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

春日 茂*1 加藤幸弘*1

1991年7月の伊豆・小笠原弧の火山フロント上に位置する水曜海山の潜航調査において，230度のほぼ透明な熱水を噴出する熱水性硫化物チムニー群が，山頂部の水深1 320mの火口底の縁で発見された。採取されたチムニーは，閃亜鉛鉱，方鉛鉱，黄鉄鉱，バライト，石膏を含んでいる。

島弧の火山フロント上においてこのように活動的な熱水性硫化物チムニーが発見されたのは初めてであり，今後さらに当海域や他の海底火山の火口底やカルデラ底を重点的に調査する必要があると思われる。

Discovery of hydrothermal ore deposits in the crater of the Suiyo Smt. on the Izu-Ogasawara arc

Shigeru KASUGA*2 Yukihiro KATO*2

In the dive of Suiyo Smt. on the Izu-Ogasawara arc in July, 1991, a group of small sulfide chimneys emitting 230°C clear hydrothermal fluid were found at the bottom of crater on its top at the depth of 1 320m. A sample of the chimney consists of sphalerite, galena, pyrite, barite, anhydrite.

It is the first time that the active hydrothermal sulfide chimneys are discovered at the submarine volcano on the volcanic front of Island-arc and more detailed and comprehensive surveys are required in the calderas or craters on the submarine volcanoes.

＊1 海上保安庁水路部

＊2 Hydrographic Department, Maritime Safety Agency

1．はじめに

沖縄トラフの伊是名海穴における活動的な熱水性硫化物チムニーの発見（halbach et al., 1989；加藤ほか，1989）は，今まで地質時代のものでしか見ることができなかった黒鉱鉱床の初めての現世における発見という地質学的意義に加えて，日本の200海里経済水域内での初めての本格的な海底熱水性鉱床の発見という未来の海底資源への期待からも脚光を浴びた。それ以来，沖縄トラフの伊是名海穴や伊平野海丘群等において，「しんかい2000」により精力的に潜航調査がなされ，熱水鉱床の分布・産状等の詳細がわかってきている（中村ほか，1990；田中ほか，1990，など）。

一方，伊豆・小笠原弧については，日本近海で海底熱水性鉱床が発見される以前に，藤岡（1983）により，黒鉱形成当時の東北日本弧と現在の伊豆・小笠原弧の類似性から，伊豆・小笠原弧の背弧凹地において海底熱水性鉱床が形成されつつある可能性が高いことが指摘されていた。その後，地質調査所では海底熱水活動の総合的調査プロジェクトを伊豆・小笠原弧で実施しており，火山フロントから背弧凹地にかけて海底熱水活動に起源を持つと考えられる数多くのマンガン酸化物・鉄マンガン酸化物の存在が報告されているほか（湯浅，1986），熱水性硫化物については，火山フロントの七島・硫黄島海嶺に位置する海形海山のカルデラ壁の下部で熱水性硫化物細脈を含む変質した安山岩（地質調査所「海底熱水活動」研究グループ，1986），八丈島南方の明神礁カルデラで硫化物・重晶石片等をドレッジで採取したことが報告されている（飯笹，1992）。また，伊豆・小笠原弧の背弧凹地のひとつであるスミスリフトにおいて，潜水船アルビン号の潜航調査により，かつての熱水活動の痕跡と考えられるシリカチムニーが発見された（Taylor et al., 1990）。以上のように伊豆・小笠原弧では，熱水活動により生成されたと考えられる酸化物や硫化物が発見されているが，沖縄トラフ伊是名海穴のように熱水を噴出する活動中のチムニーで特徴づけられる熱水性硫化物鉱床はこれまで確認されていなかった。

