

沖縄トラフ南奄西海丘の海底熱水鉱床 ——特に構成鉱物について——

根建心具^{*1} 上野宏共^{*1} 小坂丈予^{*2} 野上健治^{*3}
橋本 惇^{*4} 藤倉克則^{*4} 三浦知之^{*5}

沖縄トラフ南奄西海丘での「しんかい2000」の Dive 547~549で、1991年6月の調査で発見されたチムニーから得られた鉱石について、構成鉱物の産状と化学組成を調べた。

当地域の熱水は沸点よりわずかに低い温度で、また鉱石は碎屑組織、低い硫化物の硫黄同位体比、亜鉛・鉛優勢鉱石、それと高い Au/Ag 比で特徴づけられる。チムニーを構成するのは珪質鉱石、硫酸塩を主とする鉱石、それに塊状鉱石であるが、これらをフラグメントとして含むほか、閃亜鉛鉱や方鉛鉱でチムニーには見られない鉱物片を含む碎屑鉱石がある。水深の浅い南奄西海丘では、初生の熱水が湧出するまでに既に亜鉛・鉛・銅の硫化物を一部沈殿し、海底面ではチムニーを形成しながら熱水活動が衰退していくと思われる。また当地域では沸点を容易に越えて爆発しやすいと考えられる。この爆発によって地下とチムニーの鉱石が破碎され、碎屑鉱石のフラグメントになったと考えられる。当地域の熱水鉱床は黒鉱鉱床上部に類似する可能性がある。

Hydrothermal Ore Deposits on the Minami-Ensei Knoll of the Okinawa Trough ——Mineral Assemblages——

Munetomo NEDACHI^{*6} Hiroto UENO^{*6} Joyo OSSAKA^{*7}
Kenji NOGAMI^{*8} Jun HASHIMOTO^{*9}
Katsunori FUJIKURA^{*9} Tomoyuki MIURA^{*10}

The mineralogy of ore samples from the Minami-Ensei Knoll are described. The sulfide chimneys were found by the Dive 547-549 (June 4th to 6th, 1991) of the submersible "SHINKAI 2000".

-
- *1 鹿児島大学教養部
 - *2 玉川大学
 - *3 東京工業大学理学部
 - *4 海洋科学技術センター深海研究部
 - *5 鹿児島大学水産学部
 - *6 College of Liberal Arts, Kagoshima University
 - *7 Tamagawa University
 - *8 Department of Sciences, Tokyo Institute of Technology
 - *9 Japan Marine Science and Technology Center
 - *10 Faculty of Fisheries, Kagoshima University

The hydrothermal solution is characterized by slightly lower temperature than the boiling point. The ores are characterized by clastic ores, rather low S isotopic ratio of sulfides, Zn and Pb predominant ore, and high Au/Ag ratio.

The siliceous ores, sulfate ores, and massive ore might be formed from hydrothermal fumaroles as chimneys on the seafloor. The clastic ores are not composed only of the fragments originated from chimneys, but also of sulfide fragments of other origin. The lower concentration of dissolved elements of hydrothermal fluid of fumarole suggests that sulfide minerals have precipitated beneath the seafloor. On the other hand, low hydrostatic pressure and the high temperature of fumarole at the seafloor suggest that explosive events have occurred frequently, by which sulfide fragments have been removed from the underground. The ore deposits on the Minami-Ensei Knoll might be compared with the upper parts of the Kuroko ore deposits.

1. はじめに

現在拡大中の背孤海と考えられている沖縄トラフに熱水活動が確認されて (Kimura et al., 1988) まもなく、1988年には伊是名海穴において硫化鉱物のチムニーが発見され、大陸地殻の背孤海における形成中の黒鉱鉱床として注目された (Halbach et al., 1989)。ここから北北東へ約70km、奄美大島の西方約100km離れた南奄西海丘においても低温の熱水変質や熱水系生物コロニー (橋本ほか, 1990) が知られていたが、1991年6月3日から3日間にわたる「しんかい2000」を使っての調査で、多数のチムニーを伴う海底熱水鉱床が新たに発見された。南奄西海丘の鉱石は伊是名海穴のそれと似ている点が多いが、南奄西海丘では水深700mに形成されており、伊是名海穴や伊平屋海嶺よりかなり浅い海域である。鹿児島湾の熱水湧出現象をも含めて、沖縄トラフにおける海底熱水鉱床形成の場とその地球化学的プロセスを考える上で大変意味のある発見である。

潜航は橋本と藤倉が合計3回 (Dive 547~549) にわたって行なった。南奄西海丘の28°23.5'N, 127°38.5'Eの地点で、“たいまつ”、“やじり”、“湯の井”と名付けたチムニーの他、これらより約200m北方で多数のチムニー群を発見した。高さ約50cm~1mの熱水の噴出は頂部のみならず底部からも湧出しており、また根元の方がやや細いものが多い。スモーカーは灰色で、石膏や硬石膏、硫化鉱物を舞い上げていると思われる。マウ

ンドは高さ2m、広さ直径5m程度の盛り上がりで、頂上は白色になっている。この調査で測定された熱水の最高温度は270℃である。NaおよびCl含有量は海水とほぼ同様である (野上, 未公表) ので当地域での沸点は275℃である。ここでの熱水は沸騰寸前である。本報告では、最初に発見された3つのチムニーの足元のマウンド上から採集された鉱石について、その構成鉱物について記載する。

