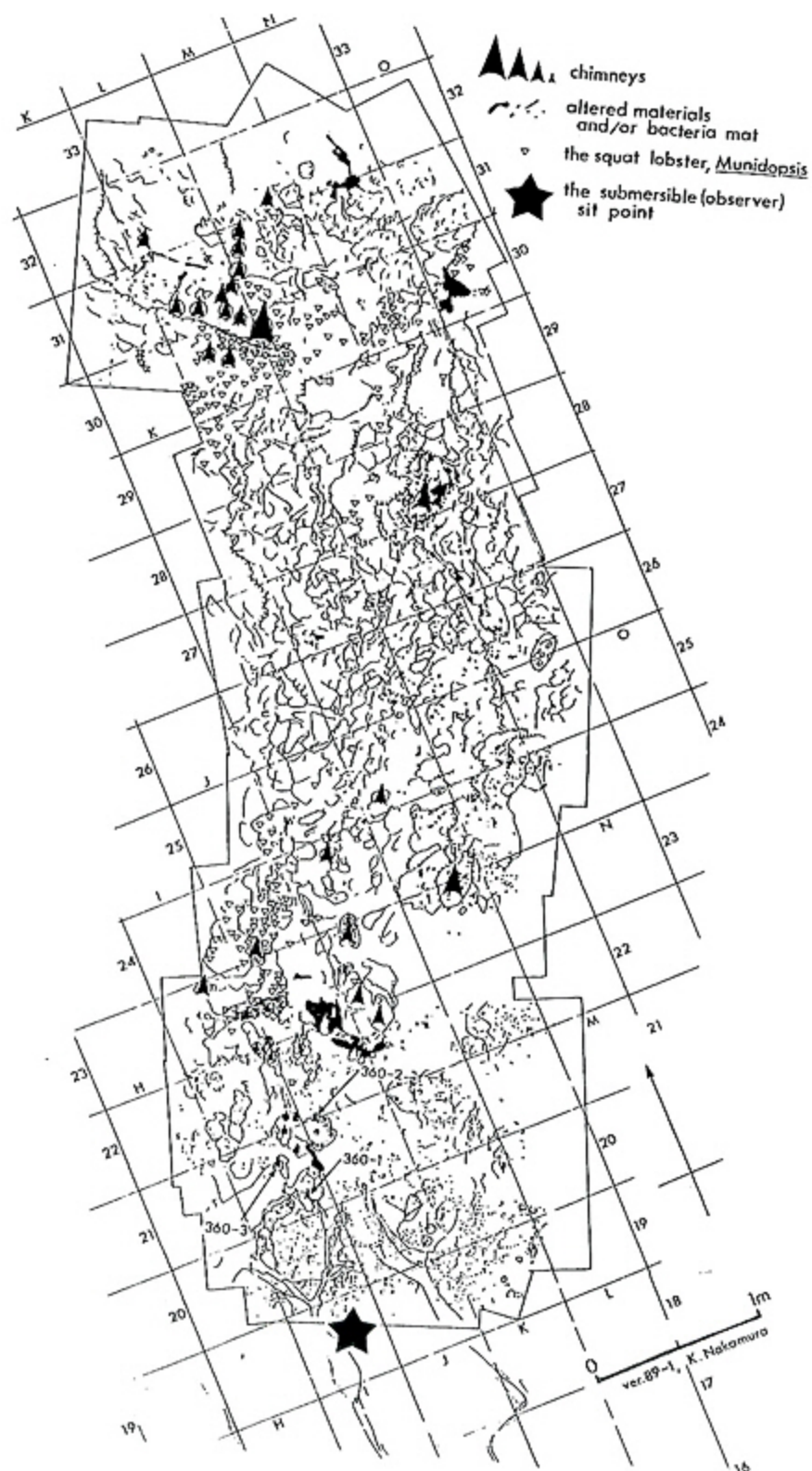


図2 鉱床サイト2の平面図, 大きな星印は潜水船の着底, 観察点

Fig. 2 Plan view of ore body no. 2, A large star indicates observation point.