水路部では1989年1月に測量船「拓洋」により，ナローマルチビーム測深機を用いて，伊豆・小笠原弧の媒婦岩と西之島の間に連なる七曜海山列（湯浅，1989）の地形調査を行った。その結果，七つの海山のそれぞれに異なった山頂形態が明らかになり（長岡，1991，図1），これらの地形と活動形式，噴出物，時代などを詳しく知る必要が出てきた。このため「しんかい2000」を用いて七曜海山列の詳細な地形や地質の観察，噴出物

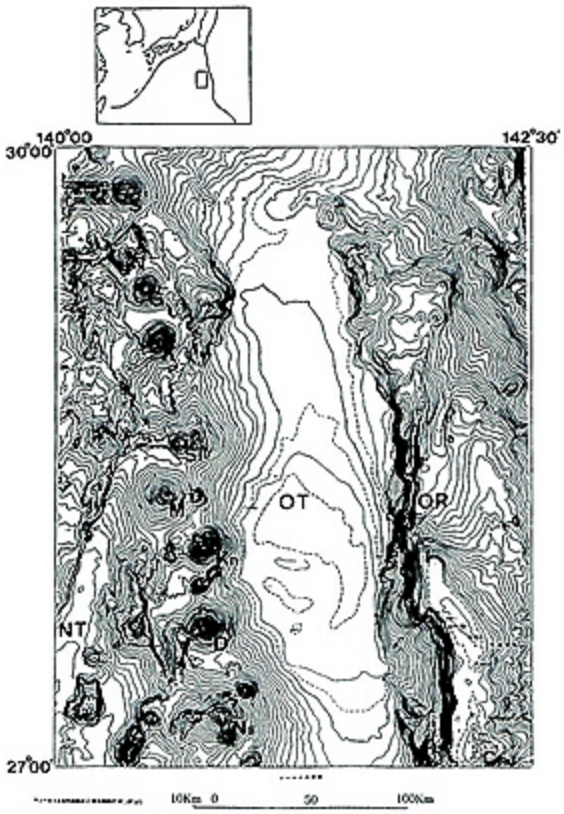


図1　ナローマルチビーム測深機による七曜海山周辺の海底地形図と水曜海山の位置（等深線間隔：100m）。
OR：小笠原海嶺，OT：小笠原トラフ，NT：西之島トラフ
S：そう婦岩，N：日曜海山，G：月曜海山，K：火曜海山，Si：水曜海山，M：木曜海山，Kn：金曜海山，D：土曜海山，Ns：西之島及び西之島新島，C：父島

Fig. 1　Bathymetric chart of Sitiyo Seamounts and location of the Suiyo Smt. (Contour Interval：100m)
OR：Ogasawara Ridge, OT：Ogasawara Trough, NT：Nisinosima Trough, S：Sohu-gan, N：Nitiyo Smt., G：Getuyo Smt., K：Kayo Smt., Si：Suiyo Smt., M：Mokuyo Smt., Kn：Kinyo Smt., D：Doyo Smt., Ns：Nisino-Sima and Nisinosima-Sin-To, C：Titi-Sima

のサンプリングを行うことを目的として，1990年7月に馬蹄形の山体崩壊地跡を伴う土曜海山と山頂部にカルデラを持つ水曜海山の潜航調査を実施し，土曜海山の溶岩ドーム周辺と水曜海山のカルデラ内火口壁及びカルデラ北壁で熱水の噴出を確認した（長岡，1990；長岡ほか本特集号）。ただし，熱水性硫化物の存在は確認することはできなかった。

これらに引き続いて，1991年7月のDive 562で，水曜海山の火口底の潜航調査を実施したところ，伊豆・小笠原弧で初めて熱水を噴出する活動的な熱水性硫化物チムニー群が発見された。本稿ではチムニー群の産状等についての観察結果を報告する。なお，水曜海山の地形，地質に関する潜航調査結果は，水曜海山，土曜海山の調査結果と合わせて，本特集号の長岡他の論文で報告されているので，そちらを参照されたい。