2. 鉱石の産状

鉱石試料を大別すると、珪質鉱石 (MES 102の一部, MES 107, 110, 111)、硫酸塩を主とする鉱石 (MES 108, 109)、塊状鉱石 (MES 104)、それに碎屑鉱石 (MES 101, 102, 103, 106) に分けられる。これらの試料について鉱物の産状を調べる一方、化学分析を行った。全岩分析ではなるべく岩塊全体を代表するよう数箇所から小片を取りだし、それらを混合して分析した。分析にはICPおよび原子吸光、湿式重量法を用いた。化学分析の結果は表1に掲げた。また、幾つかの鉱物について硫黄同位体比を求めたが鉱物分離した後、硫化物については東北大学で、硫酸塩鉱物については三菱マテリアルサイエンスに依頼して行った。結果を第2表に示す。硫化鉱物の幾つかはEPMAで化学組成を求めた。sphalerite (閃亜鉛鉱, ZnS) と wurtzite (ウルツ鉱, ZnS) は表3に、tetrahedrite (四面銅鉱, $(\text{Cu, Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$)

表1 第547～549潜航によって得られた南奄西海丘の
鉱石の化学分析値

Table 1 Chemical compositions of ores from the
Minami-Ensei Knoll during the "Shinkai
2000" Dives 547-549.

Ore Type	Siliceous	Massive	Clastic			
Sample	MES107	MES104	MES101	MES102	MES103	MES106
Zn (wt%)	4.93	16.22	16.99	8.18	6.83	23.71
Pb (%)	1.29	7.16	7.03	3.55	4.42	6.61
Cu (%)	0.89	2.65	2.41	1.05	0.86	0.87
Fe (%)	2.12	2.96	4.33	1.86	1.47	7.01
Mn (%)	tr	0.02	0.02	0.01	tr	0.03
Cd (%)	tr	0.09	0.07	0.03	0.03	0.09
Hg (%)	tr	tr	0.01	0.05	0.03	0.04
Sb (%)	tr	tr	0.01	tr	0.01	0.08
As (%)	tr	tr	0.04	tr	0.05	0.16
S (%)	4.70	11.98	14.21	10.33	5.51	20.53
Si (%)	39.23	24.64	21.03	31.09	31.47	17.63
Ba (%)	tr	tr	2.86	0.41	3.36	0.04
Au (ppm)	<0.1	<0.1	1.4	1.1	2.5	9.6
Ag (%)	54.0	38.0	239.4	42.2	56.5	113.8

Dive 547 : MES101, 102, 103, 104.

Dive 549 : MES106, 107

表2 南奄西海丘の硫化鉱物および硫酸塩鉱物の硫黄
同位体比

Table 2 Isotope compositions of sulfide and sulfate
minerals from the Minami-Ensei Knoll.

Sample	Py	Sp	Cp	Ga	Ah	Gp	Br	S
Siliceous MES107							+22.9	
MES111							+22.3	
Sulfate MES108					+21.6			
MES109					+21.4			
Massive MES104		+2.2	+1.9					
Clastic MES101	+2.1	+1.3		+0.3				
MES102								+0.8
MES106							+21.5	

Abbreviations: Py:pyrite, Sp:sphalerite, Cp:chalcopyrite, Ga:galena, Gp:gypsum,
Ah:anhydrite, Br:barite, S:sulfur

および tennantite (砒四面銅鉱, $(\text{Cu, Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$)
については表4に示した。

1) 珪質鉱石

南奄西海丘の鉱石は一般に SiO_2 に富んでいる
が、中でも湯の井チムニー近くの湧出口付近から
採取された MES 107は SiO_2 が83 wt%に達する鉱
石である (表1)。写真1に示したように塊状の
鉱石で、主要鉱物は直径が約0.05mm程度の等粒
状でモザイク状組織を示す quartz (石英, SiO_2)
である。この quartz は波動消光が顕著である。

他の鉱石に見られる末期の amorphous silica や
chalcedonic quartz とは性質が明瞭に異なる。鉱
石鉱物の量は比較的少なく Zn を約5 wt%含有す
る。quartz の中に sphalerite が散在するほか、少
量の chalcopyrite (黄銅鉱, CuFeS_2) や galena
(方鉛鉱, PbS), pyrite (黄鉄鉱, FeS_2) が存在
する。chalcopyrite は bornite (斑銅鉱,
 Cu_5FeS_4), chalcocite (輝銅鉱, Cu_2S), covellite
(銅藍, CuS) に変化している。粘土鉱物も含ま
れ X 線回折では kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) が若

表3 南奄西海丘の Sphalerite および wurtzite の化学組成

Table 3 Chemical compositions of sphalerite and wurtzite sulfide from the Minami-Ensei Knoll.