4はJ/K 22/23付近の熱水噴出地点の情景であるが、全体が白い *alvinella* 類で被われるとともに、シンカイコシオリエビ（白い「カニ」）や赤いエビ（*Alovinicaris*?）、白いエビ（*Rimicaris* 類?）、褐色の触手を持つイソギンチャク類が群棲しているのが見える。海底面に白く、時に朱色に広がっているのは、バクテリアマットのようなものか石膏と考えられるが、試料採取をしていないので不明である。写真3に見られる手前に張り出したひさしのような形をしたものは、下側にもシンカイコシオリエビが入り込んでいることから、「ひさし」の下にも熱水が出ていると考えられる。形態的には Lonsdale and Becker (1985) がカリフォルニア湾の Guaymas Basin で記載している 'spreading cap' に似ている。写真3の左端に見え、温度計のケーブルに半分隠されている熱水活動を停止した小さなチムニーは、途中から小さな spreading cap を側面に張り出している。

写真5はI/J 21/22付近の写真で、小さなブロックの上に小チムニー及びマウンドが少なくとも5つ見られる。写真中央下部のボケは、写真2に示した湧出口からの熱水によるゆらぎである。その左上に岩石に沿うようにいる10cm大の魚はゲンゲの仲間である。写真中央右側のマッシュルーム状のチムニーの頂部を試料として採取した（360-2）。また、左端のチムニーの内、赤いエビのとまっている付近より上部を折り取ったのが試料360-3である。360-3のチムニーは当初マニピュレータで根元から取ることを試みたが折れず、やむを得ず上部のみ採取した。試料360-2を載せる立方体に近い岩石は周囲の堆積物の上に載っているように見える。形態から見ると転石の様だが、熱水が転石を貫いてチムニーを形成するとは考え難く、この岩石自身、熱水による沈澱物の可能性がある。写真4で見られる *alvinella* に被われた岩石も、根なしのように見えるが、明らかに上に成長しているチムニーと一体化している。鉱床サイト1の試料360-4のようにマウンド上にあった鉱石礫が、チムニーの中に取り込まれたような産状（浦辺本号報告参照）は、ほとんど礫でできたガレの上では起こり易いと考えられるが、写真4や5に見られるような堆積物の広がった部分で見られるものは、insitu の沈澱物のひとつの

形態と考えた方が、頻繁に見られることを説明し易いと思われる。写真6はJ/K 29/30付近の情景であるが、白いエビがまだ群がっているものの、熱水活動を停止したチムニーの脇にシンカイコシオリエビの群棲する「巨礫」が見られ、その手前にも巨礫が見られる。中村ほかの本号報告で述べているように、規模の大きな硫化物マウンドの裾野はこの種の巨礫の集積体となっている。礫は丸みを帯びていても、明らかに安定傾斜角以上の傾斜の斜面を形成して集積しており、スランプや熱水性爆発でできたとは考え難い。このような巨礫を、潜水船で部分的にも採取することは極めて困難でもあり、岩石の種類は特定し得ていない。チムニー生成過程の解明とともに、この種の産状をもつ巨礫の生成、集積のメカニズムの解明は、鉱体の成長を考える上で一つの鍵となるとと思われる。

硫化物マウンドは写真6のような情景で北に向かって高さを増し、K~O32で突然終了する。縁辺と最高部との高低差は約3mである。M30及びN/N28にあるチムニーは特に大きい。M30のチムニーは頂部の熱水活動はないものの、下部からは熱水を湧出し多くの生物が群棲しており、この地区の中心になるチムニーといってよいものである。このチムニーの北東側には特に大きなチムニーが多く、またK31~M30に鉱体中に深い割れ目が入っており、熱水を湧出している。

図化した範囲が航跡に沿っているので、マウンド自体も南北にかなり細長いような印象があるが、実際には少し南北に長い程度だと思われる。そおに対して裂か系は、図1の上部ではほぼ南北に並走していること、断片的ではあるが、鉱体の東西の映像には割れ目が見られないことから、鉱体にはほぼ南北方向にのびる裂か系の上に成長しているらしい。着底点付近では、裂か方向は様々であるが、全体的にはNSの裂か系に対してNW-SEとEWの小裂か系または裂かの屈曲が見られる。ところがこのNS系というのは、伊是名海穴北東斜面の一般走向とも、鉱床サイト1を載せている高まりの方向とも斜交する。また、沖縄トラフ全体の伸張の方向はNSないしNNW-SSEであるので、広域応力場で説明しようとする伸張帯かでは説明できない。むしろ、横すべりを伴うtransfer断層系と走向が一致する。今回図化した

範囲はたかだか16×7 m位であるので、裂か系の成因を応力場と結びつけるのにはまだ無理があるが、裂か系が屈曲するところがあること、長いNS系と短いNW-SE, EW系の裂か系の組み合わせは、横すべり断層系に伴う dilatational fault jag 上の熱水活動 (Sibson 1985, 1987) に見られる裂か系と調和的である。

