

沖縄トラフ伊平屋海嶺の 熱水性炭酸塩チムニー

井沢英二^{*1} 本村慶信^{*2} 田中武男^{*3} 木村政昭^{*4}

1988年、「しんかい2000」の Dive 366により、沖縄トラフの伊平屋海嶺で発見された熱水性チムニーマウンドは、炭酸塩鉱物から構成され、海底熱水鉱床には例を見ないものである。構成鉱物について光学顕微鏡、X線回折、EPMA等によって検討した結果、炭酸塩鉱物と種々の鉱染状硫化物が見出された。

硫化鉱物は細粒で、炭酸塩鉱物の粒間や空隙に産する。主にウルツ鉱、磁硫鉄鉱、方鉛鉱からなり、アイソキューバナイトー黄銅鉱共生体、輝銀鉱、鶏冠石が認められた。ウルツ鉱は著量のマンガン・鉄を含むことが特徴である。炭酸塩鉱物は、マンガン方解石、クツナホラ石、菱マンガン鉱の組成領域にまたがる広い範囲にある。熱水に付加されたマグマガスがCO₂に富んでいたことが、炭酸塩マウンドチムニーの生成に必要な条件であったと考えられる。

Hydrothermal carbonate chimneys in the Iheya Ridge of the Okinawa Trough

Eiji IZAWA^{*5} Yoshinobu, MOTOMURA^{*6}
Takeo, TANAKA^{*7} Masaaki, KIMURA^{*8}

Hydrothermal carbonate chimneys/mounds were discovered by dive research of the "SHINKAI 2000" (Dive 366) in September, 1988 in the Iheya Ridge of the Middle Okinawa Trough. Detailed mineralogical studies show unique characteristics of this carbonates.

The carbonate chimney/mound consists of manganoan calcite and rhodochrosite with a small amount of sulfides, including wurtzite, pyrrhotite, galena, isocubanite-chalcopryite, argentite and realgar. Wurtzite contains a large amount of manganese and iron.

It is considered CO₂ rich magmatic gas and Mn rich basement may contribute the formation of this unique precipitation of hydrothermal Mn carbonates.

-
- * 1 九州大学工学部
 - * 2 九州大学理学部
 - * 3 海洋科学技術センター
 - * 4 琉球大学理学部
 - * 5 Faculty of Engineering, Kyushu University
 - * 6 Faculty of Science, Kyushu University
 - * 7 Deep Sea Research Department, JAMSTEC
 - * 8 College of Science, University of Ryukyus

1. はじめに

「しんかい2000」の第366潜航（観察者・田中武男：1988年9月12日）により、沖縄トラフ伊平屋海嶺で熱水性炭酸塩チムニーマウンドが発見された（田中ほか，1989）。このような炭酸塩鉱物から構成される熱水性チムニーマウンドは、海底熱水鉱床に例を見ないものである。構成鉱物の概略についてはこれまでも報告した（田中ほか，1989；木村他，1989）が、新たに詳細な分析を行った結果、炭酸塩鉱物とこれに伴われる硫化鉱物の特異性が明らかになったので報告する。

2. 伊平屋海嶺の熱水活動

熱水性炭酸塩チムニーマウンドは、沖縄トラフ伊平屋海凹中軸部を東北東—西南西に走る伊平屋海嶺で発見された（図1）。熱水活動域は、海

嶺東部稜線の北西側斜面にある平坦部（北緯27°32.65′東経126°58.13′）にあり、水深は1400mである。付近は、枕状玄武岩やその角礫岩の露出した小丘に囲まれている。この熱水域の東方約17kmには、1986年7月に水酸化鉄マウンドが発見された「なつしま84-1海丘」（Kimura et al., 1988）があり、また南南東35kmには、1988年6月にゾネ号による調査で発見された伊是名海穴の硫化物鉱床（Halbach et al., 1989）がある。これら両地域には、デイサイト質の火山岩が分布していて、玄武岩からなる伊平屋海嶺地域とは対照的である。

伊平屋海嶺地域の活発な熱水現象は、100m×50mあるいは直径数10m程度の何ヶ所かのせまい範囲に限られるが、周辺1km前後の範囲で熱水のしみ出し、熱水沈殿物が認められ、生物が点在