Sample	Min.	Zn	Fe	Mn	Cu	Cd	S	Total	
MES104-121 Sph	66.67	0.82	0.20	0.12	0.73	32.32	100.85		
MES104-122 Sph	65.53	0.68	0.17	0.15	0.56	32.45	99.53		
MES104-411 Sph	66.27	0.66	0.17	0.28	0.35	32.25	99.98		
MES104-412 Sph	65.18	1.27	0.21	0.46	0.68	31.99	99.77		
MES101-1 Sph	67.09	0.46	0.15	0.06	0.32	32.22	100.30		
MES101-2 Sph	66.69	0.48	0.15	0.08	0.33	32.40	100.12		
MES102-1 Sph	65.52	1.77	0.14	0.07	0.26	32.80	100.55		
MES102-2 Sph	64.77	2.42	0.20	0.11	0.22	32.82	100.54		
MES102-111 Sph	66.18	0.46	0.12	0.13	0.38	32.39	99.66		
MES102-112 Sph	65.92	0.50	0.15	0.10	0.56	32.20	99.42		
MES103-1 Sph	66.58	0.87	0.15	0.27	0.44	32.28	100.58		
MES103-2 Wurtz	66.24	1.11	0.12	0.44	0.39	32.57	100.87		
MES106-311 Wurtz	63.07	1.93	0.15	1.01	0.31	32.53	99.01		
MES106-61 Wurtz	66.40	0.65	0.04	0.13	0.31	32.36	99.89		
MES106-62 Wurtz	66.68	0.73	0.04	0.17	0.30	32.44	100.37		
MES106-91 Sph	65.12	0.94	0.15	0.83	0.23	32.55	99.81		
MES106-92 Sph	64.18	2.05	0.09	0.13	0.18	32.39	99.02		
Sample	Min.	Zn	Fe	Cu	Ag	Sb	As	S	Total
MES106-101 Rsp	56.84	0.15	4.14	1.55	6.14	0.23	30.68	99.73	
MES106-102 Rsp	56.87	0.14	4.30	1.72	6.16	0.26	30.16	99.60	

MES104 is massive ore, and others are clastic ores.
Abbreviations: Sph:sphalerite, Wurtz:Wurtzite, Rsp:Radial growth of sphalerite

表4 南奄西海丘の tetrahedrite および tennantite の化学組成

Table 4 Chemical compositions of tetrahedrite and tennantite from the Minami-Ensei Knoll.

Sample	MES101-32	MES106-62	MES106-61	MES106-32	MES106-31
Cu	36.96	43.75	45.72	47.19	48.94
Fe	0.55	1.55	1.23	2.76	2.69
Zn	7.31	0.70	0.53	1.36	0.63
Ag	2.64	0.36	0.28	tr	tr
Sb	23.86	23.26	19.70	0.10	tr
As	3.41	4.99	6.76	19.80	19.80
S	24.57	24.95	25.16	28.07	27.70
Total	99.30	99.56	99.38	99.28	99.76
Chemical Formulae (S=13.0)					
Cu	9.867	11.502	11.920	11.028	11.589
Fe	0.167	0.464	0.365	0.734	0.725
Zn	1.897	0.179	0.134	0.309	0.145
Ag	0.415	0.056	0.043	—	—
Sb	3.325	3.192	2.681	0.012	—
As	0.772	1.113	1.495	3.924	3.977

干認められる。写真9に示した鉱石の下方部も珪質鉱石である。写真1に示すように岩塊の周辺部は白色になっており、少量の stibnite (輝安鉱, Sb_2S_3) が沈殿している以外は硫化鉱物がほとんどなく, barite (重晶石, BaSO_4) が多くなる。またこの部分では γ 線強度が高く, 中心部がほぼ 0.01mR/H であるのに対し, 0.13mR/H に達する。barite はチムニーあるいはマウンドで形成さ

れた鉱石が一旦崩壊した後, それぞれの岩塊の表面に沈殿・付着したものである。barite の硫黄同位体比 $\delta^{34}\text{S}$ は +22.5‰ と +22.9‰ (表2) で, 黒鉱鉱石のそれに一致する (Sakai and Matsubaya, 1974)。

2) 硫酸塩を主とする鉱石

“やじり” チムニーは一旦は折れ, 翌日には再び 10~20cm 伸びる程度でかなり活発な熱水湧出で

ある。ここで採取した鉱石を写真2に示した。右側の薄い白色部は針状の anhydrite (硬石膏, CaSO_4) を主とする部分で、左側はそれよりも後で成長した anhydrite と gypsum (石膏, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、それに微粒の硫化鉱物から構成されている。空隙に富んだ鉱石で、anhydrite の結晶表面には sphalerite, chalcopyrite, galena の微細結晶 (1 ~ 5 μm) が付着している。や、大きい硫化鉱物の集合体は放射状に成長している。anhydrite と gypsum の硫黄同位体比は +21.4‰ と +21.6‰ で、珪質鉱石の周辺を構成する barite のそれよりもわずかに軽い。

3) 塊状鉱石

“たいまつ” チムニーの根元にはや、大型の鉱石が根元から列をなして転がっており、最近崩れたチムニーの岩塊と思われる。平均的化学組成は伊是名海穴のそれと類似している。珪質鉱石と同様 Zn に富んでおり、Zn:Pb:Cu の比は 6:3:1 程度である。脆弱な鉱石で写真3に示すように鉱石鉱物が偏在している。転石ではあるが、sphalerite と chalcopyrite を主とする部分は写真4に示すように樹枝状構造が極めて顕著で、成長の方向がよく分かる。このタイプの急成長相は、沖縄トラフの伊是名海穴で浦辺 (1989) や青木・中村 (1989)、森本ほか (1990) が記載しているものと類似する。これから判断すると写真3の下方が根元となる。

試料の下方は後述のように As 鉱物や pyrophyllite (葉鱗石, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) など後期に生成した鉱物もあるが、自形結晶の跡が残っている。結晶自身は消失しているものの、外形から anhydrite あるいは gypsum が溶脱したものと考えられる。この試料では硫酸塩鉱物が最初に来た鉱物であろうと考えられる。その上に樹枝状結晶が成長している。根元附近は粗粒の sphalerite からなり、徐々に chalcopyrite が多くなり、面積比でほぼ 1:1 になる。chalcopyrite disease (黄銅鉱病変) はあまりない。pyrite や galena, wurtzite は共生せず単純な鉱物組合せである。ただ樹枝状結晶の粒間の空隙に自形の anglesite (硫酸鉛鉱, PbSO_4) が成長している (写真5)。anglesite は黒鉱では報告されていないが、伊是名海穴でも報告されており (森本ほか, 1990)、

