

小笠原水曜海山カルデラ内の銅に富む 熱水性チムニー鉱石

水田 敏夫*¹ 小林 正彦*¹ 橋本 惇*² 藤岡換太郎*²

島弧の火山フロント上の海底火山におけるチムニー熱水鉱床が伊豆小笠原弧の水曜海山のカルデラ内で発見されている。採集された1個の黄銅鉱に富むチムニー鉱石の鉱物組合せ及び鉱石組織を明らかにした。

塊状硫化物鉱石は塊状で中心部に1箇所熱水流路と思われる穴が確認できる。鉱石の周縁部は厚さ2~5mm程度で酸化し黒褐色を呈する硬石膏で覆われており、コロフォーム状組織の黄鉄鉱及び黄銅鉱さらに少量の閃亜鉛鉱からなる。鉱石の大部分を占める中央部は細粒状黄鉄鉱と黄銅鉱からなる。小さな熱水流路であったと考えられる硬石膏細脈部の周縁部は自形の黄鉄鉱が濃集している。さらに、最内殻部は径1cmにも達する巨晶自形黄鉄鉱が、中央の空隙部に向かってびっしりと成長している。水曜海山のチムニーの鉱石組織は、鉱石の周縁部のZoneから中央部のZoneに進むにしたがって生成温度が上昇し、巨晶が成長したと考えられる。

同鉱石中のAu, Ag, As, Sb, Ni, Co等の微量元素含有量の特徴を検討した。本研究で分析に供した鉱石に関しては、そのAu含有量は0.2~2.7ppmで、それほど高品位の鉱石ではない。As, Cd及びSb, Asは、沖縄トラフの伊是名や黒鉱鉱床より高く、EPRの鉱石、別子型鉱床の鉱石より低い。Ni及びCoは、伊是名、黒鉱鉱床より低く、EPRの鉱石、別子型鉱床の鉱石より高い値をとる。それらの微量元素の値は、流紋岩質火山岩類や厚い堆積岩類を胚胎母岩とする黒鉱鉱床及び伊是名熱水鉱床及び黒鉱鉱床の微量成分の含有量と、玄武岩類を胚胎母岩とする中央海嶺の熱水鉱床、及び別子型鉱床の含有量との、中間的な値をとる。高輝石安山岩、デーサイト岩類からなる水曜海山の山体内部を小さなサイクルの熱水循環系が関連していると考えられる。

キーワード：水曜海山、硫化物チムニー、鉱物組合せ、鉱物組織、微量元素含有量、金銀比

* 1 秋田大学鉱山学部応用地球科学教室

* 2 海洋科学技術センター深海研究部

* 3 Institute of Applied Earth Sciences, Mining College, Akita University

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

A Copper-rich Chimney Ore from Hydrothermal Mound in the Cauldron of Suiyo Seamount of Izu-Ogasawara Arc

Toshio MIZUTA*³ Masahiko KOBAYASHI*³
Jun HASHIMOTO*⁴ Kantaro FUJIOKA*⁴

The active hydrothermal field with the occurrences of sulfide mineralization has been discovered by the JAMSTEC "Sinkai 2000" in the cauldron at the top of Suiyo Seamount in Izu-Ogasawara (Bonin) Arc. The Suiyo Seamount is one of the volcanologically active Seamount, Ogasawara Sitiyo Islands. Sea-depth of the cauldron floor is 1,370m. The sulfides chimneys are arranging on a lenticular-shaped and NS-trending hydrothermal mound and are widely distributing from the central part to the flank wall within the cauldron. Hydrothermally active area is around 300 m in N-S, 150 m in E-W direction. The volcanic rocks sampled at the top and the foot of the cauldron wall are the calc-alkaline rock series dacites, and the low potassium andesites (Watanabe and Kajimura, 1994). Those rocks are entirely different from tholeiitic basalts collected from some other seamounts around Suiyo Seamount.

The mineral assemblages and chemical compositions of some base and minor elements were analyzed for a seafloor sulfide chimney ore from the hydrothermal deposits of the Ogasawara Sitiyo Islands.

The chimney ore sample is divided into following 5 zones.

Zone-I mainly pyrite, chalcopyrite and anhydrite.

Zone-II mostly chalcopyrite.

Zone-III mainly euhedral pyrite with growth texture and chalcopyrite.

Zone-IV mostly euhedral pyrite.

Zone-V veinlets of mostly anhydrite.

The sulfides of the vent chimney from the hydrothermal field is characterized by the enrichment in Cu, and huge euhedral crystals of pyrite grown on the inner wall of the chimney. The Cu content in the ore of more than 10 wt. % is suggesting that the temperature of hydrothermal fluid is relatively high to compare with zinc-rich chimneys such as White Lady, North Fiji Basin. The Au contents of the sulfide sample is not enriched, and range from 2.7 to 0.2ppm for outer rim and inner wall pyrite, respectively.

The geochemical data of some minor elements (Au, Ag, As, Sb, etc.) in the hydrothermal ores are plotted in the intermediate portion between large number of data for seafloor hydrothermal deposits on mid-oceanic ridges and the data of chimney ores from back-arc basins such as the Izena deposit, Okinawa Trough.

Key words : Suiyo Seamount, Sulfide chimney, Mineral assemblage, Mineralogical texture, Concentrations of minor elements, Au/Ag ratio

1. はじめに

海底に熱水性の鉱床が存在することは、1965年に紅海底の一部に高温塩水に伴って重金属泥が堆積していることが発見され、はじめて世界に知らされた (Degens et al., 1969)。その後、1979年に東太平洋中央海膨 (East Pacific Rise) において海底熱水鉱床が発見され、広く世間に知られるようになった。

Hekinian et al. (1980) などにより、EPRをはじめ多くの海嶺地域で発見された海底熱水鉱床は、枕状溶岩やシートフローなどの玄武岩類からなる海底に多数の硫化物マウンドと高さ数mのチムニーが並んでいる。チムニーはマウンドの上に立ち、硫化物を多く含んだ熱水があたかも黒煙のように吹き上げているブラックスモーカー (350°C 前後)、白色の熱水からなるホワイトスモーカー (300°C 以下) を吹き上げているもの、そして活動を停止しているもの等が数多く報告されている (Rona, 1989)。近年は、日本の近海を中心とする縁海における背弧拡大部で多く海底熱水活動が発見され、チムニーに関する研究が集中的に行われつつある (cf. Halbach et al., 1989; 中村ほか, 1990)。チムニー及びマウンドの主要構成鉱物は、亜鉛硫化物 (ウルツ鉱, 閃亜鉛鉱), 黄鉄鉱, 黄銅鉱である。そのまわりは、巨大な二枚貝やチューブワームなどの動物群が報告されている (水野, 1983; 橋本, 1992)。

海底熱水活動により形成されたと考えられる黒鉱鉱床をはじめとする火山性塊状硫化物鉱床は、今日までその成因について数々の報告がある (例えば、大島ほか, 1968; 佐藤, 1982)。しかしながら、その初生的な鉱石組織や鉱床成因論については考察すべき問題が残っている。本報は初生的な塊状硫化物鉱床の形成機構を明らかにするため、小笠原水曜海山における海底熱水鉱床の鉱石の鉱物組合せ及び鉱石組織を比較検討し、この海底熱水鉱床の形成機構について考察する。