4. チムニーの組織と鉱物組成

360-2: 水平に張り出した平坦な頂部と、ややくびれた脚部をもち、マッシュルーム型あるいはカリフラワー状形態を呈する(高さ約10cm, 平頂部径10cm, 脚部径5cm)。試料の外形と切断面の組織を写真7の左・右に示した。平頂部とそのリムは平滑な表面をもち比較的緻密である(写真7の②)のに対し、脚の内部は極めて空隙に富み海綿状をなす(写真7の①)。このチムニー各部の空隙率より判断して、活動末期には脚部に沿って上昇した熱水が、緻密な平頂部に行く手をさえぎられて側方に噴出していたものと思われる。海綿状部、緻密質部ともに閃亜鉛鉱 (Sphalerite), 方鉛鉱 (Galena), 黄銅鉱 (Chalcopyrite), 四面銅鉱 (Tetrahedrite) を主要構成鉱物とする。硫酸塩鉱物やシリカ鉱物は認められない。海綿状部では、微粒の硫化物結晶がモザイク状に噛み合いながら繊維状に連なり、繊維の間に多くの空間が残されている(顕微鏡写真8参照)のに対し、緻密質部では、硫化鉱物の集合組織は同様にモザイク状(あるいは放射状内部組織をもつ顆粒状)ながら、個々の結晶粒子は粗大化し空隙が殆どなくなっている(顕微鏡写真9参照)。これ等はそれぞれ、“急速成長相”と“熟成相”と考えられる。海綿状部の空隙やチムニーの外周には、橙赤色の砒素硫化物の沈着が認められる(写真7の③)。これは H_2S に富んだ還元熱水が、酸化的で低温の海水と混合する部位に生成されたもので、高温熱水の寄与の大きい時期には専らチムニーの外周部に、また熱水活動が衰退するにつれて次第にチムニー内の空隙へと、その生成の場が移動して行ったものと考えられる。

360-3: 若干の膨縮のある円筒形を呈し、ほぼ同心円状の内部構造を有している(高さ約60cm, 外径7~8cm, ただし採取されているのは頂部か

ら下方へ約15cmの部位までである)。写真10にチムニーの外形(矢印が成長方向)とサンプリングされた際の破断面を示した。また写真11には、チムニー頂部から約7cm下方の切断面を示した。外側は表層の一部を橙赤色の砒素硫化物で覆われた、厚さ約1cmの硬い非晶質シリカ層で構成され(写真10, 11の④)、内部に未固結泥状硫化物がゆるく充填されている(写真10, 11の①)。その中ほどに、チムニーの成長方向に上下に連続する径0.5cm~2cmのパイプ状空隙がある。写真10と写真11において、この空隙の大きさを比較すると、パイプはチムニー下部から頂部に向かい急激に細くなっていることが見てとれる。また空隙内面は赤褐色沈着物で覆われている。未固結泥状硫化物は空隙に富んでおり、主として閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 黄銅鉱, 四面銅鉱そして重晶石よりなる。この中の不規則なクラックに面して、輝安鉱 (stibnite) の針状結晶が成長している(顕微鏡写真12参照)。未固結泥状硫化物と珪質の外皮との間には、橙赤色の砒素硫化物が集中的に沈積している(写真11の③)。珪質外皮の外周部にも局部的に顕著な砒素硫化物が集積しているが、これは珪質外皮の破れ目付近に集中している様である。(写真11の矢印位置)。前述のパイプ状空隙に面しては、四面銅鉱等硫化鉱物の結晶粗大化が進行している(顕微鏡写真13参照)。組織・構造の観察結果を総合すると、このチムニーにおいては、閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 黄銅鉱, 四面銅鉱の晶出に始まり、輝安鉱そして砒素硫化物という順に晶出鉱物が変化した。そしてまた活動末期の熱水は、初期に形成された硫化物チムニーと珪質外皮との間を、主たる上昇通路としていたものと判断される。

360-2と360-3の2つのチムニーに見られる外形と内部構造の際立った相違は、いかなる生成過程の相違を反映したものであろうか。熱水が湧出しはじめてから停止するまでの期間には、晶出鉱物の種類や組織に影響を与える幾多の要因が変化する。湧出孔周辺に沈着物が集積して、チムニーが成長するにつれ、上昇する熱水と海水が混合する部位が上方に移動しチムニー内の温度が上昇すること、熱水の勢力が衰えてこの逆が起こること等は容易に想像出来る。溶解度の温度依存性の大きな鉱物の再溶解、再沈殿も起こるだろう。