背弧海の熱水鉱床には不偏的に存在するようである。共生している sphalerite と chalcopyrite の $\delta^{34}\text{S}$ はそれぞれ +2.2‰ と +1.9‰ であった (表2)。これから求めた平衡温度は約 350℃ となる。この値は熱水の実測値よりも高く、当地域の水深では沸騰を起こしていたことになる。さらに検討を要するが、後述の碎屑鉱石同様、黒鉱鉱石の $\delta^{34}\text{S}$ のバリエーションの中ではかなり軽いものと一致し、黒鉱鉱床上部のそれと類似する (Kajiwara, 1971)。

sphalerite と chalcopyrite の樹枝状結晶の密集する部分に直径 2 ~ 4 mm の galena の集合体が点在する。この galena は骸晶をなして成長し、しかもどの galena も変質作用を受けて分解しており、周辺には不規則微粒の anglesite が生成している (写真6)。また一部には cerussite (白鉛鉱, PbCO_3) が生成している。この産状は galena と sphalerite-chalcopyrite の樹枝状結晶は共生していないことを示唆している。写真3の試料中に黒く見える部分は、galena から変ったと思われる anglesite と cerussite の集合体である。

この試料には As 鉱物と pyrophyllite, quartz が存在する (写真3の下方の赤橙色部)。sphalerite や galena を切断しており、明らかに後期に生成している。ここでは anhydrite あるいは gypsum の自形結晶が溶脱した跡もある。

この試料での生成順序は、anhydrite や gypsum の成長に続いて、galena の骸晶、sphalerite から sphalerite-chalcopyrite の樹枝状結晶と anglesite の成長、As 鉱物を含む pyrophyllite-quartz が生成した。galena が anglesite や cerussite に変質したのはいつかは明瞭でない。pyrophyllite の報告は沖縄トラフでははじめてで、300℃ 以上の高温の熱水を想定しなければならない。

4) 碎屑鉱石

“たいまつ” チムニー周辺のマウンドから採集した直径 5 ~ 20 cm 程度の岩塊で、Zn を最大 23% まで含む礫質の亜鉛・鉛鉱石である。表1に示すように既に述べた鉱石と同様に Zn に富み、金の多い点が特徴である。また Zn:Pb:Cu の比はほぼ一定で 8:4:1 程度である。これは伊是名海穴のそれに類似するが、それよりも銅含有量は低い。Ag は最大 300 ppm で伊是名に較べやや低く、

Au/Ag 比が0.08に達する。写真7に示したように、岩塊の周辺部は白色化していて barite を多く含む。また γ 線強度が中心部 (ほぼ0.01 mR/H) よりはるかに高い (最大0.23mR/H)。この鉱石には空洞がしばしば見られる。写真9は同じ碎屑鉱石に分類した MES 102の断面を示した。岩塊の下部を構成する白色の部分は既に述べた珪質鉱石で、その上に認められる層状をなす白色鉱物は自然硫黄である。

碎屑鉱石は前述の塊状鉱石とはかなり異なる鉱物組織を持つ。写真8に示したように岩塊の内部は概略一様で碎屑岩の組織を示す。フラグメントの大きさは直径が最大5 mm, 平均約0.5mm で、sphalerite, galena, chalcopryrite, pyrite などの硫化鉱物の破片や自形結晶のほか、quartz, plagioclase (斜長石, $(Ca, Na) AlSi_3O_8$), ilmenite (チタン鉄鉱, $FeTiO_3$) などの火山岩起源の鉱物破片、熱水起源の粘土鉱物の集合体の破片などからなる。また写真10には、MES 102で見られる sphalerite-chalcopryrite の樹枝状結晶や破片を核として、粘土鉱物がコロホーム状に成長している部分を示したが、同一の試料の中に写真8に示す組織も混在する。

sphalerite は概して無色透明で、一部黄色ないし淡褐色を呈する。また、少量ではあるが wurtzite が産出する。比較的大きな破片が多い。表2に示したように両者共 1 ~ 3 mol% の FeS を含む。一部の sphalerite は樹枝状の外形を示すが、塊状鉱石中の樹枝状結晶と異なりその内部には主に galena を含む (写真11)。chalcopryrite disease は粒子の周辺部ないし割れ目に沿って分布し、そのような sphalerite の周辺には chalcopryrite, pyrite, tetrahedrite, tennantite などの微小結晶が多い。表3に示したように tetrahedrite は Ag を 3 wt% 近く固溶するが、tennantite は Ag を含まない。galena の粒子は sphalerite 中に含まれる以外、破片として産出したり、(111) 方向に伸びた骸晶としても産出する (写真12)。また一旦形成された galena が再び溶解している現象も観察され、周辺部あるいはへい開面に沿って angle-site が形成されている。chalcopryrite の破片も存在するが、sphalerite と共生して、あるいは粒子の周辺に tetrahedrite, tennantite, galena 等と共