2．潜航調査結果

水曜海山は，小笠原諸島父島の北西約240kmに位置し，小笠原トラフからの比高が3 000m以上に達する海底海山であり，山頂水深860m，940m，1 000mの三つのピークに取り囲まれた長径1.5km，深さ500m，火口底水深1 380mの火口を持つ円錐海山である（図2）。

Dive 562では，火口底西部の平坦地（水深1 370m）に着底し，内側の外輪山と外側の外輪山の山頂に向けて火口壁の北側斜面を潜航調査した。航跡に沿ったルートマップと断面図を図3，図4に示す。水深1 330mの火口底の緩斜面で，斜面の傾斜方向である北西—南東方向に延びる変質帯が認められた。ここでは長さ10数m，幅4～5mにわたって灰色の砂，黒褐色のデイサイトの角礫や暗灰色の凝灰岩等が薄く白色に変質している。その中に2～3mの範囲で周囲よりさらに白い変質帯が有り，シンカイヒバリ貝が群生しているほか，白いカニも数匹確認された。暗灰色の角礫の一部が鉛直方向に高さ約20cm，幅5cm程度白く変質している部分では，海水の弱い揺らぎが認められ，そこでの揺らぎの温度計測の結果は11

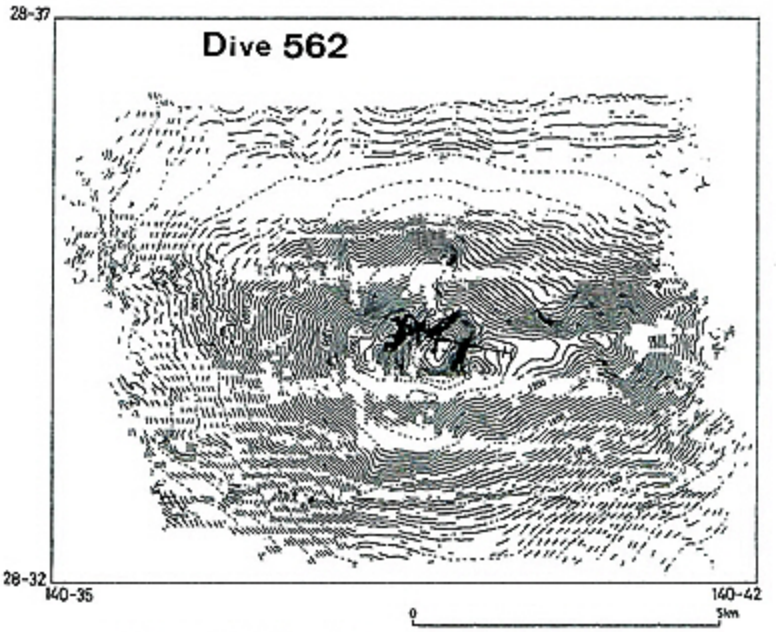
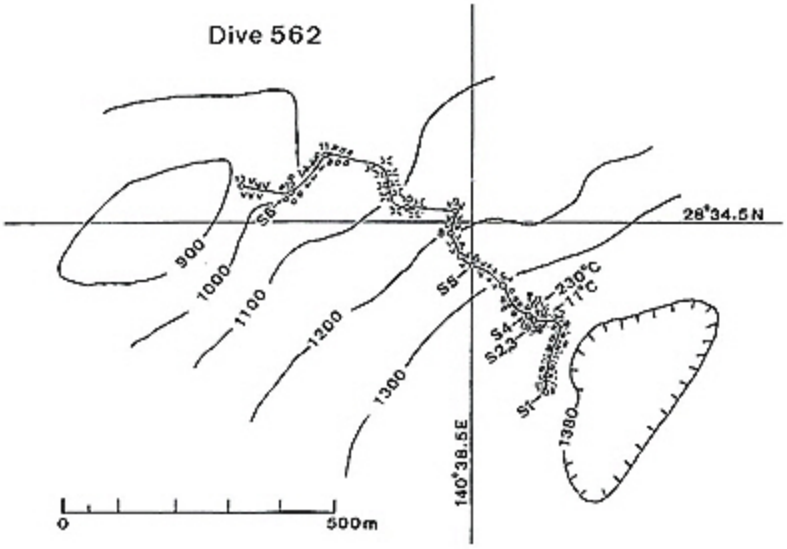