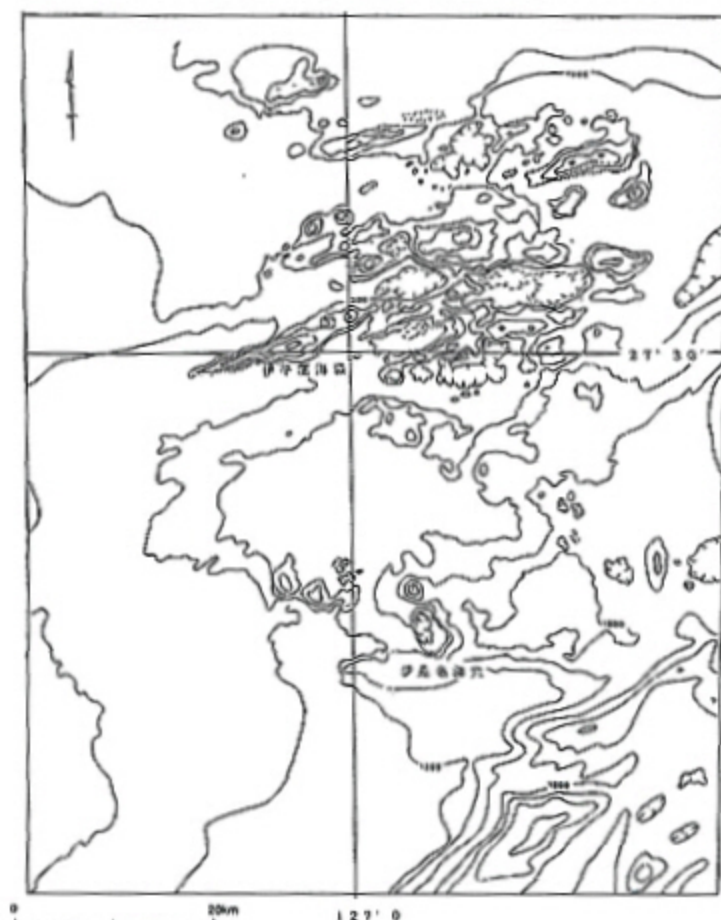


図1 伊平屋海嶺位置図

Fig. 1 Location of the Iheya Ridge.

している。各所に熱水沈殿物からなるマウンド状の高まりがあり、割れ目から熱水が噴出している。マウンド上に更にチムニー様の突起が認められることがある。マウンドから噴出する熱水の温度は、数10℃から220℃に達する（田中ほか、1989）。

3. 試料と分析方法

熱水性炭酸塩沈殿物の試料は、第366潜航のSt. 2とSt. 3で採取された。このうちSt. 3においてはチムニー状の突起が認められ、根元の穴から噴出する熱水は、200℃の温度を示した。このチムニーから得た2試料のうち試料366-3-Aは、熱水噴出口付近のもので、わずかに桃色味を帯びた白色緻密な炭酸塩である。また、試料366-3-D（写真1）はチムニー側面の皮殻部で、小柱状（繊維状）～緻密な白色炭酸塩からなり、表面は黒褐色皮殻に覆われている。この2つの試料は、マンガン方解石を主とし硫化鉱物に乏しい。

マウンド表面から採取した試料366-2および366-3-B,Cは、多孔質粗鬆な桃白色の珪質炭酸塩からなり、鉱染状黒色硫化鉱物に富む。試料表面は黒色皮殻に覆われている（写真2）。

炭酸塩マウンド周辺には、玄武岩溶岩の岩片や

火山ガラスからなる火山砂が非晶質シリカでセメントされて平板状に固結した面を作っている。このような平板状岩石が2か所で採取された（試料367-2および368-1-2）（写真3）。

炭酸塩マウンドーチムニーおよびセメントされた火山砂の化学組成を蛍光X線分析によって検討した。構成鉱物については、光学顕微鏡、X線回折、EPMA（JOEL-JXA-733）等によって調べた。

4. 熱水性炭酸塩チムニーの化学組成と構成鉱物

蛍光X線分析によって試料の総化学組成の特徴が得られた（表1）。チムニー試料（366-3-D）はマウンド試料（366-2および366-3-C）に比べシリカ、マンガン、鉄、重金属に乏しく、CaOに富んでいる。ただし、マウンド試料（366-3-B）でもチムニー試料と類似した組成を示すものがある。