に微粒の pyrite を包有して産出する。pyrite は微細な結晶ばかりでなく自形結晶もよくみられ、周辺部に Sb が異常に濃集して累帯構造を示す場合がある。後期の変質の可能性が高い。一部0.1~2 mm 径のコロホーム状 pyrite も観察され、chalcopryrite, sphalerite, pyrite, covellite, chalcocite などに変化している (写真13)。MES 101の pyrite と sphalerite, galena の硫黄同位体比は各々+2.1‰, +1.3‰, +0.3‰である (表2)。塊状鉱石同様、黒鉱鉱床上位層に相当する軽い硫黄から構成されている。但し、同位体温度計を適用しても妥当な数値は得られない (galena や pyrite からの S_2O ガスの収率から sphalerite の混在を補正しても、生成温度は450℃を越える)。galena, sphalerite, pyrite の順に時期を違えて晶出したことを示唆しているのかもしれない。

quartz や plagioclase, ilmenite, 粘土鉱物の集合体の破片は、マウンドの周辺の石英安山岩質~流紋岩質の軽石との類似性から、火山岩起源と考えられる。石英の破片の周辺には、波動消光を示すモザイク状石英 (直径10~20 μ m) が形成されている場合がある。plagioclase は Na に富む。また ilmenite は周辺部が酸化されて rutile - pseudobrookite (偽板チタン石, Fe_2TiO_5) - pyrite の組合わせに変化している。これ以外に、モザイク状組織を示す quartz の集合体やコロホーム構造を示す粘土鉱物の集合体の破片も認められる。

マトリックスの部分には stibnite, pyrite, realgar (鶏冠石, AsS), および barite が成長している。また robinsonite ($Pb_6Sb_{10}S_{21}$) と微細な galena の集合体が認められるほか、短冊状の微細な sphalerite が放射状に形成され (写真14)、表3に示したように多量の Sb, Cu, Ag などを含む。さらに Sb などの不純物を含んだフランボイド状の pyrite が産出する。これらの鉱物を覆って空隙の内側には chalcedonic quartz の沈殿が見られる。MES 102には空隙を native sulfur が充填している。

このように碎屑鉱石には種々の段階に形成された鉱物を含んでいる。塊状鉱石中の pyrophyllite や硫黄同位体比からはいずれも当地域では沸騰を起こす程度の温度が推定され、ある段階では相当

激しい爆発があったと考えられる。ところが sphalerite の大型破片中の流体包有物からは沸騰現象はなさそうで、硫化鉱物の破片の多くは爆発前に海底面下で沈殿したと考えられる。また galena の骸晶や樹枝状結晶をなす sphalerite-galena (=chalcopyrite) は、熱水が海水と接触する熱水湧出部で生成しやすいが、また熱水が沸騰・爆発を起こした時には地下でもできると思える。コロホーム構造の粘土鉱物などは、海底面でチムニーを構成していたものが取り込まれたのであろう。これらが爆発によって碎屑鉱物のフラグメントとなった。沈殿の後、その周りには再び熱水性の粘土鉱物などが沈殿し、コロホーム構造が成長していったものであろう。海中での浮遊時間の長かった粒子は、その周囲に粘土鉱物がコロホーム構造をなして海底に沈殿したかもしれない。一部ではその後も熱水活動は続き、写真11に示した sphalerite と galena の樹枝状結晶とその周囲のコロホーム状粘土鉱物が添加した。さらに pyrite, stibnite, realgar が沈殿し、熱水の勢いが弱くなった時点で chalcedonic quartz やフランクボイド組織を持つ硫化鉱物が沈殿したと解釈される。この様にしてできた碎屑岩様鉱物が再び壊れ、最後に岩塊の周辺部や空洞に barite の形成や自然硫黄の付着があったと思われる。

3. ま と め

当地域の熱水は伊是名海穴のそれに類似するものの、その溶存元素含有量はそれよりやや低く、鹿児島湾の“たぎり”に比べるとかなり高い。このことは海底面での圧力や酸化還元状態によって熱水の化学組成が規制されており、初生の熱水は海底に噴出するまでに、既に sphalerite や wurtzite, galena, chalcopyrite などを沈殿していると思われる。一方海底面ではチムニーを形成しながら、quartz あるいは硫酸塩鉱物の沈殿に始まり、硫化物の樹枝状結晶や骸晶が沈殿し、次第に熱水活動が衰退して低温性の鉱物組合せに変わっていった。深所から高温の熱水が供給されると、容易に沸騰を起こし爆発的噴出によって地下の鉱石やチムニーを構成する鉱物が破碎され、碎屑鉱物ができたと考えられる。このような碎屑組織を持つ鉱石の中に、新たな硫化物の樹枝状結晶や骸

晶が沈殿している現象は、海底における熱水活動が盛衰を繰り返していることを物語っている。現在マウンドでは熱水と海水との反応によって barite が形成され、崩壊した岩塊の表面に付着している。碎屑組織や低い硫黄同位体比、Zn と Pb を主とすること、高い Au/Ag 比、iso-cubanite や pyrrhotite などが見つからないことも含め当地域の鉱石の鉱物組成と組織は黒鉱鉱床上部のそれによく似ている。

謝 辞

鹿児島湾の調査に際しては海洋科学技術センターの多くの方々にお世話になった。また室内実験において、東北大学林謙一郎博士に硫黄の同位体分析をして頂いた。EPMA 分析では鹿児島大学 X 線マイクロアナライザー室の新山透氏に援助して頂いた。記して謝意を表す。