いずれにせよ、チムニーは熱水活動の消長をオーバープリントの形で記録したものであって、残された鉱物種と組織からその生成史を完全に復元することは一般に困難かも知れない。一方、ライフタイムの短い小規模チムニーでは、その発達初期の段階が凍結されている可能性もある。海底面に生じた亀裂に沿って噴出し始めた熱水は、その流路の沈殿物による閉塞が進行するにつれ、流動抵抗が増大し次第に流量が減ずるであろう。流量の減少は、流動経路の壁岩との熱交換による温度低下を促進する。熱水が冷たい海底に噴出する時、温度が高く勢力も強い場合、熱水溶液自体はシリカに過飽和であるにもかかわらず、シリカがその場には沈澱せず、ほとんど硫化物と硬石膏のみからなるチムニーを形成する例が、東太平洋海膨など (Goldfarb et al. 1981など) に知られており、急冷に伴っておこる速度論的効果の為と説明されている。360-2 にシリカ質外皮が伴わないのは、高温熱水による硫化物チムニーの形成後、流路が急激に閉塞し活動を停止した為であろう。この試料には現在、硬石膏が含まれていないが、当初存在したものが熱水活動の衰退に伴って急速に再溶解した可能性もある。360-3 では比較的ゆるやかに活動を停止した為に、輝安鉱、砒素硫化物等の低温性硫化物を多量に含むとともに、明瞭なシリカ質外皮をもつに至ったのであろう。

(付 記)

360-2, 360-3 チムニーから数10cm離れた地点にある小規模な温湯湧出地点 (28.1°C) から採取された 360-1 は、この2つのチムニーとは異なり、円筒状の外形も同心円状の内部構造ももっていない。組織はきわめて多孔質で、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄銅鉱、四面銅鉱より構成されている。硫化物鉱物は互いに噛みあいつつ放射状あるいは樹枝状に成長しており、オープンスペース内での急速成長を物語っている。この試料は、熱水流路だったと思われる不規則に屈曲したパイプ状空隙 (写真14の矢印先端部) をもつことを併せて考慮すると、やはり熱水湧出孔で形成されたものと推定される。ライフタイムが短かすぎてチムニー状の形態をとるに至らなかったのか、もっと大規模なチムニーの破片なのか明確にし得ないが、海底の割れ目の直上に位置していることから、現在の位置

で生成された可能性が高い。この試料には、四面銅鉱は多いが橙赤色の砒素硫化物は認められなかった。

5. チムニー各部の化学組成

伊是名海穴の硫化物試料のバルク化学組成は、酸分解ののち ICP 発光分光分析法により決定された。鉱石品位分析を目的とした試料は数 100 グラム単位で、また局所的組成分析を目的とした試料は、組織の大きさにより数 100 ミリグラムから数グラム程度を粉碎均質化して、分析試料とした。粉末は、①王水分解、②硝酸分解、③沸酸-硝酸分解を組み合わせて溶液化され、シーケンシャルタイプ ICP (セイコー電子工業製 SPS-7000) により、重金属濃度が測定された。酸処理後の不溶解残渣として、バリタが残留することがあった。360-2, 360-3 の各部、及び 360-1 の平均的部分の化学分析結果を表 1 に示した。その他のサンプルの分析結果は浦辺、本号報告を参照されたい。

360-2 : 表 1 の分析試料番号は、写真 7 の位置番号に対応している。①はチムニーの中心を占める海綿状組織をもつ部分、②チムニー頭部の緻密質部、③はチムニーの外周部である。②は黄銅鉱に富みほとんど砒素硫化物を伴わないことから、活動末期の低温熱水の影響が最も小さい部分であり、③は最も砒素硫化物に富み、低温生成物の寄与が大きい部分と考えられる。①は熱水の主たる通路であった為に、活動末期の低温熱水の影響を若干受けた部分と考えられる。主成分元素との濃度相関から見て、微量成分の銀は主として四面銅鉱に、セレンは方鉛鉱に、カドミウムは閃亜鉛鉱に強く分配されているものと判断される。金の濃度は全般的に低い、チムニー外周部と、空隙に富む中軸部にやや濃集する点で砒素硫化物と挙動を共にしている。熱水の温度が低下し、銅、鉛、亜鉛の輸送効率が著しく減少した後も、金と砒素は硫化物錯体として運ばれ続けた結果と判断される。