セメントされた火山砂は、玄武岩質の物質が主な構成粒子であるにもかかわらずシリカに富む組成を示す。これは、軽石（デイサイト質？）や起源不明の石英粒子が混在していることと、セメント物質が非晶質シリカであることによる。熱水活動の中心部には、マンガン炭酸塩の沈殿が起こっ

表1 熱水性炭酸塩チムニー・マウンドおよびセメントされた火山砂の化学組成

Table 1 Bulk composition of hydrothermal carbonate chimneys/mounds and cemented volcanic sand

	366-2	366-3-B	366-3-C	366-3-D	367-2	368-1-2
(wt. %)						
SiO ₂	50.6	4.2	25.9	8.8	82.3	86.6
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.38
Al ₂ O ₃	0.17	0.03	0.08	0.06	8.4	6.6
Fe ₂ O ₃	0.96	1.4	3.1	1.4	3.5	2.8
MnO	25.8	11.6	25.3	14.8	0.08	0.06
MgO	0.16	0.06	0.08	0.05	1.0	0.72
CaO	3.2	42.1	17.9	36.7	3.3	2.0
Na ₂ O	0.46	0.28	0.25	0.02	1.8	1.3
K ₂ O	0.08	0.03	0.02	0.04	1.0	1.0
P ₂ O ₅	0.02	0.01	0.00	0.01	0.07	0.06
Total	81.45	59.71	72.63	61.88	101.89	101.52
(ppm)						
S	5590	2300	9340	6730	2760	1620
Cl	2660	3270	1690	3080	1840	1820
Cu	170	94	560	27	<10	<10
Zn	970	250	7960	390	57	36
Pb	540	720	5650	290	<10	41
Ag	420	88	250	71	<10	<10
Sb	700	<10	440	<10	<10	<10
As	140	<10	660	<10	28	520
Hg	65	<10	<10	74	<10	<10
Ba	<10	<10	560	<10	<10	<10
Rb	<10	<10	<10	<10	23	38
Sr	<10	27	<10	30	72	55
Zr	<10	<10	<10	<10	49	39

ているが、周辺の低温熱水の浸出地域には、マンガンは付加されず、シリカの沈殿が見られるだけである。このような地域にも砒素は特異的に検出される。

構成鉱物については、光学顕微鏡、X線回折、EPMA等によって検討した結果、炭酸塩沈殿物からは、 CaCO_3 - MnCO_3 系の炭酸塩鉱物と種々の鉱染状硫化物が見出された。

チムニー試料366-3-A、Dの炭酸塩鉱物は、 MnCO_3 8~20mol%のマンガン方解石である(写真4, 5)。これにたいしマウンドから採取された試料366-3-Cの主鉱物は菱マンガン鉱で、化学組成は、 MnCO_3 29~81mol%とマンガン方解石、クツナホラ石、菱マンガン鉱の組成領域にまたがる広い範囲にある。この菱マンガン鉱は、顆粒状非晶質シリカ中に樹枝状に産し、その沈殿・成長が過飽和度の高い条件で急速に進行した可能性を示している(写真6, 7)。炭酸塩鉱物の代表的な分析値を表2に示す。

表2 炭酸塩鉱物の化学組成 (EPMA 分析結果)
Table 2 Microprobe analyses of carbonate minerals

試料番号	CaO	MnO	FeO	SiO ₂	CO ₂	Total
366-3-A-6	51.81	6.63	0.01	0.25	41.30	100.00
366-3-B-18	52.29	6.14	0.18	0.08	41.41	100.00
366-3-C-10	16.52	42.01	0.37	0.11	40.99	100.00

硫化物鉱物は細粒(粒径数10~数100 μm)で、炭酸塩鉱物の粒間や空隙に産する(写真8)。主にウルツ鉱、磁鉄鉱、方鉛鉱からなり、アイソキューバナイト-黄銅鉱共生体、輝銀鉱、鶏冠石が認められた。ウルツ鉱は著量のマンガン・鉄を含むことが特徴である(表3)。各試料とも、空隙部に非晶質のシリカが生成しているのが観察された。また、チムニー、マウンドのいずれも海水と接している部分には薄い酸化皮膜を生じ、試料366-3-Dでは主に7Aマンガンネイト(バーネス鉱)、試料366-3-Cでは10Aマンガンネイト(藤石)

