

伊是名海穴（鉱床サイト1）の鉱床の鉱物学的特徴 — 黒鉱との比較において —

浦辺徹郎*1

伊是名海穴、鉱床サイト1より「しんかい2000」で得られた7個の鉱石の鉱物学的特徴と化学組成について述べる。

試料はすべて、二次富化を受けていない新鮮な塊状硫化物である。鉱石は礫または礫岩の組織を示す。礫や礫中礫の緻密な硫化物は閃亜鉛鉱、四面銅鉱、方鉛鉱、黄銅鉱と少量の黄鉄鉱よりなり、重晶石をほとんど含まない。礫岩の基質部は閃亜鉛鉱と重晶石を主体とする。これらの事実から鉱石はまず、海水と隔離された堆積物中で緻密質の鉱石が生成したのち、水蒸気爆発により鉱石が噴き上げられて小山を作った。引き続き熱水の上昇によって鉱石礫が固着させられたが、ふたたび崩壊して現在のガレのマウンドとなったと推定される。

鉱石は鉛、亜鉛の高品位鉱床で、金、銀は各々、1~12ppm、500~1000ppmである。銅は1~13%と極めてばらつきが大きい。

Mineralogical Characteristics of the Hydrothermal Ore Body at Izena Hole No.1 in Comparison with Kuroko Deposits

Tetsuro URABE*2

The mineralogy and chemistry of seven ore samples taken by the submersible "SHINKAI 2000" are described.

All of the samples are fresh massive sulfides. Many of them are gravels or show conglomeratic textures. Massive ore is composed of sphalerite, tetrahedrite, galena, chalcopyrite and minor amount of pyrite. The matrix of the ore conglomerate is mainly composed of sphalerite and barite. These facts indicate that the ore deposited beneath the seafloor originally and reworked by the explosive event to form a mound of ore gravels. Subsequent succession of hydrothermal activity cemented these gravels by sulfides.

The deposits are rich in lead and zinc, with gold and silver up to 12 ppm and 1000 ppm, respectively.

*1 工業技術院 地質調査所

*2 Geological Survey of Japan.

1. はじめに

ゾネ号船上よりドレッジ、グラブ等で採取された鉱石の内約8割は、重晶石(barite)・非晶質シリカ(amorphous silica)よりなる多孔質沈澱物であった。塊状硫化物鉱石は1割5分程度に過ぎず、しかも海底風化を受けマンガンの被殻を持つものが多い。残りがいわゆる珪鉱で、酸性火山岩中に網状脈をなして硫化物鉱物が来るものと、珪質沈澱物中に硫化物鉱物が鉱染状に見られるものとに分けられる(中村ほか, 1988)。

これに対し「しんかい2000」(加藤ほか, 本号報告参照)により採取された鉱石は、すべて二次富化を受けていない新鮮な塊状硫化物(massive sulfide)であった。両者の明瞭な対照は恐らく採取された鉱体ないしチムニーの違いに由来するものと思われる。ここでは「しんかい2000」第359, 360潜航で得られた試料の内、鉱床サイト1の西側のマウンドより得られたチムニー試料及び鉱石礫について、黒鉱石と比較しつつ記載したい。

2. 鉱石の構造・組織

2.1 359-5

これは鉱床サイト1の西側マウンド上に成長している高さ約30cmのチムニー(加藤ほか本号報告, 写真1)の頂上より得られた試料である(写真1)。閃亜鉛鉱、硬石膏および石膏のみから構成されており、不規則な形状の空隙に富む。閃亜鉛鉱は硬石膏と密雑混成しており、その表面は硬石膏の板状結晶(長辺最大3mm)で覆われている。部分的に繊維状の石膏結晶(1~4mm)がこれ等を覆う。この試料には二次的な溶蝕ピットも多数存在し、ピット内には硬石膏、石膏の平滑な溶蝕面上に、多孔質な閃亜鉛鉱集合体が突出した組織が認められる。これ等の組織は、チムニー先端部で時の経過につれて、閃亜鉛鉱+硬石膏の沈澱、次いで石膏の沈澱、更に硫酸カルシウムの選択的溶解が起こったことを示す。この変化傾向は熱水温度の漸進的低下により生じたものであろう。