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, 第 5 回「しんかい 2000」研究シンポジウム報告書, 197-210.
- HALBACH, P., NAKAMURA, K., WAHSNER, M., LANGE, J., SAKAI, H., KASELITZ, L., HANSEN, R.D., YAMANO, M., POST, J., PRAUSE, B., SEIFERT, R., MICHAELIS, W., TEICHMANN, F., KINOSHITA, M., MARTEN, A., ISHIBASHI, J., CZERWINSKI, S. and BLUM, N., 1989, Probable modern analogue of Kuroko-type massive sulphide deposits in the Okinawa Trough back-arc basin. *Nature*, 338, 496-499.
- 橋本 惇・藤倉克則・堀田 宏, 1990, 南奄西海丘における深海生物群集の観察, 第 6 回「しんかい 2000」研究シンポジウム報告書, 167-178.
- Kajiwar, Y., 1971, Sulfur isotope study of the Kuroko-ores of the Shakanai No. 1 deposits, Akita Prefecture, Japan. *Geochem. J.*, 4, 157-181.
- Kimura, M., Ueda, S., Kato, Y., Tanaka, T., Yamano, M., Gamo, T., Sakai, H., Kato, S., Izawa, E.

- and OOmori, T., 1988, Active hydrothermal mounds in the Okinawa Trough backarc basin, Japan. *Tectonophysics*, 145, 319-324.
- 森本浩志・北風嵐・浦辺徹郎・大本 洋, 1990, 沖縄トラフ伊是名鉱床の鉱物組成及び組織の多様性, 三鉱学会講演要旨集, 144.
- Sakai, H. and Matsubaya, O., 1974, Isotope geochemistry of the thermal waters of Japan and its bearing on the Kuroko ore solutions. *Econ.Geol.*, 69, 974-991.
- 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—, 第5回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 191-196.

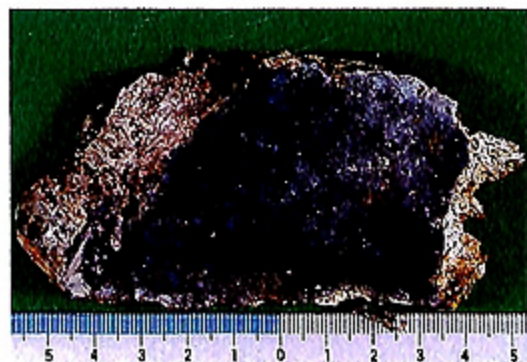


写真1 珪質鉱石 (MES 107) の切断面。周囲の白色の部分は硫化鉱物が消失し barite が生成している。

Photo. 1 Cross-cut surface of siliceous ore (MES 107). Small grains of sphalerite, chalcopyrite and galena occur in mosaic quartz. The white rim is composed of barite and quartz without sulfides.

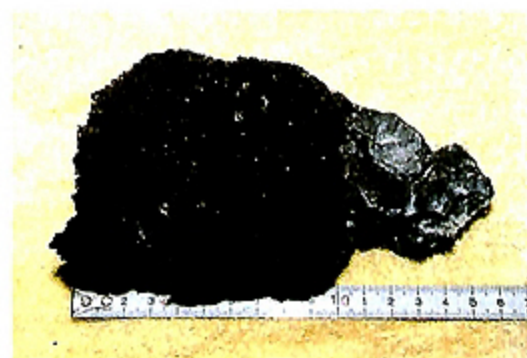


写真2 硫酸塩鉱物に富む鉱石 (MES 108)。右のやや白味を帯びた部分は先に沈殿した anhydrite で、左の暗色部は anhydrite と gypsum が成長している。暗色は微細な硫化鉱物が anhydrite の表面に沈殿していることによる。

Photo. 2 Sulfate rich ore (MES108) . The white colored right side of samples is composed of fabric anhydrite, and the main darker part is composed of anhydrite and gypsum covered by fine grains of sulfide minerals.

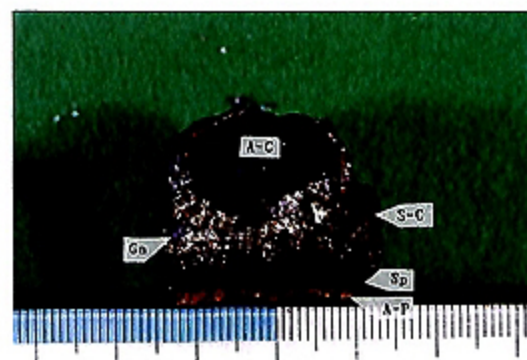


写真3 塊状鉱石 (MES 104)。試料は As 鉱物と pyrophyllite (A-P) , sphalerite (Sp) , sphalerite-chalcopyrite (S-C) , galena (Ga) および anglesite-cerussite (A-C) よりなる。

Photo. 3 Massive ore (MES 104) . The sample is composed of As minerals and pyrophyllite (A-P), sphalerite rich part (Sp) , sphalerite-chalcopyrite rich part (S-C) , galena (Ga) and anglesite and cerussite mixture (A-C) .

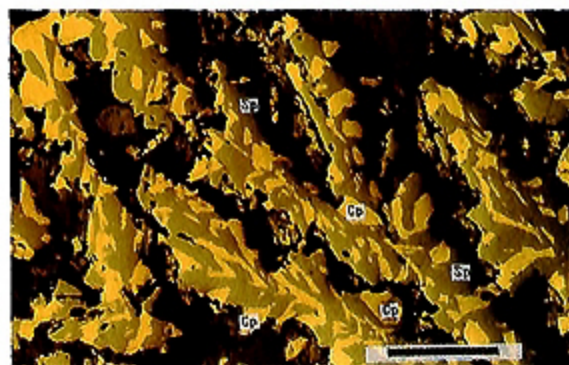


写真4 塊状鉱石 (MES 104) 中の sphalerite-chalcopyrite 樹枝状結晶。

Photo. 4 Dendritic growth of sphalerite and chalcopyrite in the massive ore (MES 104) . Abbreviations: Sp; sphalerite, Cp; chalcopyrite. Scale is 0.3 mm long.