2. 小笠原水曜海山における海底熱水鉱床

本州の南方、伊豆小笠原弧では、伊豆七島などのように島として海上に現れている火山のほかに、海面下に数多くの海底火山が存在している。七曜海山列と呼ばれる海底火山列で、7つの海山は北から順に、日曜海山、月曜海山から順次、土曜海山まで、曜日名で名付けられている (図1)。

水曜海山は小笠原父島の北西約240km、火曜海山の南南東50kmに位置する。南北に延びるこの2つの海山の間には娯娯岩構造線 (湯浅, 1988; Yuasa, et al.,

1989) がNNE—SSW方向で存在するようであるが地形的には明瞭でない。水曜海山は小笠原父島の北西約240kmに位置し、南北に延びる細長い土台の上に、東西方向に延びる上部の山体が乗っているような地形を呈している。水曜海山全体の小笠原トラフからの比高は3,000m以上にも達する (加藤・春日, 1991)。上部の火山体は西峰と東峰に分かれている。水曜海山の西峰は長径が約15kmの東西に延びる楕円を底面とする円錐型火山で水深860m, 水深940m, 水深1,000mの3つのピークを持つ主峰とその東に接触する水深1,100mの寄生火山からなる。主峰には、前述の3つのピークを外輪山とする長径15km, 深さ500mのいびつなカルデラが認められている (加藤・春日, 1991; 図2)。さらに、その北東側の斜面には馬蹄形の浅くて幅のある谷があり、かつて山頂部の北東斜面が崩壊したことを示している。これらの地形の切り合いの関係から、円錐型火山体→北東斜面の崩壊→山頂部カルデラの形成という地史が読み取れるとしている (長岡ほか, 1991)。

水曜海山からは、普通輝石安山岩やデイサイト質軽石がドレッジされ、その化学組成が分析されている (渡辺・梶村, 1994)。デイサイト質軽石は山頂部カルデラの形成期の噴出物の可能性がある (長岡ほか, 1991)。水曜海山カルデラ底は水深1,370m程度の比較的平坦な砂地であり、この砂地の所々に高さ30cm~1m程度のチムニーやそれに伴うシンターが散在していた。チムニー群から外輪山に向けて、リップルマークのある砂地の緩斜面、巨礫及び人頭大礫の急斜面、カルデラ東壁の水深1,260~1,050mまでとカルデラ南壁の水深1,260~1,010mまではほとんど垂直な断崖であった。東壁では水深1,030mから南東端の頂部までは緩斜面であったのに対し、南壁では水深1,010mで極めて狭い頂部に達し、南壁頂部周辺にはほかに比高数十m程度の切り立ったピークがいくつか存在すると報告されている (渡辺・梶村, 1994)。

チムニー群はカルデラのほぼ中央付近から南北に細長く分布し、チムニーの大きさはカルデラ北壁の麓の直径20~30m高さ数十mのマウンド上の高さ1m級のもの以外は、高さ数十cm程度の比較的小さいものがほとんどである (橋本・藤倉, 1992; 写真1)。チムニー群の産状、鉱石の特徴、化学組成と熱水鉱化作用等に関する詳細な報告が渡辺・梶村 (1994) によりなされている。チムニー上部の軟弱な沈殿物は硬石膏と閃亜鉛鉱、チムニー下部の内壁の自形の硫化物物のほとんどが黄銅鉱、その周辺のシンターの黒色~茶褐色の沈殿物は黄銅鉱、

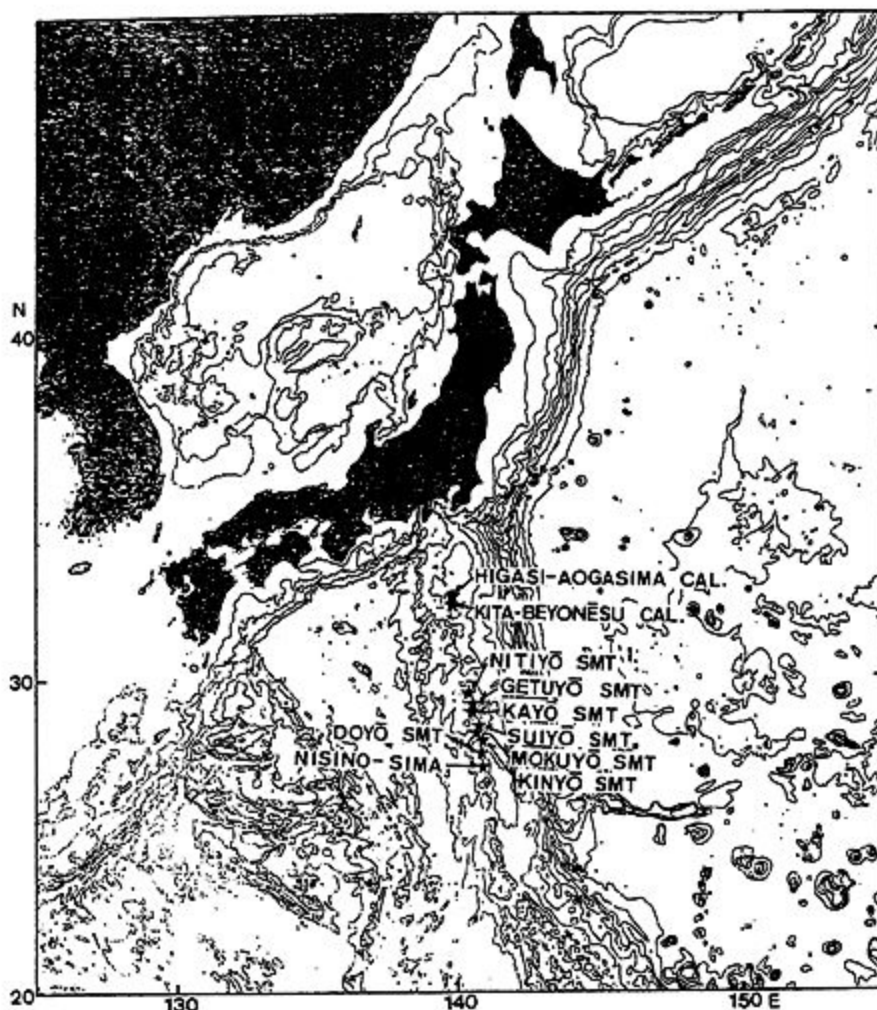


図1 伊豆・小笠原弧七曜海山列の位置図 (長岡ほか, 1991 による)

Fig. 1 Index map of the Siiyō submarine volcanoes (after Nagaoka, et al., 1991).