2.2 360-4

これは約12cmの厚さを持った堅硬な塊状硫化物で、やや空隙に富んでいる。その空隙の一部を無水石膏(anhydrite)が埋めているが、これは礫

の表面にも見られ、後の熱水からの沈澱物と考えた方が良さそうである。この鉱石礫は現在活動的なチムニー(前記359-5を得たチムニー)の足元から得られたもので、上下関係は不明である(写真2)。しかしシリカの付着の見られる面に平行な縞状構造が見られることから、その面がチムニー(?)の外側を向いていた可能性が高い。

というのもシリカの付着している面から4mm内側の部分の顕微鏡写真(写真3)においては、硫化物鉱物が樹枝状の集合体を作り、それぞれの枝の断面(これが写真で見えている)においては放射状の結晶成長が見られる。これより更に表面に近い所では、硫化物は更に細粒の放射状結晶集合体のボールを作っているのが観察された。反対に表面より50mm内側に入った所(写真4)の組織は、放射状組織は残しつつも“枝”の間の空隙は埋められ、再結晶しているのが観察される。これは外側(シリカのある面)で鉱液の急冷により沈澱した硫化物鉱物が、引き続き熱水の通過により次第に再結晶化して行く様子を見事に表わしている。

このような樹枝状組織(dendritic texture)は急冷による急速な結晶の成長を示唆するが、黒鉱石中にはきわめてまれなものといえる。他方、黒鉱石を特徴づける二つの組織;コロフォーム組織と黄銅鉱病変(chalcopyrite disease)は、伊是名鉱石においてはきわめてまれである。黄銅鉱、方鉛鉱(galena)、閃亜鉛鉱(sphalerite)、四面銅鉱(tetrahedrite)といった構成鉱物はほぼ共通であるにもかかわらず、この様な組織の違いが見られる理由は次の様に考えられる。伊是名の鉱石は空隙も多く急速成長を示す組織を持つことから、チムニーとして生成したものらしく、反対に黒鉱の鉱石は一層ずつ上向きに(コロフォームの凸の方向より類推できる)積み重なって行ったものらしい。

もう一つの大きな違いは、360-4の試料中に、黒鉱で最も普遍的に含まれる黄鉄鉱(pyrite)と重晶石がほとんど見られない点である。これが上記の沈澱のメカニズムの違いによるものか、鉱液の組成の違いによるものかは分らないが、急冷されたと考えられる部分にも上記2鉱物が見られないことにより、後者の可能性が高い。

2.3 360-5

写真5に示した様にこの試料は明瞭な角礫化組織を示す。この試料そのものも鉱石角礫なので礫中礫の組織ということになる。写真で色がやや薄い部分は全面的に閃亜鉛鉱よりなり、所々方鉛鉱が他形で包有されているものである。この中にも360-4に見られた樹枝状組織が一部認められる。この鉱石は黄鉄鉱を少量含むが、その産状は様々で、フランボイド状(framboidal)から再結晶した自形結晶まで存在する。これらの礫状部の長径は2~3mmから50mm程度の広がりを持つ。

礫を埋めている色の黒い部分は重晶石に富む多孔質のマトリックスで、この鉱床は初期に重晶石を含まない鉱化期、晩期に重晶石・閃亜鉛鉱を主とする鉱化期を持ったことが推定される。黒鉱鉱床においてもこの様な角礫化組織は極めて一般的で、くわしく見れば90%以上の塊状硫化物鉱石が何らかの再堆積構造を持つと考えられる。今までそれは斜面に沈澱した鉱石が成長するにつれ不安定となり、斜面をすべり落ちてスランプベッドを作ったものと解釈されて来た。伊是名鉱石の場合、チムニーとして形成されたとする立場に立つならば、この鉱石は一たん崩れたチムニーの破片を埋めて、重晶石に富む鉱石が沈澱したと解釈できる。しかしこの考えはどうもとりにくい。その理由は次の試料のところで述べる。