図2　ナローマルチビーム測深機による水曜海山の海底地形とDive 562の航跡図（等深線間隔：20m）
H：熱水性硫化物チムニー群の発見された所

Fig. 2　Bathymetric chart of Suiyo Smt. by Multi narrow Beam Sounding System and route map of Dive 562 (Contour Interval 20m)
H : Location of active hydrothermal sulfide chimneys.



1, 10:51 着底 D=1370m 岩石採取
2, 11:30 D=1350m
3, 11:37 D=1330m シンカイヒカリガイ・目の無い白いかに観察
揺らぎの温度計測・岩石採取
4, 12:40 D=1320m 10Cm～40Cmのチムニー群視認
温度計測（２３０° C）チムニー採取
5, 13:06 D=1295m 急な溶岩斜面
6, 13:11 D=1270m 岩石採取
7, 13:18 D=1240m 急な溶上昇
8, 13:29 D=1200m
9, 13:37 D=1180m
13:55 D=1130m ピーク上り詰めた
10, 14:04 D=1110m
11, 14:28 D=1040m
12, 14:38 D=980m 岩石採取
13, 15:00 離底 D=890m

図３　Dive 562のルートマップ。Ｓ１～Ｓ６は岩石の採取場所を示す。

Fig. 3　Geological route map of Dive 562. S1-S6 show sampling sites.

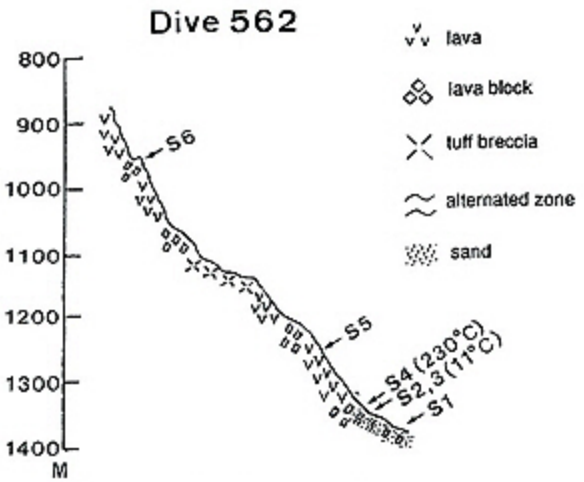


図４　Dive 562のルートに沿った断面図

Fig. 4　Geological cross section of Dive 562.

度であった。なお温度計測の際にこの角礫が壊れ，その破片を採取した（S-２，デイサイト）。

さらに火口底の北西の縁に向って30m ほど移動したところ，水深1 320m 付近で斜面の傾斜方向に沿って南北方向に延びるように長さ10～20m，幅10m 程度の範囲内で白い変質帯が発見され，ここでは透明な熱水を噴出する，高さ10～50cm，直径10cm 程度の灰白色のチムニーが約15個認められた（写真１，２）。ここで高さ50cm 程度の最大級のチムニーから噴出される熱水の温度計測を実施したところ，チムニーの先端部分は温度計で破壊されたが，チムニーの根本から勢いよく噴出される熱水の温度は最高230度に達した。熱水を噴出するチムニーは全て灰白色または部分的に褐