表3 ウルツ鉱の化学組成 (EPMA 分析結果)
Table 3 Microprobe analyses of wurtzite

試料番号	Fe	Zn	Mn	S	Total
366-3-A-20	24.68	26.86	11.42	36.07	99.03
366-3-B-2	17.01	34.61	12.17	36.17	100.16
366-3-C-10	21.95	10.13	31.94	36.55	100.57

が認められた。

火山砂は、原物質の火山ガラス・斜長石・輝石・かんらん石・石英のほか、熱水から沈殿した非晶質シリカと砒素-硫黄鉱物が見いだされた。また、石膏も生成していた(写真9)。

5. 炭酸塩沈殿物の成因

伊平屋海嶺の200℃を超える熱水の噴出により、マンガンに富む炭酸塩の沈殿が起こっている。炭素の同位体組成 $\delta^{13}\text{C}$ (‰ PDB) として、試料366-3-A、C、Dについて-4.6~-6.6(木村ほか, 1989)、熱水中の CO_2 について-4.4 (Sakai et al., 1990) が得られている。Sakai et al. (1990)は CO_2 は、島弧的な安山岩あるいは酸性マグマからもたらされたものと推定している。仲ほか(1989)もまた、伊平屋海嶺の火山岩を噴出したマグマは揮発性成分とくに CO_2 に富んでいた可能性を述べている。

問題は、マンガンの源である。伊平屋海嶺付近の基盤岩に層状マンガン鉱床を含む中・古生層があって、そこを通った熱水がマンガンに富むようになることも考えられる。あるいは、伊平屋海嶺の玄武岩の底面には基盤上面に比較的厚い泥質の堆積物があり、深部熱水からは泥の中に硫化物が沈殿している可能性はないであろうか。マンガンと少量の重金属、シリカを含む残余の熱水が更に上昇して、 CO_2 に富む表層部で炭酸塩を沈殿させたと考えるのである。

チムニー試料の総化学組成はマウンド試料に比べシリカ、マンガン、鉄、重金属に乏しく、CaOに富んでいる。これは、チムニー試料を構成する炭酸塩鉱物がマンガン、鉄に乏しく、CaOに富んでいることを反映している。ウルツ鉱もまた、チムニー産のものはマンガンに乏しい。チムニー形成時に熱水と海水との混合が進行し、希釈された熱水からカルシウムに富む炭酸塩が沈殿したものであろう。なお、熱水活動が衰えた後も、マウンド下部からは低温の熱水によってシリカの供給は続き、次第にマウンドはシリカに富むようになると思われる。

参考文献

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.
- 木村政昭・田中武男・許正憲・安藤雅孝・大森保・井沢英二・嘉川郁朗, 1989, 「しんかい2000」による沖縄トラフ中部熱水域の地形・鉱床・生物の観察, 海洋科学技術センター試験研究報告, 第5回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 223-244.
- Kimura, M., Uyeda, 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.
- 仲二郎・深海調査グループ, 1989, 沖縄トラフ中軸部, 伊平屋海嶺の火山噴出物, 海洋科学技術センター試験研究報告, 第5回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 245-257.
- Sakai, H., Gamo, T., Kim, E-S., Shitashima, K., Yanagisawa, F. and Tsutsumi, M., 1990, Unique chemistry of the hydrothermal solution in the mid-Okinawa Trough Backarc Basin, *Geophysical Research Letters*, 17, 2133-2136.
- 田中武男・満澤巨彦・堀田宏, 1989, 沖縄トラフ伊平屋小海嶺東部の1988年潜航調査について, 海洋科学技術センター試験研究報告, 第5回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 267-281.