360-3 : 表 1 の分析試料番号は、写真 11 の位置番号に対応している。①はチムニーの中部を充填する未固結泥状硫化物、②はその中で輝安鉱を多く含む部分、③は珪質外皮のすぐ内側にあって

表1 硫化物チムニー 360-2, 360-3 内各部の重金属元素分布および360-1の平均の重金属元素濃度

Table. 1 Distribution of heavy metals in the sulfide chimneys 360-2, 360-3 and the average concentration of heavy metals in 360-1

	360-2			360-3			360-1
	1	2	3	1	2	3	4
Cu (%)	3.33	10.72	11.97	11.46	8.31	0.51	n.d
Pb	21.96	18.41	11.20	14.45	10.97	0.68	n.d
Zn	42.83	36.87	23.44	31.89	24.09	1.52	n.d
As	0.91	1.09	5.26	0.46	1.17	3.13	n.d
Sb	0.28	0.69	2.12	1.16	2.54	2.28	n.d
Fe	2.55	6.44	6.75	9.15	4.80	0.32	n.d
Mn	0.09	0.13	0.18	0.16	0.14	0.02	0.001
Cd	0.13	0.11	0.06	0.09	0.06	0.004	0.000
Se	0.97	0.72	0.47	0.60	0.44	0.026	n.d
Au (ppm)	1.5	<0.3	2.3	<0.3	<0.3	7.6	6.6
Ag	1750	1930	3570	640	1560	1100	68
Bi	33	14	18	40	5	40	26
Hg	45	15	32	114	230	213	n.d
Tl	90	19	113	104	340	957	n.d

n.d = not determined

砒素硫化物と重晶石に富む部分、④は珪質外皮に対応している。このチムニーは、360-2と比較するとより複雑な発達史をもっている事について既に言及した通りである。ことに内側に詰まっている未固結泥状硫化物の部分は、初期生成の硫化物と末期生成の硫化物が細かく入り組んでおり、完全な分離は困難である。360-2と比較すると、硫化物濃集部自体の重金属濃度が2~3割低い。これは硫酸塩鉱物およびシリカが共存している為である。銀、セレン、カドミウム等微量成分の挙動については、360-2と同様に解釈できる。③で砒素とベースメタルの量比が360-2に比して圧倒的に大きいのは、珪質の外皮のすぐ内側で砒素硫化物濃集部が比較的厚く発達している為、より“分解能”の高いサンプリングが可能だったことによる。黄銅鉱等銅鉱物に富み高温期沈澱物の寄与の大きなチムニー中心部①、②において金の含有率が低く、砒素硫化物やシリカに富むチムニー外縁部に、金が濃集する傾向は360-2と共通するが、濃度のコントラストは、それより数倍高い。また、全体的傾向として、360-3チムニーでは、浅熱水性金鉱床に特徴的な金、水銀、砒素、アンチモン、タリウム等の全てに富んでおり、熱水活動衰退期のオーバープリントが強く表われている。

銅と鉄の硫化物に富んだ高温熱水活動時(>300℃)の堆積物を通る熱水が、次第にその温度を減じる過程(<250℃)において、金が初期に生成された硫化物から再抽出され、堆積物表面にシリカ、重晶石、閃亜鉛鉱等とともに再沈澱したと考えられる例は、東太平洋のGuaymas Basin

(Hannington et al. 1986)からも報告されている。360-2, 360-3の観察結果は、この現象と対比できるかも知れない。化学分析値の濃度相関からGuaymas Basinでは、金はヨルダン鉱(Jordanite $Pb_{14}As_6S_{23}$)の様な硫塩鉱物の結晶格子にとり込まれていると解釈されている。一方、今回検討された伊是名海穴産チムニーの金は、オーピメント、鶏冠石等の砒素硫化物と密接な随伴関係をもっている。金の存在形態は未確認ではあるが、濃集機構として砒素硫化物上への吸着が重要な役割を果たした可能性がある。

(付 記)

360-1試料には、顕微鏡的に多量の四面銅鉱の含有が確認されていること、肉眼的に砒素硫化物を認めないことから、約2%程度含まれるAsは、四面銅鉱に含まれていると考えられる。赤橙色砒素硫化物を欠いていることと、金の含有量が少ないことは、この試料においてもよく対応している。