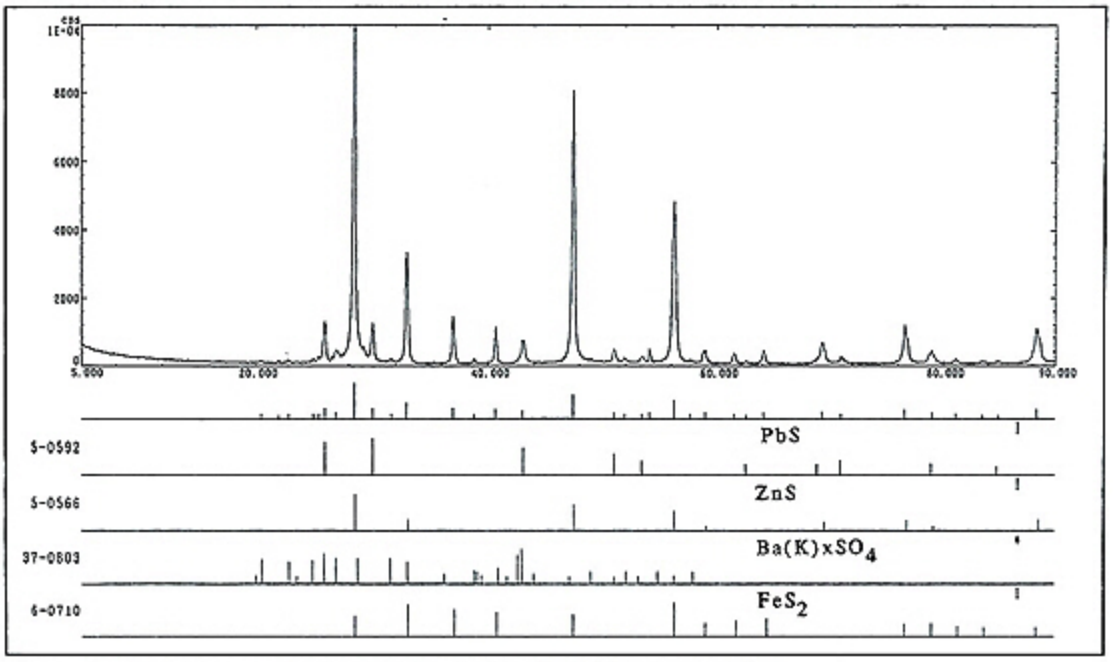


図5　採取したチムニーの本体の黒色部の粉末X線回折法による分析結果。

Fig. 5　Result of the analysis of the black portion of the sampled chimney by X-ray powder diffraction method.