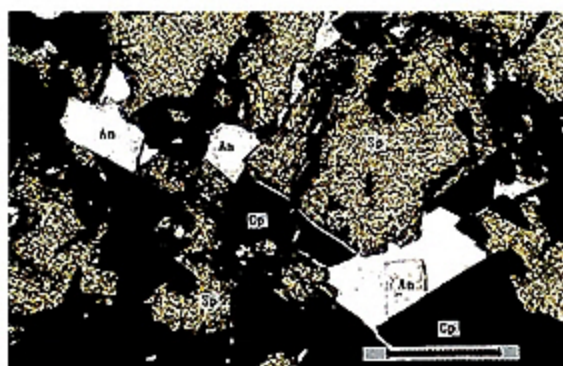


写真5 塊状鉱石 (MES 104) 中で sphalerite-chalcopyrite 樹枝状結晶の粒間に成長した anglesite の自形結晶

Photo. 5 Euhedral anglesite in the open space between dendritic sphalerite-chalcopyrite intergrowths in the massive ore (MES 104). The abbreviation 'An' represents anglesite, and the others are same as those in Photo. 4. Scale is 0.3 mm long.

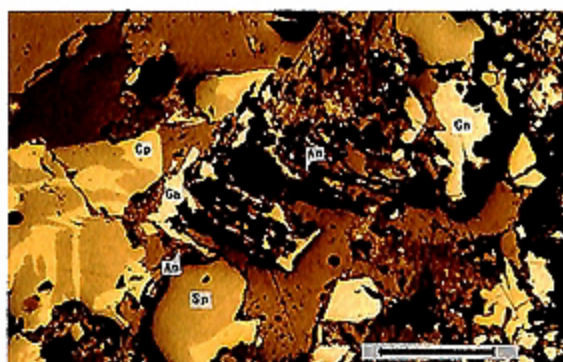


写真6 塊状鉱石 (MES 104) 中で anglesite に変質している galena の骸晶

Photo. 6 Skeletal galena crystal altered to anglesite in the massive ore (MES 104). The abbreviation 'Ga' represents galena, and others are same as those in Photo. 5. Scale is 0.3 mm long.

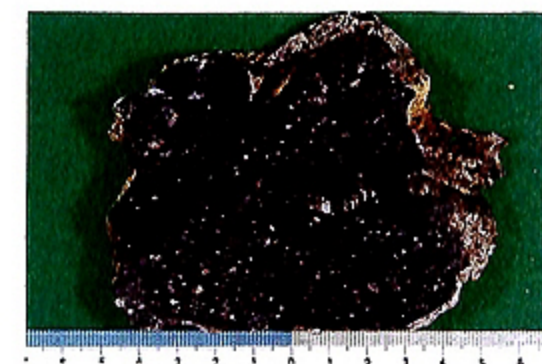


写真7 碎屑鉱石 (MES 106) の切断面。周囲の白色部は barite が、また空隙は barite と amorphous silica, 粘土鉱物が埋めている。

Photo. 7 Cross-cut surface of clastic ore (MES 106). Barite occurs in the white colored rim, and barite, amorphous silica and clay minerals occur in the cavities.

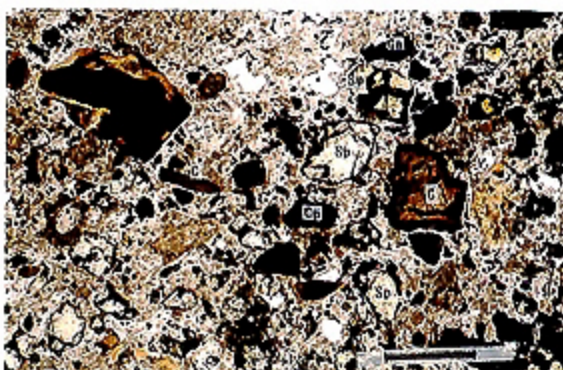


写真8 碎屑鉱石 (MES 106) の顕微鏡写真。フラグメントは chalcopyrite disease をもつ sphalerite, galena, chalcopyrite, コロホーム組織の粘土鉱物から構成される。

Photo. 8 Microscopic photograph showing clastic texture in MES 106. The fragments are composed of sphalerite with chalcopyrite disease, chalcopyrite, galena and colloform clay minerals. The abbreviation 'C' represents clay minerals, and others are same as those in Photo. 6. Scale is 1.0 mm long.

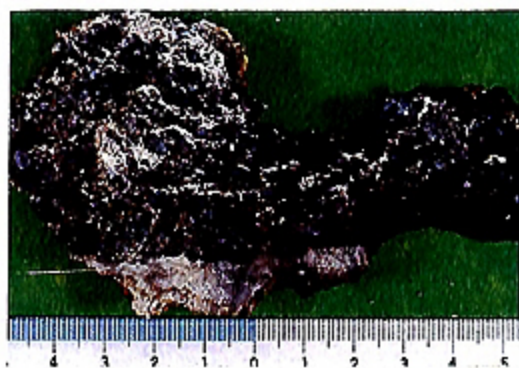


写真9 碎屑鉱石 (MES 102) の切断面。下方の白色部は珪質鉱石で縞状に見える上部の白色部は硫黄。

Photo. 9 Cross-cut surface of clastic ore (MES 102). The lower white part of sample is siliceous ore, and the white layers in the upper part are native sulfur.