謝 辞

海底生物の同定については、東京大学海洋研究所の太田秀教授に御協力頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- Goldfarb, M. S., Converse, D. R., Holland, H. D., and Edmond, J. M. 1981, The genesis of hot spring deposits on the East Pacific Rise 21°N. *Econ. Geol. Mon.* 5, p. 184-197.
- Hannington, M. D., Peter, J. M., and Scott, S. D. 1986, Gold in sea-floor polymetallic sulfide deposits. *Econ. Geol.* vol. 81, p. 1867-1883.
- Lonsdale, P. and Becker, K. 1985, Hydrothermal plumes, hot spring and conductive heat flow in the Southern Trough of Guaymas Basin. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 73, p. 211-225.
- Sibson, R. H. 1985, Stopping of earthquake ruptures at dilational fault jogs. *Nature*, vol. 316, p. 248-251.
- Sibson, R. H. 1987, Earthquake rupturing as a mineralizing agent in hydrothermal systems. *Geology*, vol. 15, p. 701-704.

(原稿受理 1989年6月20日)



写真1 図1, D/E 5 / 6 付近の海底
photo. 1 View of D/E 5/6 in Fig.1.

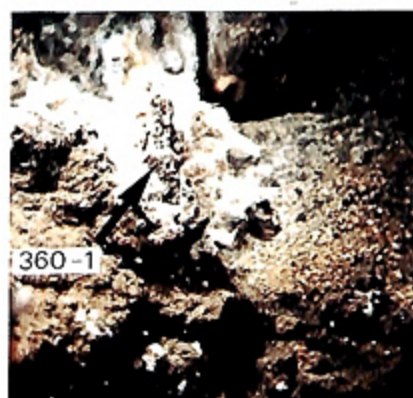


写真2 図2, I 21南東隅付近の海底(観察点★より)
photo. 2 View of the southeastern corner of
I 21 in Fig.2, from the observation
point ★.



写真3 図2, I/J 23/24 付近の海底(観察
点★より)
photo. 3 View of I/J 23/24 in Fig. 2.
from the observation point
★.



写真4 図2, J/K 22/23付近の海底(観察
点★より)
photo. 4 View of J/K 22/23 in Fig.2.
from the observation point
★.

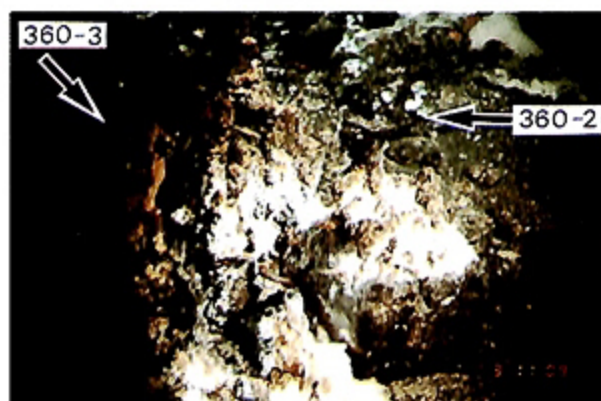


写真5 図2, I/J 21/22 付近の海底(試料
360-2, 3のチムニー, 観察点
★より)

photo. 5 View of I/J 21/22 in Fig.2.
from the observation point
★including chimney samples
360-2 and 3.

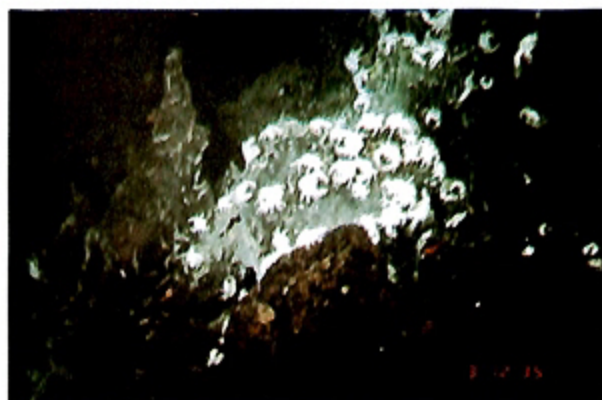


写真6 図2, J/K 29/30 付近の海底

photo. 6 View of J/K 29/30 in Fig.2.