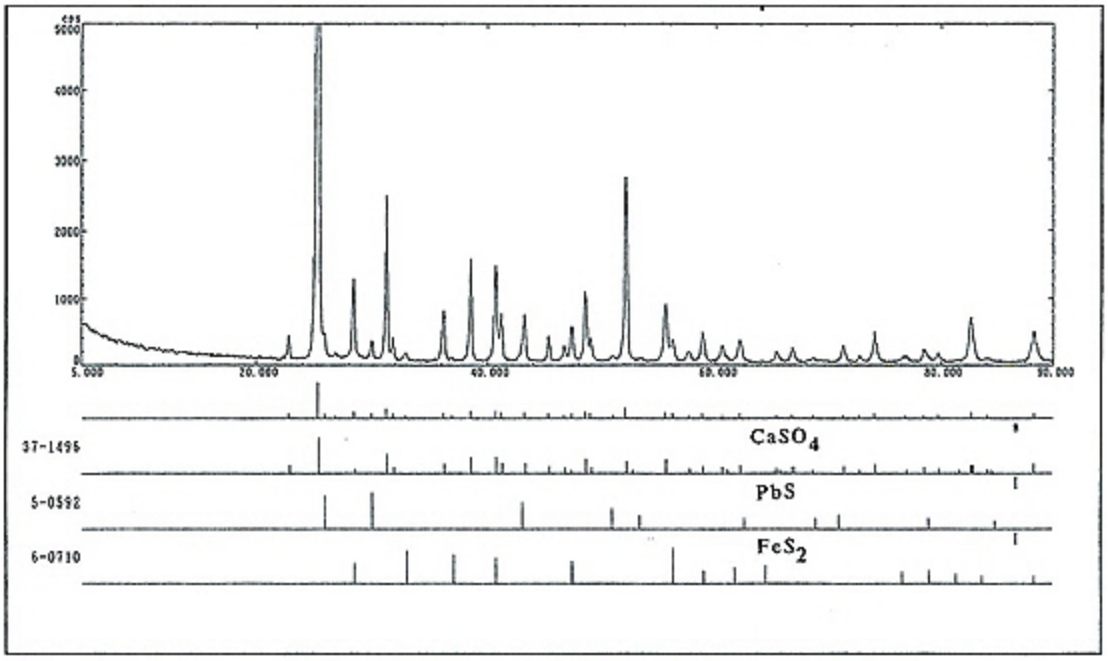


図6　採取したチムニーの表層に付着する白色の結晶の粉末X線回折法による分析結果。

Fig. 6　Result of the analysis of the white crystal attached to the sampled chimney by X-ray powder diffraction method.

色であるが，暗灰色の塊状硫化物も認められ，これは既に活動を終えたチムニーの痕跡と考えられる。また，熱水を噴出するチムニーの形状も，文字どおり煙突状の細長いもののほかに，口が大きく開いた熱水の噴出量の大きいなべ型のものも存在する。チムニー群の周囲にはシンカイヒバリ貝の群生と白いカニが見られたほか，巻貝のようなものも見られた。また，砂地の海底の小さな割れ目や巨礫の周囲の砂地との隙間に沿って屈曲しながら走る白いベインが2本認められた。

採取したチムニーのサンプル（S-4，写真3）を粉末X線回折法により分析した結果，チムニー本体の黒色部は，閃亜鉛鉱，方鉛鉱，黄鉄鉱，バライト（図5）で構成され，表層に付着する白色の結晶は，硬石膏であることが分かった（図6）。また，熱水噴出域の近傍で採取した角礫（S-3）は著しく変質しており，黄鉄鉱の鉱染を受けていた。

チムニー群の分布する海底は，砂地の緩斜面にデイサイトや凝灰角礫岩の転石が分布しているが，沖縄トラフ伊是名海穴のチムニー群にみられるような熱水性硫化物によるマウンドの形成がみられないことと，チムニーの規模も小さいことから，この海域のチムニー群の形成は極めて新しい可能性がある。

3．島弧における海底熱水性硫化物鉱床の生成

これまで熱水鉱床生成の場は主に中央海嶺系や背弧海盆など伸張性テクトニクスのもとで熱水循環の生じ易い所と考えられており，実際に伸張テクトニクスによると思われる多くの正断層による地塁・地溝構造が発達し火成活動の活発な所に集中的に発見されてきた。伊豆・小笠原弧において活動中の塊状熱水性硫化物鉱床が発見されたのは今回がはじめてであり，しかも火山フロント上の海底火山であることが注目される。熱水を噴出中の熱水性硫化物のチムニーが島弧の火山フロント上の海底火山において確認された例はこれまで報告されていない。伊豆・小笠原弧では火山フロント上の海形海山山頂部のカルデラ底でもドレッジにより熱水性硫化物が採取されており，周辺海域や他の島弧での熱水鉱床の発見の可能性が指摘されている（地質調査所「海底熱水活動」研究グループ，1986）。今回の発見は，島弧—海溝系においては背弧海盆，背弧凹地ばかりでなく火山フロント近傍でかつ頂部の水深の深い海底火山の火口底，カルデラ底なども熱水循環が生じ易く，熱水性硫化物鉱床の生成の場として極めて重要であることを示唆しており，例えば七曜海山列の金曜海山山頂部なども，火口の水深が1 000mと深く海底熱水性鉱床が分布する可能性があるので，今後さらに潜水船を用いた詳細な調査が望まれる。

潜航調査を支援してくださった「しんかい2000」の運航チームの皆様と支援母船「なつしま」の乗組員の皆様に感謝いたします。

参考文献

藤岡換太郎，1983，黒鉱鉱床はどこで形成されたか，鉱山地質特別号，第11号，55-68.