閃亜鉛鉱、重晶石、硬石膏の混合物であると報告されている (渡辺・梶村, 1994)。中でも黄銅鉱の比率が多いのが特徴であり、これは熱水が銅をはじめとする金属イオンを十分に溶解し、比較的高温であることを示している。

3. 鉱石構造

小笠原水曜海山のサンプル (OSS-1-1) はダイブ626において、位置 $28^{\circ}34.3'N$, $140^{\circ}38.6'E$ 、水深1,370mの地点のカルデラ内で採取された (橋本・藤倉, 1992)。現在活動中のチムニーから得られた塊状硫化物鉱石である (写真1)。採集された同サンプルの肉眼的観察の結果、塊状で鉱石の中心部に1箇所の熱水流路と思われる穴が確認される (写真2)。鉱石の周縁部は厚さ2~5mm

程度の酸化し黒褐色を呈する硬石膏で覆われている。鉱石の大部分は黄銅鉱からなり、チムニーの内部壁である熱水流路の周縁部は、自形の黄鉄鉱が濃集している (写真3)。

4. 鉱石鉱物

本研究により得られた産出鉱物は反射顕微鏡による観察、EPMAによる定性分析、及びX線回折に基づき、同定を行った (表1)。

(1) 鉱物組合せ

OSS-1-1の硫化物試料を同心円状のチムニー鉱石のそれぞれの位置ごとに研磨片及び両面研磨薄片を作成し、鏡下で観察を行い鉱物組合せと量比について調べた (表1)。サンプルは主に黄鉄鉱と黄銅鉱及び硬石膏からな

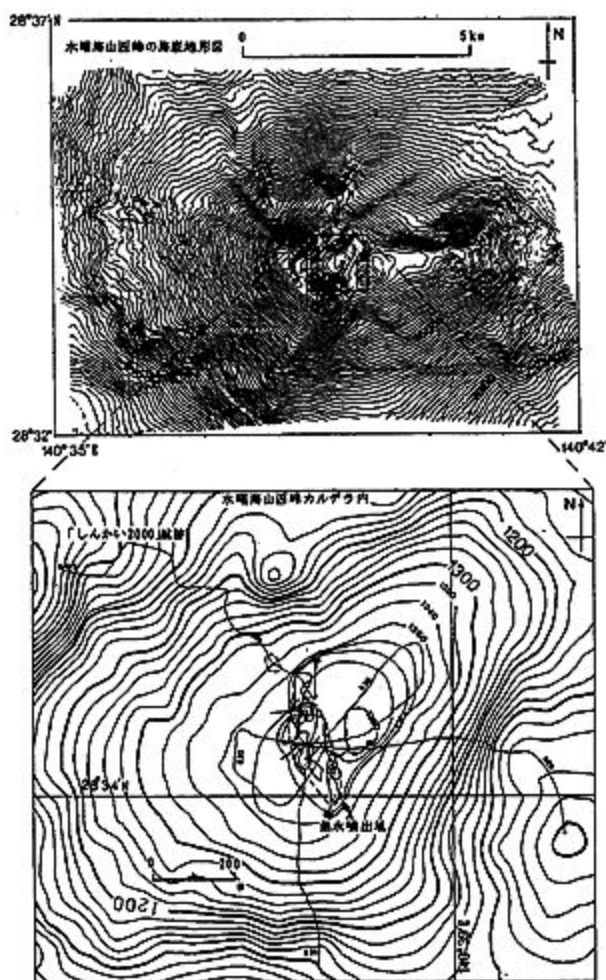


図2 水曜海山西峰とそのカルデラの詳細な海底地形図。「しんかい2000」の調査潜航航跡を実線で、熱水噴出域を破線で示してある(渡辺・梶村ほか, 1994による)。このサンプルは潜航626により採取された。

Fig. 2 Precise bathymetric chart showing the western summit of the Sitiyo Seamounts and its cauldron (after Watanabe and Kajimura, 1994). Dive tracks are shown in thick lines, and hydrothermal fields are indicated by broken lines. Studied sample was collected during the Dive 626.

り、閃亜鉛鉱、斑銅鉱、四面銅鉱及び少量の石英を伴う。閃亜鉛鉱、斑銅鉱、四面銅鉱の共生がみられる(写真4)。また黄鉄鉱と黄銅鉱の量比は負の相関を示す。

(2) 鉱物各説

OSS-1-1Bは主に黄鉄鉱と黄銅鉱及び硬石膏からなり、閃亜鉛鉱、斑銅鉱、四面銅鉱及び少量の石英を伴う。閃亜鉛鉱、斑銅鉱、四面銅鉱の共生がみられる(写真3, 4)。

A. 黄鉄鉱 (Pyrite)

小笠原水曜海山で採取された塊状硫化物鉱石の主要構成鉱物である。EPMA分析の結果では、Co, Niの含有量は検出限界以下である。本鉱床の黄鉄鉱は自形を示し、一般に結晶のサイズは50~400 μ mであり、まれに3 mmに達するものも認められる(写真3)。

B. 黄銅鉱 (Chalcopyrite)

本鉱石中に普遍的に認められ、黄鉄鉱に次ぐ主要構成鉱物である。鏡下では他形を示し、自形の黄鉄鉱の粒間を充填する。また黄鉄鉱、閃亜鉛鉱と共に球状組織を呈する(写真3)。

C. 閃亜鉛鉱 (Sphalerite)

本鉱石中に局所的に認められる。化学式は(Zn, Fe)Sで、立方晶系である。鏡下では他形を示し、黄銅鉱と接して産する。また黄鉄鉱、黄銅鉱と共に球状組織を呈し、自形の黄鉄鉱結晶を黄銅鉱がとりまき、さらに閃亜鉛鉱がこの黄銅鉱をとりまいている。一般に閃亜鉛鉱の結晶のサイズは50 μ m程度である(写真4)。

D. 斑銅鉱 (Bornite)

本鉱石中に少量存在する。理想化学式はCu₅FeS₄である。鏡下では他形を示し、黄銅鉱と密接に、まれに黄銅鉱を伴う(写真4)。アイソキューバ鉱(?)と難溶ラメラ状組織を呈する。サイズは50 μ m程度である。

E. 四面銅鉱 (Tetrahedrite)

本鉱石中に少量認められる。化学式(Cu, Ag)₁₀(Zn, Fe)₂(As, Sb)₄S₁₃である。淡緑灰色を呈し、多色性、異方性は認められない。閃亜鉛鉱中に小粒状に散在する。サイズは10 μ m程度である(写真4)。

F. 硬石膏 (Anhydrite)

小笠原水曜海山で採取された塊状硫化物鉱石の主要構成鉱物の主要鉱物の1つである。化学式はCaSO₄である。鏡下では透過光で無色透明で、(010)に平行な劈開(へきかい)が顕著である。自形厚板状から他形まで様々な産状を呈する。結晶は粗粒なものも多く認められ、最大500 μ mにも達する。

5. 鉱石組織

顕微鏡下での鉱石組織を解析することにより、鉱物の晶出順序がある程度決定できる。鉱石組織は鉱床形成過程の痕跡であり、鉱石組織を明らかにすることは鉱床の成因を明らかにすることに非常に有効と考える。小笠原水曜海山から得られた塊状硫化物鉱石の主要構成鉱物である黄鉄鉱の形態を分類し、考察を行う。鉱石組織が表す意味については多くの研究者の間で異なるが、ここではCraig and Vaughan (1981)によった。

表 1 水曜海山のチムニー鉱石 (OSS-1-1B) の鉱物組合せ、鉱物組織及び分帯

Table 1 Mineralogical assemblages, textures and zonation of ores (OSS-1-1B) from the Suiyo Seamount.

mineral	Pyrite	Chalcopyrite	Sphalerite	Globular texture of sphalerite, pyrite and chalcopyrite	Bornite	Tetrahedrite	Quartz	Anhydrite
	Idiomorphic texture	Xenomorphic texture	Xenomorphic texture		Xenomorphic texture	Xenomorphic texture	Xenomorphic texture	Xenomorphic texture
Zone I	+++	+++	++	++	+	+		+++
Zone II	++	++++						
Zone III	++++	+++						
Zone IV	++++	++						
Zone V							+	++++