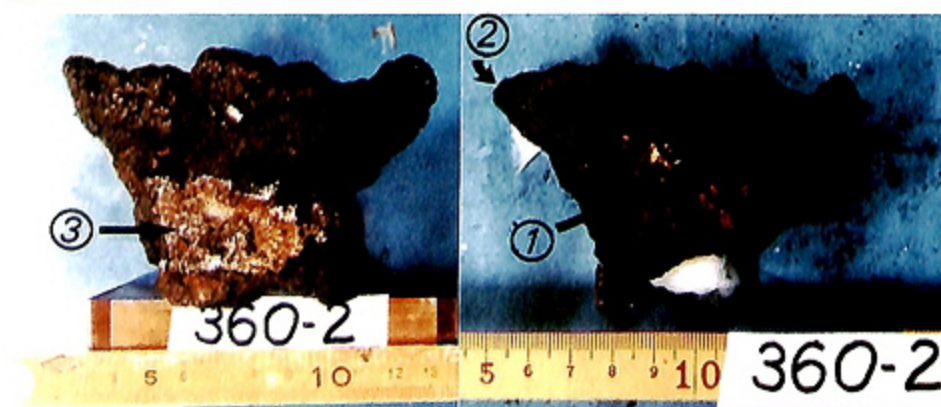


写真7

マッシュルーム型チム
ニー 360-2 の形態と
内部組織 (各部分の番
号は表1の化学分析値
番号に対応する。)

photo. 7

Morphology and in-
ternal texture of
mushroom-like chi-
mney 360-2.

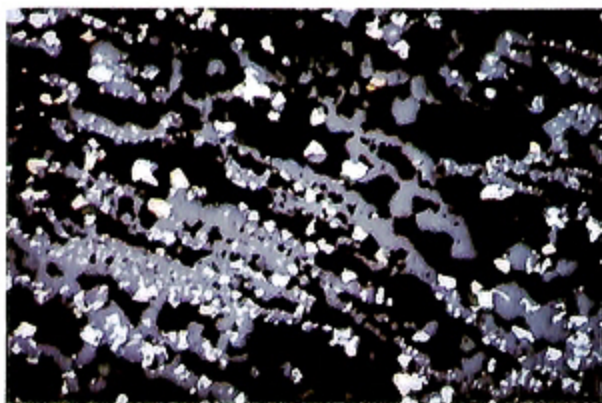


写真8 360-2 チムニー脚部の海綿状組織
の顕微鏡写真 (Sp=Sphalerite, G
=Galena, Cp=chalcopryrite, T=
Tetrahedrite, 画面の左右長は約
2mmに対応)

photo. 8 Photomicrograph of porous
part of the chimney 360-2.

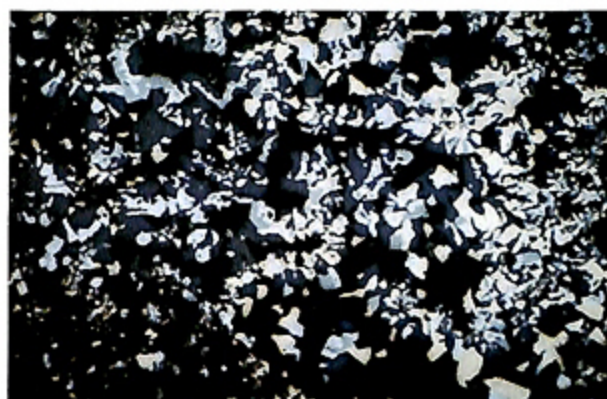


写真9 360-2 チムニー頂部の緻密質部の
顕微鏡写真(画面の左右長は約2mm
に対応)

photo.9 Photomicrograph of the co-
mpact part of the chimney
360-2.

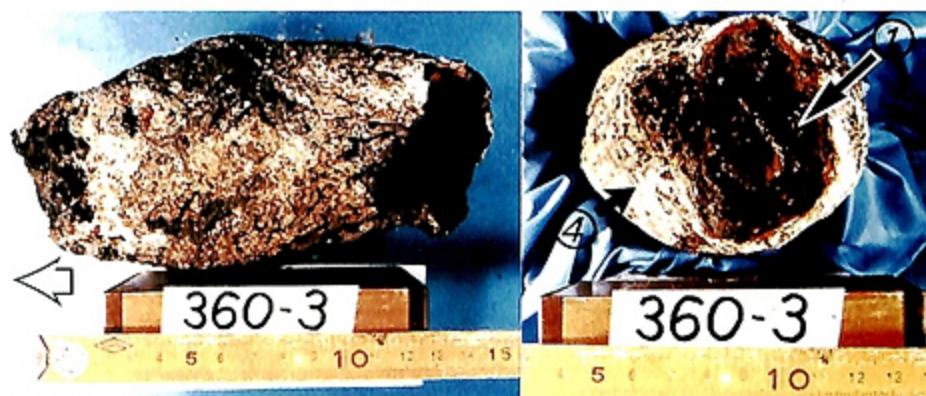


写真10
チムニー 360-3 の形
態と内部組織(各部分
の番号は表1の化学分
析値番号に対応する。)
photo.10
Morphology and
internal texture of
the chimney 360-3.