Halbach, P., Nakamura, K., Wahsner, M., Lange, J., Sakai, H., Käselitz, L., Hansen, R-D., Yamano, M., Post, J., Prause, B., Seifert, R., Michaelis, W., Teichmann, F., Kinoshita, M., Märten, 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, Vol. 338, No. 6215, 496-499.

飯笹幸吉，1992，伊豆・小笠原弧—明神礁海底カルデラの熱水活動について，月刊地球14－8，499-506.

加藤幸弘，中村光一，岩淵洋，橋本惇，金子康江，1989，沖縄トラフ中部伊是名海穴の地形と地質—1987，88年の潜航調査結果—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163-182.

長岡信治，1990，小笠原—七曜海山列の木曜海山と土曜海山の火山地質，第7回「しんかい2000」研究シンポジウム予稿集，海洋科学技術センター，74-77.

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・小笠原弧中部の海底火山地形図，水路部研究報告，第27号，145-172.

中村光一・丸茂克美・青木正博，1990，沖縄トラフ伊是名海穴海底熱水性鉱床地帯におけるブラック・スモーカーと二酸化炭素に富む流体湧出変質帯（ポックマーク）の発見，海洋科学技術センター試験研究報告，第6回「しんかい2000」シンポジウム報告書，33-50.

田中武男・堀田宏・酒井均・石橋純一郎・大森保・井沢英二・小田望，1990，伊是名海穴の熱水現象とその分布，海洋科学技術センター試験研究報告，第6回「しんかい2000」シンポジウム報告書.

Taylor, B., G. Brown, P. Fryer, J. B. Gill, A. G. Hochstaedter, H. Hotta, C. H. Langmuir, M. Leinen, A. Nishimura and T. Urabe, 1990, Alvin Sea Beam Studies of the Sumisu Rift, Izu-Bonin Arc, Earth and Planetary Science Letters, 100, 127-147.

地質調査所「海底熱水鉱床」研究グループ，1986，伊豆・小笠原弧の火山フロントで熱水性硫化物発見さる，地質ニュース，第384号，p. 39.

湯浅真人，1986，日本近海の海底熱水活動—伊豆・小笠原海域を例に—，地学雑誌，Vol. 95, No. 7，32-40.

湯浅真人，1989，伊豆—マリアナ弧精査海域及び九州—パラオ海嶺から採取された岩石，海底熱水活動に伴う重金属資源の評価手法に関する研究—昭和63年度研究概要報告書，地質調査所，58-65.

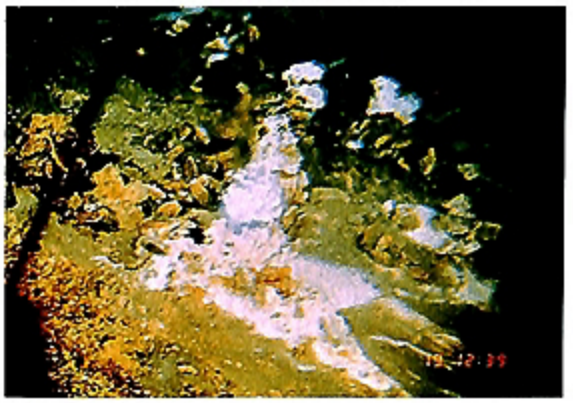


写真1　熱水を噴出する高さ約50cmのチムニー。
Photo 1　Suifide chimneys about 50cm long, emitting clear hydrothermal fluid.

写真3　採取したチムニーのサンプル。手前が上部。
Photo 3　A sample of the chimney.

写真2　熱水性硫化物チムニー群と白いベイン
Photo 2　A group of suifide chimneys and white veins.