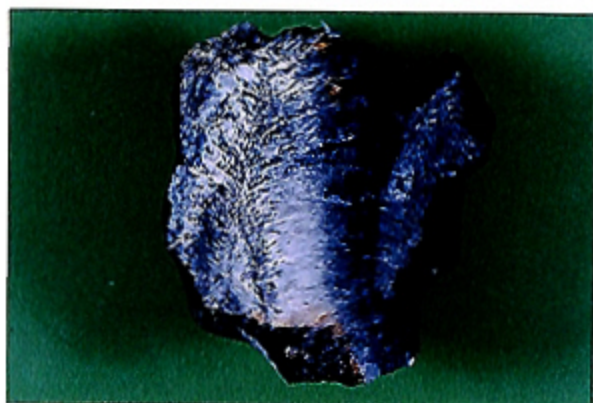


写真1 炭酸塩チムニー試料の切断面 (試料366-3-D)。白色部はマンガン方解石, 黒色部は二酸化マンガンを富む。試料長径5 cm。

Photo 1 Cross-cut surface of a sample from carbonate chimney (sample 366-3-D).

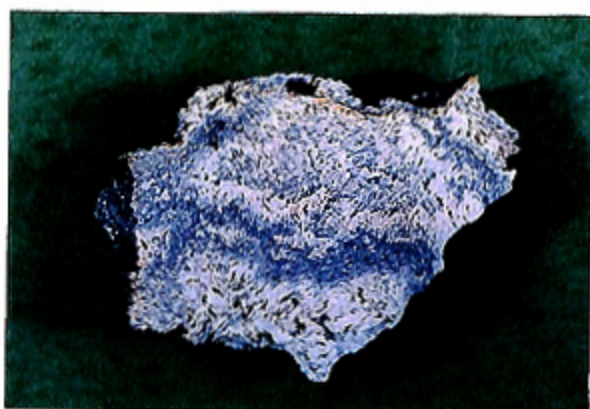


写真2 炭酸塩マウンド部の試料の切断面 (366-3-B)。桃白色部は菱マンガン鉱, 鉱染状暗色部は硫化鉱物, 褐色縞状部は砒素硫化物よりなる。表面に二酸化マンガンを富む皮膜が認められる。試料長径5 cm。

Photo 2 Cross-cut surface of a sample from carbonate mound (sample 366-3-B).



写真3 非晶質シリカでセメントされた火山砂試料の切断面 (試料368-1-2)。暗色部は非晶質シリカ, 白色部は石膏に富む。赤褐色部は砒素硫化物よりなる。試料長径5 cm。

Photo 3 Cross-cut surface of silica-cemented volcanic sand (sample 368-1-2).



写真4 炭酸塩チムニー試料薄片の透過顕微鏡写真 (試料366-3-D)。粗粒マンガン方解石 (Mc) 中に鉱染する硫化鉱物。写真長辺 1.8mm。

Photo 4 Thin-section photomicrograph of carbonate chimney (sample 366-3-D). Sulfides disseminated in coarse grained manganian calcite (Mc).

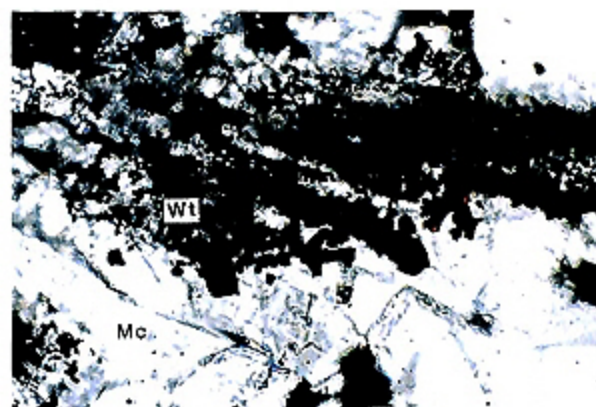


写真5 炭酸塩チムニー試料薄片の透過顕微鏡写真 (試料366-3-D)。マンガン方解石 (Mc) 中のウルツ鉱 (Wt)。写真長辺0.5mm。

Photo 5 Thin-section photomicrograph of carbonate chimney (sample 366-3-D). Wurtzite (Wt) in manganian calcite (Mc).