++++ : dominant, +++ : abundant, ++ : present, + : rare

小笠原水曜海山の塊状硫化物鉱石の黄鉄鉱の形態は自形組織のみであるが、黄鉄鉱、黄銅鉱及び閃亜鉛鉱による球果状構造が観察された。

A. 自形組織 (Idiomorphic Texture)

OSS-1-1B中に見られた黄鉄鉱はすべてが立方体状の黄鉄鉱独自の結晶形態を呈する。しばしば、成長縞が自形の結晶外形に平行に密に発達する。組織のサイズは一般的に0.05~0.4mmであり、時に3mm程度の粗粒なものも見られる。OSS-1-1には1~2cmに達する肉眼的に自形を呈する黄鉄鉱が観察できるが、これは顕微鏡下では0.5mm程度の黄鉄鉱の自形結晶の集合体であり単結晶ではない(写真3)。

B. 黄鉄鉱、黄銅鉱及び閃亜鉛鉱による球果状組織 (Globular Texture)

OSS-1-1B中に局所的に観察できる。20 μ m程度の自形黄鉄鉱を中心に外側に向けて黄銅鉱、閃亜鉛鉱が重なって球果状をなしており、この外側は硬石膏に被われている(写真4)。球果の大きさは60~70 μ mである。この組織は、最初に自形黄鉄鉱が晶出し、これを核として黄銅鉱が成長し、さらにこの周りに閃亜鉛鉱が成長、最後に硬石膏がこの球果の周囲を充填したことを示唆するものである。

6. 鉱石の分帯

本研究では、鉱石構造、鉱石鉱物、鉱物組合せに基づき、小笠原水曜海山の代表的なサンプルであるOSS-1-1Bについて分帯を行った(写真2)。

この鉱石は肉眼的には半同心円状の縞状構造を示し、鉱石の一部に硬石膏脈が認められる。主要構成鉱物は黄鉄鉱、黄銅鉱、硬石膏であり閃亜鉛鉱、少量の斑銅鉱、四面銅鉱を伴う(写真3, 4)。鉱石の分帯は鉱石外側から中心部に向かって、以下のとおりである。

Zone I 主に黄鉄鉱、黄銅鉱、硬石膏からなる。

Zone II ほとんど黄銅鉱からなる。

Zone III 主に黄鉄鉱、黄銅鉱からなる。

Zone IV ほとんど黄鉄鉱からなる。

Zone V ほとんど硬石膏からなる。

A. Zone I

黄鉄鉱、黄銅鉱、硬石膏を主とし、閃亜鉛鉱、少量の斑銅鉱、四面銅鉱を伴う(写真4)。黄鉄鉱は自形を呈し、その粒間を他形の黄銅鉱、閃亜鉛鉱が充填する。斑銅鉱は黄銅鉱に接し、四面銅鉱は閃亜鉛鉱中に小粒状に産する。硬石膏は他形~半自形の組織を示す。また自形黄鉄鉱を核として、その周りを黄銅鉱、閃亜鉛鉱の被った球果状構造が特徴的に観察される。これらのことから球果部の鉱物晶出順序は黄鉄鉱→黄銅鉱→閃亜鉛鉱→硬石膏と考えられる。

B. Zone II

ほとんどが他形の黄銅鉱からなり、若干の自形の黄鉄鉱を伴う。本帯は硬石膏、閃亜鉛鉱、斑銅鉱、四面銅鉱などの鉱物を伴わない。

B. Zone III

主に黄鉄鉱、黄銅鉱からなる。鉱物組合せはZone IIと同じであるが、黄鉄鉱と黄銅鉱の量比は逆転し、自形の黄鉄鉱が他形の黄銅鉱よりも卓越する(写真3)。

D. Zone IV

ほとんど自形の黄鉄鉱からなり、若干の他形の黄銅鉱を伴う。本帯は1~2cmに達する肉眼的に自形を呈する黄鉄鉱が観察できるが、これは単結晶ではなく500 μ m程度の自形結晶の集合体である(写真3)。

E. Zone V

ほとんどが硬石膏からなり、極少量の石英を伴う。硬石膏は厚板状自形から他形まで様々な組織を示す。チムニーの割れ目を充填して、Zone I, II, IIIの各帯を切っ

て分布する。本帯とZone IVがどちらが先に晶出したかは不明である。

7. 硫化物鉱石の化学組成

チムニー鉱石は各zoneごとに分割し、高周波誘導結合プラズマ (ICP) 発光分光分析計により化学組成分析を行い、Au, Ag, As, Sb, Ni, Co等の微量元素含有量の特徴を検討した (表2)。さらに、Au, Agについては、同和鉱業大館分析センターに分析依頼し、データを再確認した。小笠原水曜海山の塊状硫化物鉱石12試料について詳細に化学組成分析されている (渡辺・梶村, 1994)。そのデータによれば、鉱石中のAuは、最高値で71ppm、平均値でも25ppmと非常に高い。これまでに報告された海底熱水鉱床試料の中でも最も高品位の値をもつ鉱石の1つである。しかしながら、本研究で分析に供した鉱石に関しては、そのAu含有量は0.2~2.7ppmで、それほど高品位の鉱石ではなく、鏡下の観察でも、自然金もしくはエレクトラムの粒子は認められていない。Auは少ないものの、Agの値は、沖縄トラフの伊是名の値に比べてはやや少ないが、海底熱水鉱床試料の中では含有量が高い (渡辺・梶村, 1994; 図3)。

Ni-Co相関図は、伊是名、黒鉱鉱床より低く、EPR (East Pacific Rise) の鉱石、別子型塊状硫化物鉱床 (キースラガー型鉱床) の鉱石の含有量より高い値をとる (図4A)。As-Cd (図4B) 及びSb-Asの相関関係からは、伊是名鉱石の含有量、黒鉱鉱床の含有量より高

表2 水曜海山の銅に富むチムニー鉱石の微量元素濃度 (ICP分析, 京都大学原子炉実験所)

Table 2 ICP analysis data of some minor elements in copper-rich chimney ore from Suiyo Seamount. (Analyzed at Research Reactor Institute, Kyoto University)

(ppm)	OSS-1-1-10 py-rich (Inner)	OSS-1-1-20 cp-rich	OSS-1-1-30 sph-bearing (Outer)
Co	320	89	42
Ni	9.9	9.7	16
As	290	360	370
Se	21	6.4	4.8
Ag*	140	50	75
Cd	11	45	49
Sb	30	n.d.	48
Au*	0.2	1.0	2.7

py: pyrite, cp: chalcopyrite, sph: sphalerite
n.d.: not detected.

*: re-examined by atomic absorption analysis at the Ohdate Analysis Center.