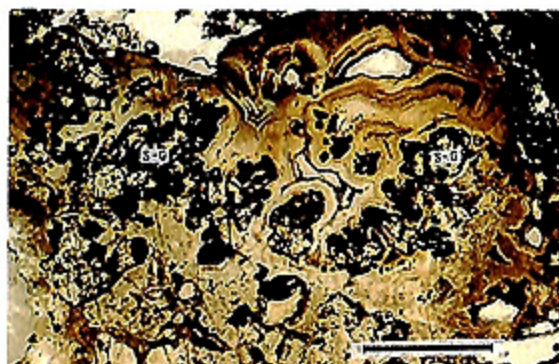


写真10 碎屑鉱石 (MES 102) の顕微鏡写真。コロホーム組織を示す粘土鉱物と、その中心にある sphalerite と galena の樹枝状結晶。

Photo. 10 Microscopic photograph of the clastic ore MES 102 in which dendritic sphalerite-galena crystals are enclosed by colloformal clay minerals. The abbreviation 'S-G' represents sphalerite-galena intergrowth. Scale is 1.0 mm long.

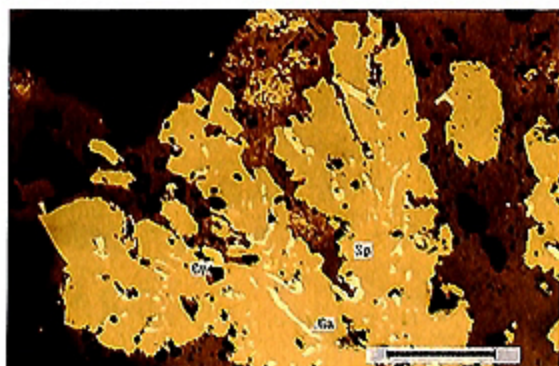


写真11 碎屑鉱石 (MES 101) 中の sphalerite-galena 樹枝状結晶

Photo. 11 Microscopic photograph of dendritic growths of sphalerite and galena in the clastic ore (MES 101). The abbreviations are same as those in Photo. 6. Scale is 0.3 mm long.

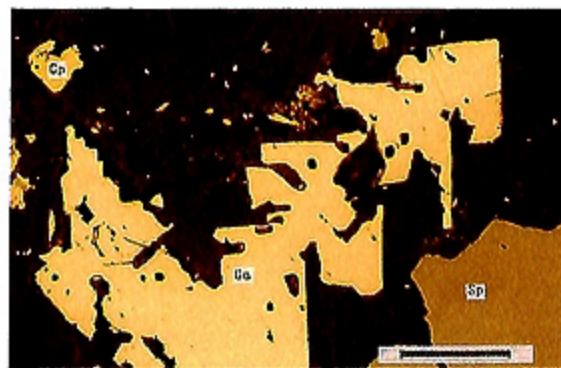


写真12 碎屑鉱石 (MES 101) 中での galena の骸晶

Photo. 12 Microscopic photograph of a skeletal crystal of galena in the clastic ore (MES 101). Abbreviations are same as those in Photo. 6. Scale is 150 μ m long.

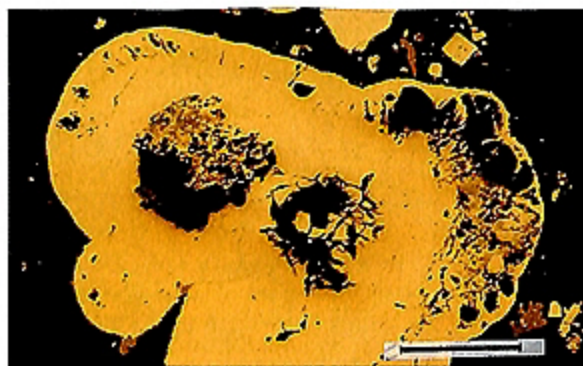


写真13 碎屑鉱石 (MES 101) 中でのコロホーム状 pyrite。中心部には chalcopyrite, chalcocite, covellite が、右方の周辺部には sphalerite と galena が二次的に生成している。

Photo. 13 Microscopic photograph of colloformed pyrite of which the central part has changed to changed to chalcopyrite, chalcocite and covellite, and the marginal part has changed to sphalerite and galena, in the clastic ore (MES101) . Scale is 0.3 mm long.

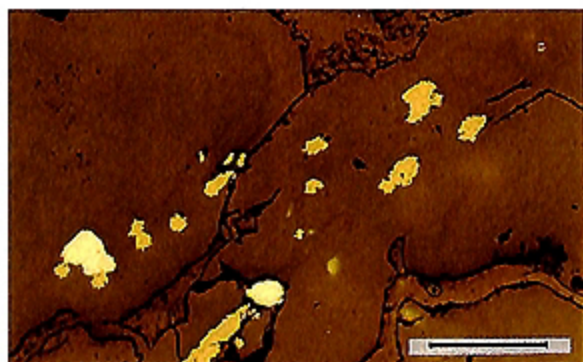


写真14 碎屑鉱石 (MES 101) 中で放射状に成長した Sb-Ag sphalerite。明るい鉱物は pyrite。

Photo. 14 Radial growth of Sb-Ag sphalerite in amorphous silica in the clastic ore (MES 106) . The bright minerals are pyrite. Scale is 75 μ m long.