2.4 360-6

この鉱石(写真7, 8)は、礫中礫の構造を明瞭に示す点で画期的なものといえる。2つの亜角礫は空隙の少ない緻密な塊状硫化物鉱石で、360-5の礫と共通した特長を持っている。閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱の順に鉱物の量比が減少し、重晶石をほとんど含まない。結晶度も高く、顕微鏡的には一般の黒鉱鉱石と区別がつかない程度である。この様な緻密な硫化物鉱石が海底熱水鉱床から得られた例は無く、沖繩トラフ特有のメカニズムが考えられなければならないであろう。

これらの礫を埋めているのは、360-5同様重晶石、閃亜鉛鉱に富む多孔質の鉱石で、特徴的に自然イオンを含む。この多孔質鉱石は以前アルビン号により、マリアナトラフ18°Nの中軸部より採取された重晶石・硫化物チムニーにきわめて類

似しており、活動的なブラックスモーカーからの直接生成物であると推定される。つまり先の緻密質黒鉱は一たんどこかで生成され、それが何らかの作用で海底面上に噴き上げられ、そこにブラックスモーカーの活動が起こってセメントしたというプロセスが考えられる。更にそれがこわされて現在見られる様な鉱石礫の山を作ったらしい。

ではどこでこの緻密質な鉱石が作られたのか。恐らくそれは堆積物に覆われた海底面(sediment-water interface)より下と考えられる。この様な場では鉱液はゆるやかに冷却され、結晶は成長し空隙も少なくなるであろう。また海水中の硫酸イオンの寄与が少なくなることより、重晶石が産しないことも説明がつく。上の堆積物のブランケットに相当する礫が得られていないので、この説の妥当性は不明であるが、359潜航で得られたドロマイト球顆を含む粘土岩が、それに当るのかも知れない。

2.5 360-7

これは360-6で見られた、緻密質塊状硫化物鉱石と同類である。閃亜鉛鉱のモードが高く、部分的には90%に達する。その他の鉱物学的特徴は360-6の礫と同様である。この鉱石礫は多孔質鉱石によりセメントされなかったらしい。酸化も全く認められず、閃亜鉛鉱の結晶度も今回得られた鉱石中最も良く、時に数mmのサイズに達する(写真6)。

2.6 360-8

これは360-5試料に類似しており、一部海底風化を受けて粉状の見掛けを呈する部分がある。

2.7 359-6

これは360-6試料に類似しており、礫状の構造を有する。径5cmに達する緻密な塊状硫化物角礫一径数mm~1cmで、樹枝状成長組織をもった閃亜鉛鉱角礫の間隙を、微粒の閃亜鉛鉱、重晶石集合体が充填している。マトリックス中の微細な割れ目は、重晶石あるいは硫黄で充填されている。

3. 鉱石の化学組成

表1に上記の鉱石の分析値が示してある(分析

表1 「しんかい2000」第360潜航により得られた鉱床サイト1の鉱石の分析値

Table 1 Analytical results of ores from the ore body no. 1, taken during the "Shinkai 2000" Dive 360.

	360-4	360-5	360-7	360-8
Au ppm	12.8	1.51	6.30	5.90
Ag ppm	967	680	491	676
Pb %	16.05	11.23	18.75	21.29
Fe %	2.98	1.40	3.41	5.37
Cu %	13.33	4.57	0.895	8.14
Zn %	29.95	19.50	50.20	28.45
Mn %	0.12	0.062	0.097	0.09
As %	1.69	0.80	0.18	0.75
Sb %	4.02	1.016	0.11	0.81
Hg %	0.012	0.01	--	0.006
Tl ppm	4.6	7.8	--	--
Te %	0.014	0.009	0.023	0.014
Se %	0.37	0.29	0.76	0.50