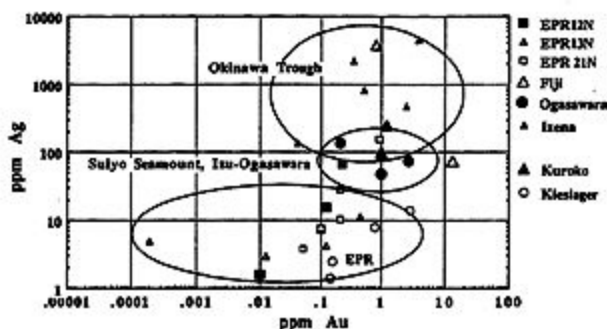


図3 チムニー鉱石 (OSS-1-1B) 中の金及び銀含有量の相関関係。EPR 化学分析結果は Mizuta, et al. (in prep.), そのほかのデータは通産省・資源エネルギー庁 (1993) の化学分析結果による。

Fig. 3 Correlations between Au and Ag concentrations of chimney ore (OSS-1-1B). Analytical data of EPR (Mizuta, et al., in prep.). The other data are from MITI, ANRE (1993).

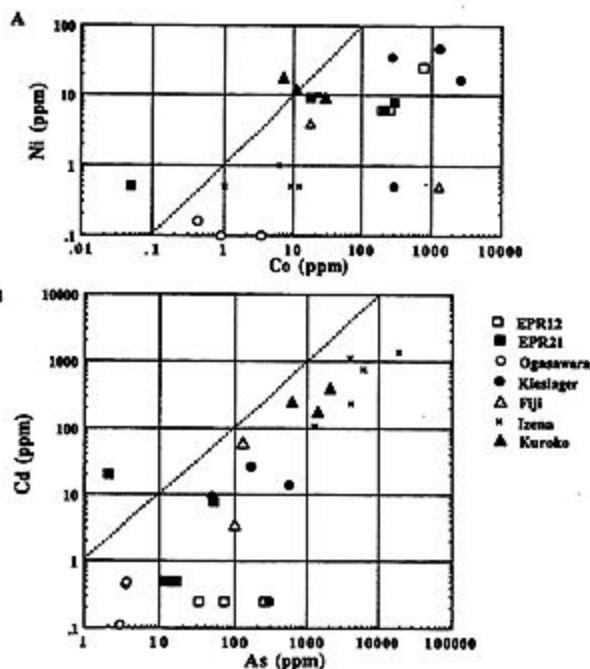


図4 チムニー鉱石 (OSS-1-1B) 中の Co-Ni 含有量の相関関係 (A), 及び As-Cd 含有量の相関関係 (B)。小笠原, EPR の化学分析結果は Mizuta, et al. (in prep.), そのほかのデータは通産省・資源エネルギー庁 (1993) の化学分析結果による。

Fig. 4 Correlations between Co and Ni concentrations of chimney ore (A), and correlations between As and Cd concentrations (B). Analytical data of Ogasawara and EPR samples (Mizuta, et al., in prep.). The other data are from MITI, ANRE (1993).

く、EPRの鉱石、別子型鉱床の鉱石の含有量より低いことが明瞭である。

8. 考 察

(1) 鉱石の化学組成の特徴

小笠原水曜海山のチムニーは、Au-Agは、Auは少ないもののAgの値は、酸性火山岩類を母岩とする伊是名、黒鉱鉱床より低く、玄武岩を母岩とするEPR12°、EPR21°のチムニー鉱石や別子型鉱床より高い2つの中間的値をとる。

As-Cd及びSb-As相関図では、伊是名、黒鉱鉱床より高く、EPR12°、EPR21°、別子型鉱床より低い。Ni-Co相関図は、伊是名、黒鉱鉱床より低く、EPRのチムニー鉱石、別子型鉱床より高い値をとる。このことから渡辺・梶村(1994)は小笠原水曜海山の母岩である安山岩、デーサイト内を小さなサイクルで熱水が通った可能性があると指摘している。

(2) チムニー鉱石の形成機構

小笠原水曜海山のチムニーは、Zone IからZone IVに進むにしたがって黄鉄鉱のサイズが大きくなる。黄鉄鉱は高温になるほど結晶体が大きくなることから、Zone IからZone IVに進むにしたがって温度が上昇し、成長していったと考えられる。

9. ま と め

(1) 小笠原水曜海山のカルデラ内で採集された塊状硫化物鉱石である。塊状で鉱石の中心部に1箇所熱水流路と思われる穴が確認できる。鉱石の周縁部は厚さ2~5 mm程度の酸化し黒褐色を呈する硬石膏で覆われている。鉱石の大部分は黄銅鉱からなり、熱水流路の周縁部は自形の黄鉄鉱が濃集している。

外殻部 Zone I コロフォーム状組織
中央部 Zone II 細粒状黄鉄鉱+黄銅鉱
最内殻部 Zone IV 巨晶自形黄鉄鉱

(2) 水曜海山のチムニーの鉱石組織は、Zone IからZone IVに進むにしたがって温度が上昇し、外側から成長している。

(3) 鉱石の微量成分の特徴として、小笠原水曜海山のチムニー鉱石中の微量成分、特にAu、Ag、Cd、As、Ni、Co等についてICP分析を行なった。本研究で分析に供した鉱石に関しては、そのAu含有量は0.2~2.7ppmで、それほど高品位の鉱石ではない。

(4) 小笠原水曜海山のチムニーは、ICP発光分析のデータより、Au-Agは、Auは少ないもののAgの値

は、玄武岩を母岩とする伊是名、黒鉱鉱床より低く、花崗岩を母岩とする東太平洋中央海膨の海底熱水鉱床、別子型鉱床より高い2つの中間的値をとる。微量元素の値は、流紋岩質火山岩類や厚い堆積岩類を胚胎母岩とする伊是名、黒鉱鉱床の微量成分の含有量と、玄武岩類を胚胎母岩とするEPR12°、EPR21°のチムニー鉱石、及び別子型鉱床の含有量の中間的値をとる。

(5) As-Cd及びSb-Asは、伊是名、黒鉱鉱床より高く、EPR12°、EPR21°、別子型鉱床より低い。Ni-Coは、伊是名、黒鉱鉱床より低く、EPRのチムニー鉱石、別子型鉱床より高い値をとる。このことから小笠原水曜海山の母岩である安山岩、デーサイト内を小さなサイクルで熱水が通った可能性がある。

謝 辞

本論文を作成をするにあたり、秋田大学鉱山学部鉱山地質学教室の石川洋平教授には、数多くの貴重なご助言をいただいた。ICP分析は京都大学原子炉実験所の共同利用研究により行なわれた。同実験所川本圭三、高田実彌両氏には分析に際し、多くの便宜をいただいた。金属鉱業事業団白土健二氏には分析及び図の作成に多くの助力をいただいた。これらの方々に対し心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 青木正博・中村光一(1989):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。しんかいシンポジウム報告書, 5, 197-210.
- Craig, J.R. and D.J. Vaughan (1981): Ore Microscopy and Ore Petrography. John Wiley and Sons Inc., 406pp.
- Degens, E.T. and D.A. Ross (1969): Hot Brines and Recent Heavy Metal Deposit in the Red Sea. Springer-Verlag, New York Inc., 82pp.
- Halbach, P., K. Nakamura, M. Wahsner, J. Lange, H. Sakai, L. Käselitz, R.-D. Hansen, N. Yamano, J. Post, B. Prause, R. Seifert, W. Michaelis, F. Teichmann, M. Kinoshita, A. Märten, J. Ishibashi, S. Czerwinski and N. Blum (1989): Probable modern analogue of Kuroko-type massive sulphide deposits in the Okinawa Trough back-arc basin. Nature, 338, 496-499.
- Hannington, M.D., J.M. Peter and S.D. Scott (1986):