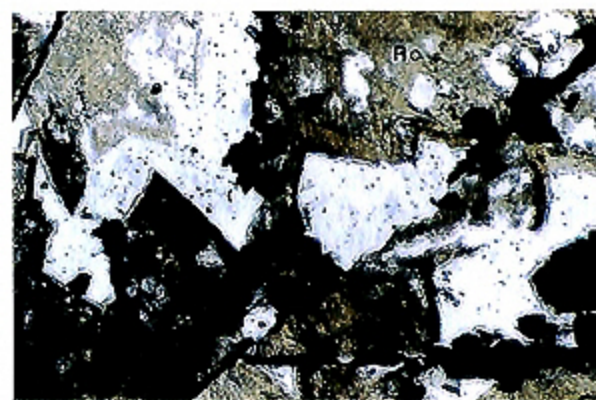


写真6 炭酸塩マウンド試料薄片の透過顕微鏡写真 (試料366-3-C)。菱マンガン鉱 (Rc) 中の硫化鉱物 (黒色)。自形結晶上に非晶質シリカの皮膜が認められる。写真長辺1.2mm。

Photo 6 Thin-section photomicrograph of carbonate mound (sample 366-3-C). Sulfide crystals (black) in rhodochrosite (Rc) coated with amorphous silica film.

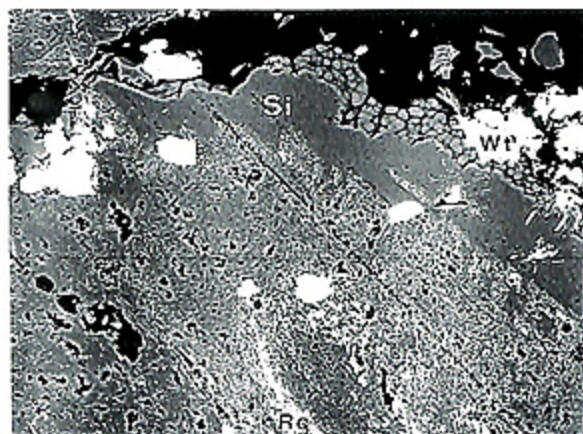


写真7 炭酸塩マウンド試料の EPMA 組成像 (試料 366-3-C)。非晶質シリカ (Si) 中の樹枝状菱マンガン鉱 (Rc) とウルツ鉱 (Wt)。写真長辺0.4mm。

Photo 7 Back scattered electron image of carbonate mound (sample 366-3-C). Dendritic rhodochrosite (Rc) and wurtzite (Wt) coated with amorphous silica (Si).

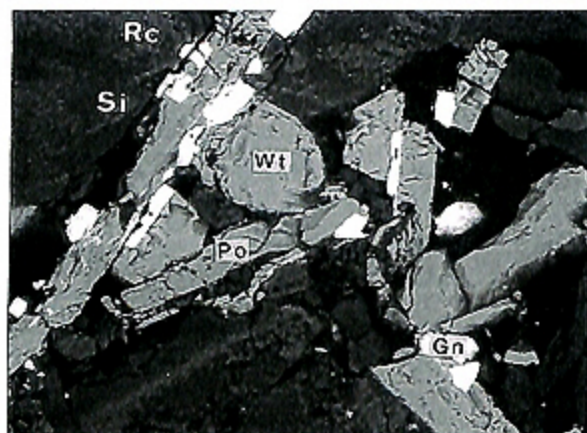


写真8 炭酸塩マウンド試料の EPMA 組成像 (試料 366-3-C)。菱マンガン鉱 (Rc)、非晶質シリカ (Si) 集合体の間をうめるウルツ鉱 (Wt)、磁硫鉄鉱 (Po)、方鉛鉱 (Gn)。写真長辺0.2mm。

Photo 8 Back scattered electron image of carbonate mound (sample 366-3-C). Wurtzite (Wt), pyrrhotite (Po) and galena (Gn) filled interstitially in rhodochrosite (Rc)-amorphous silica (Si) aggregate.



写真9 非晶質シリカにセメントされた火山砂の EPMA 組成像 (試料368-1-2)。玄武岩の岩片、火山ガラス、石英からなる粒子が非晶質シリカにセメントされている。明るい小粒子は砒素硫化物。写真長辺2.6mm。

Photo 9 Back scattered electron image of cemented volcanic sand (sample 368-1-2). Subangular clastic grains, which consist of fragments of basalt, volcanic glass and quartz, are cemented by amorphous silica.