Analyst: M. Aoki & M. Sakagawa, Geol. Surv. Japan, by ICP, Nov. 25, 1988

- 360-4 Solid, compact massive sulfide ore which consists of sphalerite, tetrahedrite, chalcopyrite and galena, in order of abundances. Pyrite is very rare.
- 360-5 Solid, compact massive sulfide ore rich in sphalerite and subordinate amounts of galena, chalcopyrite, pyrite and tetrahedrite.
- 360-7 Solid sphalerite ore with galena, chalcopyrite, tetrahedrite and framboidal pyrite along grain boundaries of the host sphalerite.
- 360-8 Solid, compact massive sulfide ore which consists of sphalerite, galena, tetrahedrite, chalcopyrite and framboidal pyrite.

者：青木正博，酒川真紀子，分析方法は青木・中村本号報告参照）。これから見ても分かるように、「しんかい2000」で得られた試料は，金・銀含有量がそれぞれ1～12ppm，500～1000ppmの範囲に入っている。ゾンネ号で得られた海底風化を受けた鉱石の最高金品位が14.4ppm，銀が1.09%であったこと（中村ほか，1988）と比べると，金品位は同一レンジに入るものの，銀品位が格段に低いことが分かる。銀は二次富化を受けていないためにこの様な値をとるのであろう。なお銀鉱物は四面銅鉱と考えられる。

360-7の試料の亜鉛の品位が50%を超えるのも驚くべきである。閃亜鉛鉱は2～3%の鉄を含むので，亜鉛は約70%含まれているにすぎない。この様な高品位の鉛・亜鉛鉱石は陸上においてもきわめてまれである。なお念のために表1の値は数100グラムの鉱石を粉末にして得られたもので，決して高品位の小片の分析値ではないことを述べておきたい。

銅の品位は約1%から13%まで広くばらつく。しかし他の海底熱水鉱床のそれと比べると明らかに低く，伊是名鉱床が全体として鉛・亜鉛鉱床であることに異存はないであろう。伊是名では黒鉱床の黄鉄（黄鉄鉱・黄銅鉱よりなる塊状硫化物

鉱石）も見られない。

4. 鉱床モデル

以上の記載より伊是名鉱床は大きく2期に分かれて生成したと推定される。まず堆積物中で緻密質の鉱石が生成した。次いで水蒸気爆発等のexplosiveな活動が起こり，鉱石が噴き上げられ小山を作った。その水蒸気爆発の通り道は弱線として残り，引き続き熱水の上昇が見られた。この第2期の熱水から沈澱した重晶石に富む鉱石により，第1期の鉱石はセメントされた。このセメントも再びくずれ，現在は鉱石礫の小山の頂上で末期の熱水噴出（クリヤースモーカー）が見られる。

参考文献

- 中村光一・浦辺徹郎・丸茂克美・青木正博・金沢康夫・酒井均・P.ハルバック，1988，沖縄トラフ，伊是名海穴で発見された現世の“黒鉱”について，三鉱学会（東京）講演要旨集127.

（原稿受理 1989年6月12日）

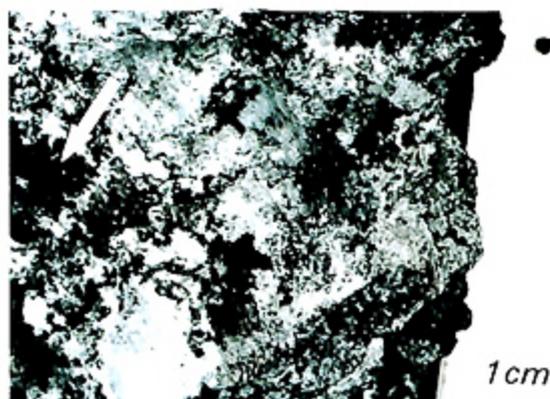


写真1 360-5 試料の破断面。黒色部は閃亜鉛鉱、白色部は硬石膏と石膏。
矢印の先端部は溶蝕ビット。

photo. 1 Broken surface of Sample 360-5.