- Gold in sea-Polymetallic sulfide deposits. *Econ. Geol.*, **81**, 1867-1883.
- 橋本 惇 (1992): 日本周辺の熱水噴出孔・冷水湧出帯生物群集. 月刊海洋, **270**, 724-730.
- 橋本 惇・藤倉克則 (1992): 水曜海山・木曜海山・日光海山における熱水噴出孔生物群集. 第9回しんかいシンポジウム予稿集, 48-51.
- Haymon, R.M. (1980): Growth history of hydrothermal black smoker chimneys. *Nature*, **301**, 695-698.
- Hekinian, R., M. Fevrier, J.L. Bischoff, P. Picot and W. C. Shanks (1980): Sulfide deposits from the East Pacific Rise near 21°N. *Science*, **207**, 1433-1444.
- 飯笹幸吉 (1992): 伊豆・小笠原弧一明神礁海底カルデラの熱水活動について. 月刊地球, **158**, 499-506.
- 春日 茂・加藤幸弘 (1992a): 伊豆・小笠原弧水曜海山の火口底における海底熱水性硫化物鉱床の発見. しんかいシンポジウム報告書, **8**, 248-256.
- 春日 茂・加藤幸弘 (1992b): 水曜海山の火口底で発見された海底熱水性鉱床, 「しんかい2000」による潜航調査結果一. 月刊地球, **158**, 484-488.
- 水野篤行 (1983): 概論: 海底の熱水性鉱床—特に他金属塊状硫化物鉱床について. 月刊海洋科学, **15** (10), 566-581.
- 長岡信治・沖野郷子・加藤 茂 (1991): ナローマルチビーム測深機による伊豆・小笠原中部の海底火山地形図. 水路部研究報告, **27**, 145-170.
- 長岡信治・春日 茂・加藤幸弘 (1992): 小笠原一七曜海山列の木曜海山, 土曜海山および水曜海山の火山地質. しんかいシンポジウム報告書, **8**, 237-248.
- 大島敬義・河辺重昭・谷村昭二郎・菅 清規・石川洋平 (1968): 小坂鉱床における最近の探鉱について, 一上向鉱床群の地質および鉱床一. 鉱山地質, **18**, 134-149.
- Peter, J.M and S.D. Scott (1988): Mineralogy, composition and fluid inclusion microthermometry of seafloor hydrothermal deposits in the Southern Trough of Guaymas Basin, Gulf of California. *Canad. Mineral.*, **26**, 567-587.
- Rona, P.A. (1989): Hydrothermal mineralization at ocean ridges. *Canad. Mineral.*, **26**, 431-446.
- 佐藤壮郎 (1982): 黒鉱型鉱床の特徴. 月刊海洋科学, **146**, 194-199.
- 鹿園直建 (1988): 黒鉱鉱床と海嶺熱水性鉱床に濃集した元素種の違いとその原因. 月刊海洋科学, **214**, 217-222.
- Sillitoe, R.H. (1980): Cauldron subsidence as a possible inhibitor of porphyry copper formation. *Mining Geol. Spec. Issue*, **8**, 85-93.
- 角皆 潤・石橋純一郎・脇田 宏・渡辺一樹・梶村 徹・橋本 惇 (1993): 伊豆小笠原弧, 水曜海山・木曜海山海底熱水系の溶存気体組成. しんかいシンポジウム報告書, **9**, 91-103.
- 高木圭介・青池 寛・小山真人 (1993): 15~10Ma前後の伊豆, 小笠原弧北端部でいったい何がおこったか. *Jour. Geography*, **102**, 252-263.
- 通産省・資源エネルギー庁 (1993): 平成2-4年度希少金属資源の賦存状態調査報告書. ポテンシャル評価調査, 112pp.
- 浦辺徹郎 (1989): 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. しんかいシンポジウム報告書, **5**, 191-196.
- 渡辺一樹・梶村 徹・石橋純一郎・角皆 潤・青木正博 (1992): 伊豆・小笠原弧の水曜海山カルデラの微地形と地質学的研究. 第9回しんかいシンポジウム予稿集, 46-47.
- 渡辺一樹・梶村 徹 (1994): 伊豆・小笠原弧中部, 水曜海山の熱水鉱化作用. *資源地質*, **44**, 133-140.
- 湯浅真人 (1988): 200万年前を境にした伊豆, 小笠原弧の火成活動の変化. 月刊地球, **vol. 10**, 592-596.
- Yuasa, M., F. Murakami, B. Saito and K. Watanabe (1989): Submarine topography of seamounts on the volcanic front of the Izu-Ogasawara (Bonin) Arc. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **42**, 703-743.
- Yuasa, M. and M. Nohara (1992): Petrographic and geochemical along-arc variations of volcanic rocks on the volcanic front of the Izu-Ogasawara (Bonin) Arc. *Geol. Surv. Japan*, **43**, 421-456.