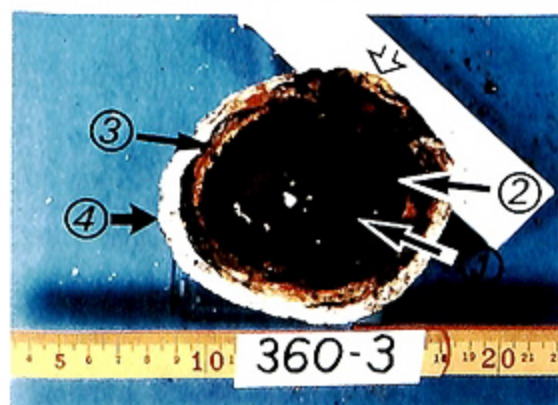


写真11 チムニー 360-3 の頂部から7cm下
の水平切断面(番号は分析値番号に
対応)

photo.11 A horizontal crosscut at 7
cm distance from the top of
chimney 360-3.

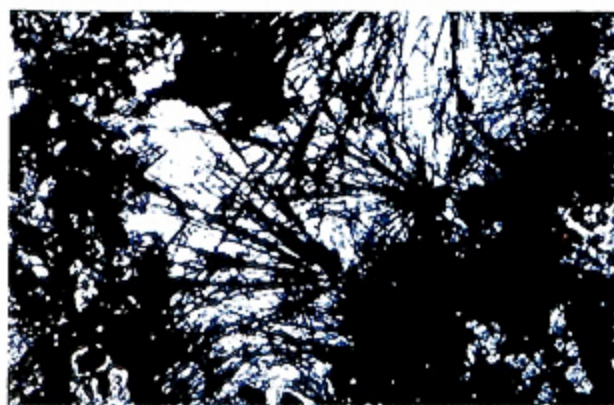


写真12 未固結泥状硫化物の間隙に成長する
輝安鉱の針状結晶(透過顕微鏡写真、
左右長0.5mm)

photo.12 Acicular crystals of stibnite
growing in interstitial space
of unconsolidated muddy
sulfides(Photomicrograph by
transmitted light).

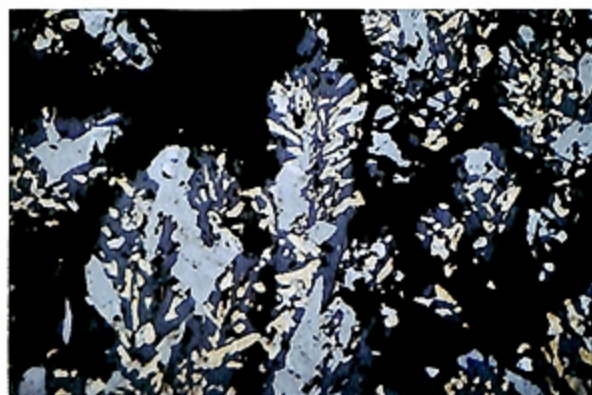


写真13 未固結泥状硫化物中のパイプ状空隙
に向かって成長する粗粒硫化鉱物
(写真の左右長約2mm)

photo.13 Photomicrograph of coarse
grained sulfides growing
toward inside of tubular
vesicle in unconsolidated
muddy sulfides.

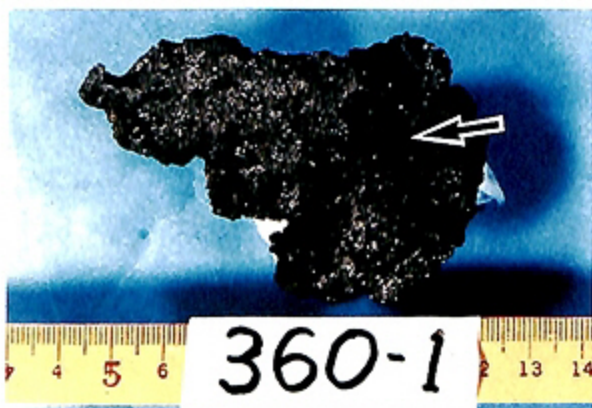


写真14 360-1の多孔質硫化物と不規則管
状空隙

photo.14 Porous aggregate of sulfi-
des of 360-1 and irregula-
rly elongated vesicles.