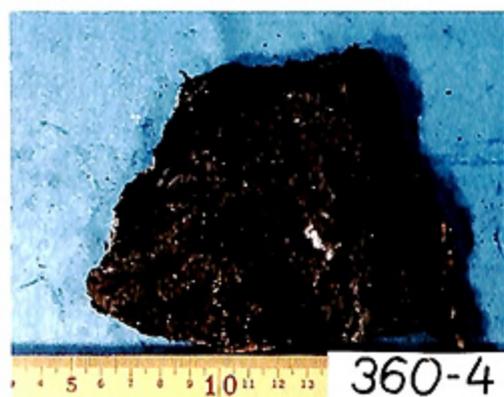


写真2 360-4 試料の切断面。向かって右の面にシリカが付着している。層状構造が見られ、左方に向かって結晶粒度、空隙の大きさともに大きくなる。中央の白い点は無水石膏。

photo. 2 Cross-cut surface of Sample 360-4.

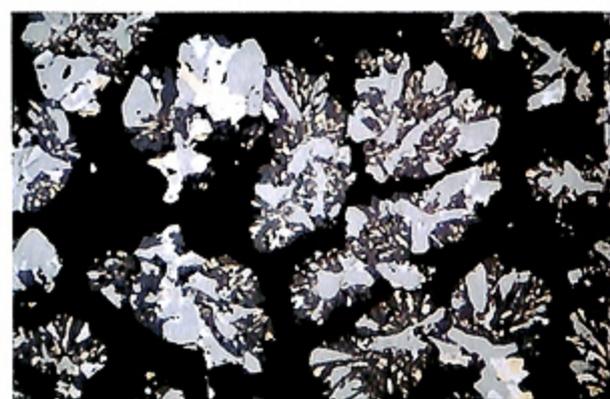


写真3 360-4 試料の反射顕微鏡写真。表面から4mm内側。写真の横幅が0.5mm。黄色が黄銅鉱、白が方鉛鉱、薄い青灰色が四面銅鉱、灰色が閃亜鉛鉱。粒間の黒い部分は空隙。

photo. 3 Reflected light view of Sample 360-4. 4mm from the surface. Width of the view is 0.5mm.



写真4 同上。表面から50mm内側。鉱物組合わせは同一。この写真に空隙があまり写っていない。結晶のサイズの違いに注目。

photo. 4 Reflected light view of Sample 360-4. 50mm from the surface.

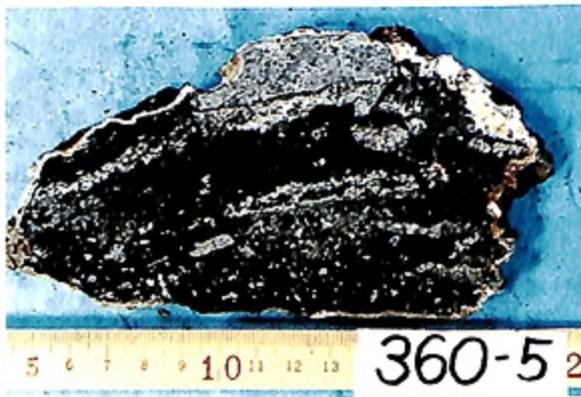


写真5 360-5 試料の切断面。表面の部分に薄く酸化が見られる。角礫構造が明らかである。

photo. 5 Cross-cut surface of Sample 360-5.



写真6 360-7 試料の切断面。色の薄い所はほとんど純粋な閃亜鉛鉱。黄鉄鉱、重晶石など利用価値の低い鉱物をほとんど含まない高品位鉱である。

photo. 6 Cross-cut surface of Sample 360-7.



写真7 360-6 試料。礫岩であることがよくわかる。

photo. 7 Sample 360-6.



写真8 360-6 試料の切断面。二つの重角礫をなす緻密質「黒鉱」が、重晶石に富む鉱石によりセメントされている。後者の中の黄色い点は自然イオウ。

photo. 8 Cross-cut surface of Sample 360-6.