(原稿受理: 1994年6月30日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

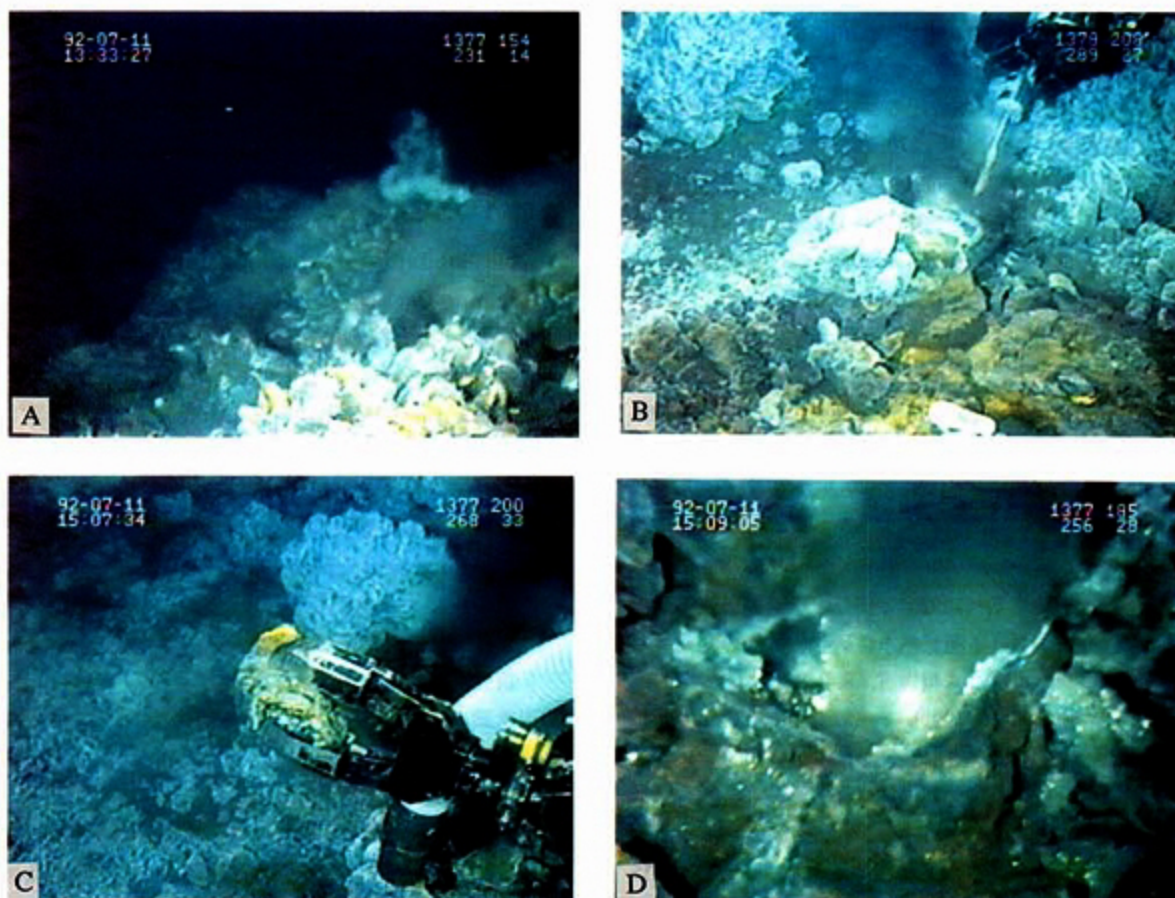


写真 1 水曜海山のブラックスモーカー

A: 硫化物に富むスモークやマリンスノーが底層流によりたなびいている。B: 熱水の温度計測。熱水噴出孔周辺の巨礫はおびただしい数のシンカイヒバリガイ類で覆われ、自然硫黄も周りに認められる。C: チムニー鉱石の採取。熱水噴出孔内部壁に粗粒な自形状黄鉄鉱が成長している。D: 鉱石採取後のチムニーのクローズアップ。多量の硫化物自形結晶がチムニー周辺部に分布する。

Photo 1 Black smoker of the Suiyo Seamount.

A: Chimney on the sulfide mound. Smokes and marine snows are flown by deep-sea current. (Depth, 1,377m). B: Temperature measurement of hydrothermal fluid from the black smoker. Large number of crabs and crystals of native sulfur are distributed around the active chimney. C: Chimney specimen collected for this study. Euhedral crystals are overgrown on the inside wall of conduit. D: Zooming-up of black smoker chimney after sample collection. Large amounts of sulfide crystals are distributed around the chimney.

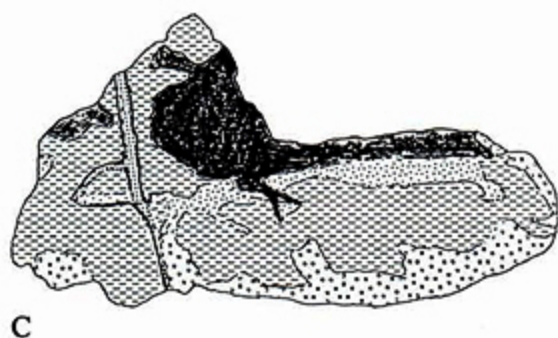
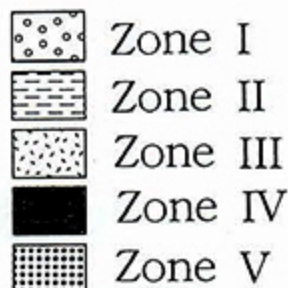
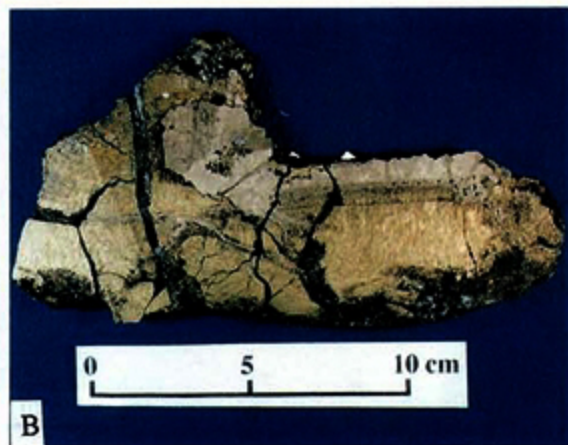


写真 2 水曜海山のチムニー鉱石 (OSS-1-1B)

A: チムニー鉱石サンプル。外郭部は灰白色の石膏、硫化物層で覆われている。熱水噴出孔内部壁に粗粒な自形状黄鉄鉱が成長している。B: 鉱石サンプルの断面。A の断面線方向に切断。鉱石内に後から入った石膏脈が顕著に認められる。C: 鉱石 B 断面のスケッチと鉱石の鉱物分帯。熱水噴出孔内部壁に粗粒な自形状黄鉄鉱が成長している。

Photo 2 The chimney ore specimen of black smoker of the Suiyo Seamount.

A: Chimney ore specimen (OSS-1-1). Solid line is a cutting plane of Photo 2B.
B: Cutting plane of ore specimen. Later anhydrite veinlets are clearly observed.
C: Schematic sketch and mineralogical zonation of the chimney specimen.

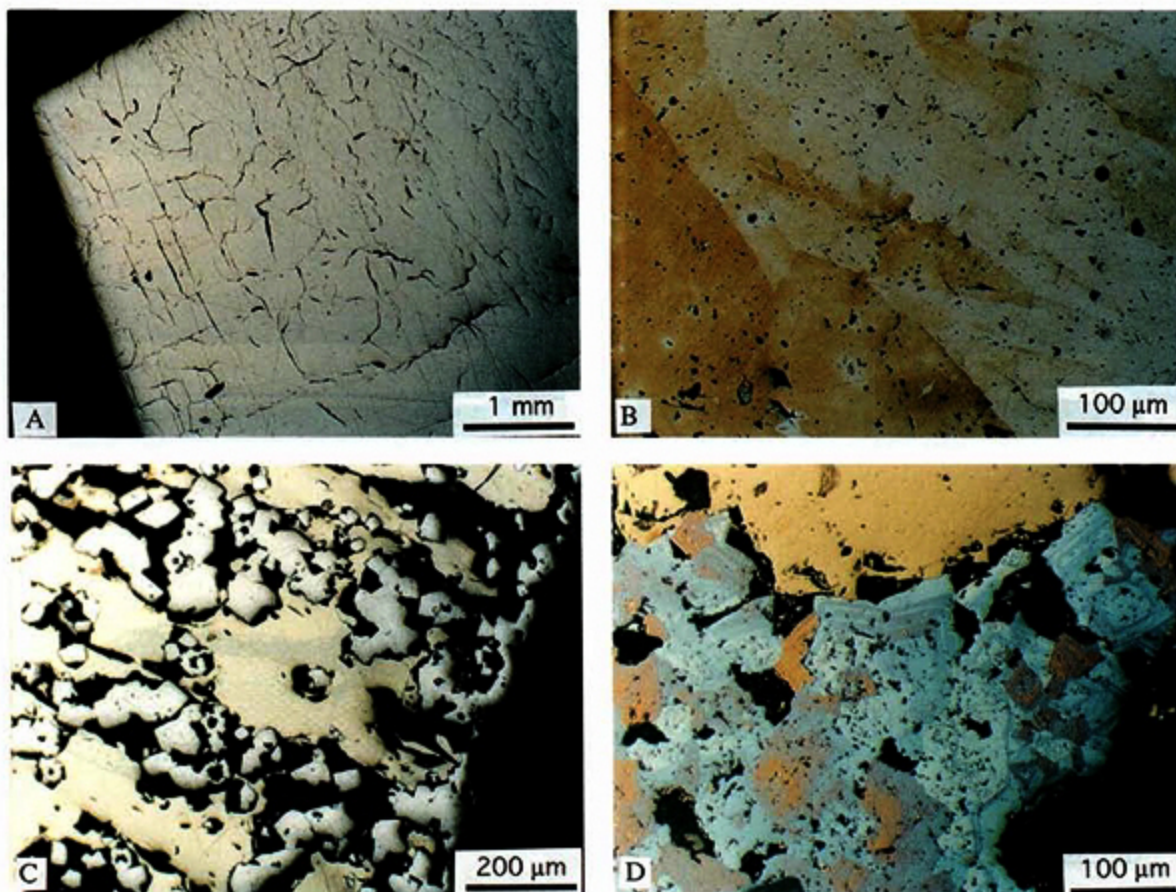


写真 3 チムニー鉱石 (OSS-1-1B) の反射顕微鏡写真 I

A: 熱水噴出孔内部壁に成長した巨晶状に見える黄鉄鉱。結晶内部はやや多孔質、個々の結晶粒界も顕著。B: 巨晶状に見える黄鉄鉱のやや中央部。個々の黄鉄鉱結晶は成長方向と同一の方向へ伸張する傾向が強い。研磨面は 2~3 週間の空気中での放置で簡単に表面酸化される。C: 黄鉄鉱-黄銅鉱移行ゾーンの鉱石組織。写真右の空隙部が黄銅鉱 zone III との境界。ある基底面からは黄鉄鉱優勢部、その間は黄銅鉱優勢部となり、左上方へと成長している。この方向は B と同一の方向。D: 鉱石採取後のチムニーのクローズアップ。多量の硫化物自形結晶がチムニー周辺部に分布する。空気中での放置で簡単に表面酸化され、規則正しい成長縞が顕著に観察される。

Photo 3 Photomicrographs of chimney ore (OSS-1-1B) from the Suiyo Seamount.

A: Megacryst-like pyrite overgrown on the inside wall of conduit. Outermost pyrite surfaces are smooth and flat. However, inside of the pyrite grains are containing some pores and aggregation texture and grain boundaries of small subhedral pyrite grains are distinct. B: Inner part of megacryst-like pyrite. Elongated pyrite grains are arranged along the growth direction of pyrite crystal. Polishing plane of pyrite crystals are easily stained after the exposure of 2-3 weeks in air. C: Ore textures of transitional part between pyrite-rich (zone IV) and chalcopyrite-rich (zone III) zones. Some portion on zone boundary are grown idiomorphic pyrite crystals, and others are chalcopyrite growth area. This alignment of pyrite crystals are the same as the growth direction of pyrite crystals in B. D: Idiomorphic pyrite crystals in chalcopyrite-rich zone III. Large amounts of sulfide crystals are distributed around the chimney. Stained polishing plane of pyrite crystals reveal that regular growth banding in pyrite.

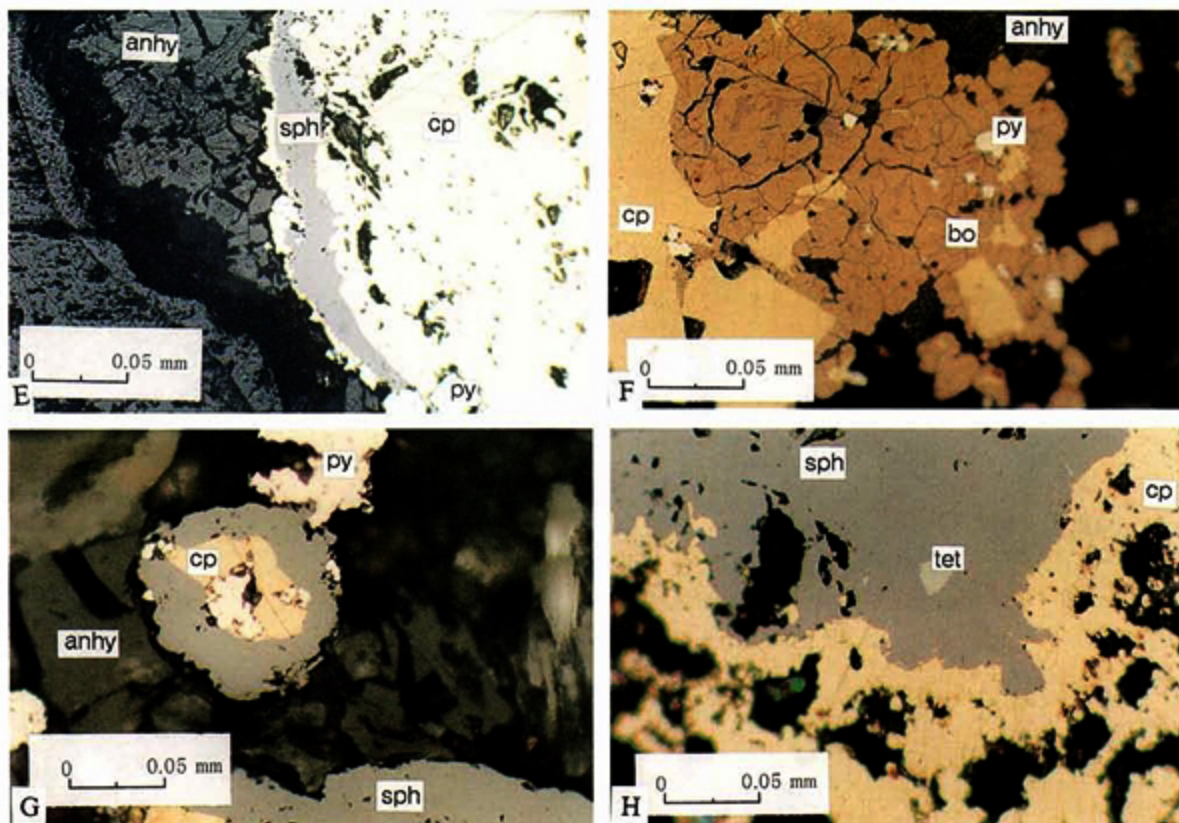


写真 4 チムニー鉱石 (OSS-1-1B) の反射顕微鏡写真 2

E: zone IV を切る後期の石膏 (anhy) 脈 (zone V; zone I と同一の鉱物組合せ)。zone V と zone IV の境界部は閃亜鉛鉱 (sph) と黄銅鉱とのコロフォーム状組織に近い産状。F: 斑銅鉱 (bn) とアイソキューバ鉱 (? iscb) の鉱石組織。G: 黄鉄鉱—黄銅鉱—閃亜鉛鉱のなす球果状組織移行ゾーンの鉱石組織 (zone I)。H: 黄銅鉱—閃亜鉛鉱を主とする部分に極く少量産する四面銅鉱 (tet)(zone I)

Photo 4 Photomicrographs of chimney ore (OSS-1-1B) from the Suiyo Seamount. E: Anhydrite veinlets (zone V) cutting zone IV. The mineral assemblages are the same as those of Zone I. Outermost zone of zone IV are remarkable for colloform-like texture of chalcopyrite and sphalerite. F: Ore texture of bornite (bo) and isocubanite (? iscb)(zone I). G: Globular textures of pyrite-chalcopyrite-sphalerite (zone I). H: Tetrahedrite (tet) in chalcopyrite-sphalerite-rich portion of zone I.