

海形海山熱水変質帯の潜航調査 —第253回 潜航結果—

湯浅真人^{*1} 浦辺徹郎^{*2} 村上文敏^{*1}

詳細な事前調査により硫化物を伴う変質岩の存在することが明らかとなっている海形海山において、変質岩の産状確認、硫化物鉱石の採取などを目的に潜水調査を行った。その結果、海形海山のカルデラ南壁下部に、少くとも幅150mにわたる熱水変質帯が発見された。採取された岩石は、変質した安山岩質火山岩で、二次鉱物として石英、セリサイト、モンモリロナイト、緑泥石を生じている。この岩石には1mm以下程度の微細な黄鉄鉱が、鉱染状及び脈状に生じている。

カルデラ内の海水中には赤褐色の鉄水酸化物の沈殿物が浮遊し、カルデラ床、カルデラ壁にはこれが薄く堆積している。変質帯中でこの沈殿物が厚く堆積しているところでは海水中に「ゆらぎ」が観察され、低温の熱水活動の存在がうかがわれる。

A Submersible Study of Hydrothermal Field at the Kaikata Seamount, Izu-Ogasawara Arc.

Makoto YUASA^{*3} Tetsuro URABE^{*4} and Fumitoshi MURAKAMI^{*3}

A hydrothermal alteration zone was found on the inner wall of the Kaikata caldera during Dive 253 of the submersible "SHINKAI 2000". The alteration zone was observed along the lower part of the wall for more than 150m in lateral width. Two rock samples recovered by the submersible are plagioclase phryic andesite with minor amounts of altered pyroxene phenocrysts. The samples show fairly intensive alteration with secondary quartz, sericite, montmorillonite and chlorite. Pyrite occurs as minute disseminated grains with quartz in the groundmass and as veinlets with gangue quartz in the cavity.

Reddish brown-colored precipitates were drifting in the seawater within the caldera and deposited on the wall and floor. Weak simmering of the seawater was observed on a wall, where thick precipitates covered the outcrop of altered rocks.

Many dykes with columnar jointing intrude parallel to the wall at the upper part of the caldera.

*1 工業技術院 地質調査所 海洋地質部

*2 工業技術院 地質調査所 鉱床部

*3 Marine Geology Department, Geological Survey of Japan

*4 Mineral Deposits Department, Geological Survey of Japan

1. はじめに

海底熱水活動や熱水鉱床の調査は、その最終段階として目視による存在の確認及び鉱石試料採取による確認が必要である。そこでは潜水調査船が大いに活躍することになる。私たちは、伊豆・小笠原弧を対象とした海底熱水鉱床調査の一環として、調査が比較的進んでおりかつ熱水性の硫化物が発見されている海形海山を候補地を選んで、「しんかい2000」による潜航調査を行った。その結果、熱水変質帯の存在を確認できたので報告する。

2. 海形海山

海形海山は、伊豆・小笠原弧の火山フロントである七島—硫黄島海嶺上にあつて、西之島と海德海山（土出ほか，1985）との間に位置する海底火山である（図1）。西之島、海德海山が近年噴火活動を行っているのに対し、この海山では現在までのところ噴火、変色水等による火山活動の目撃記録はない。山体を構成する岩石については、新野（1938）が複輝石安山岩を報告した以外に資料はなかったが、最近の調査により、この海山からは熱水性のマンガン酸化物の存在が知られ（湯浅ほか，1986；Usui et al., 1986），さらに硫化物を含む熱水変質岩の存在も確認されている（地

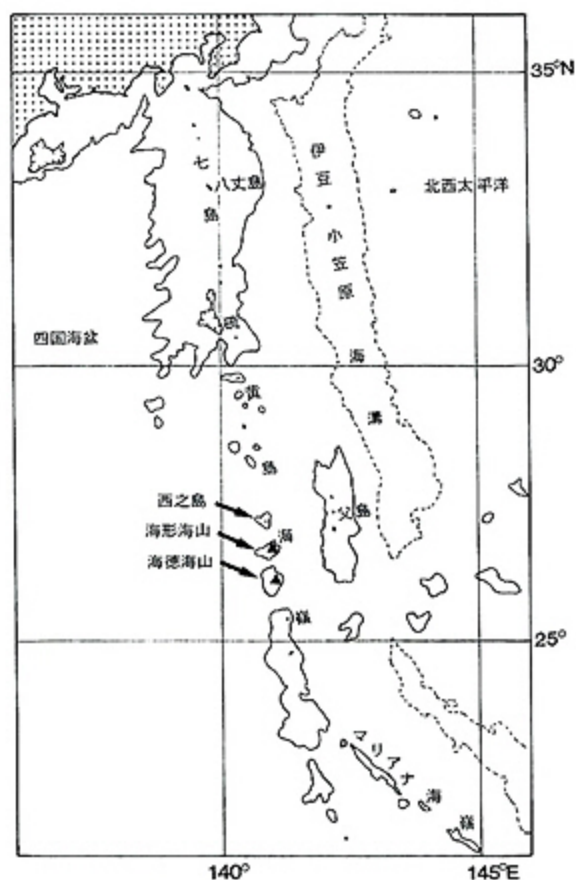


図1 海形海山の位置

Fig. 1 Locality map of the Kaikata seamount.

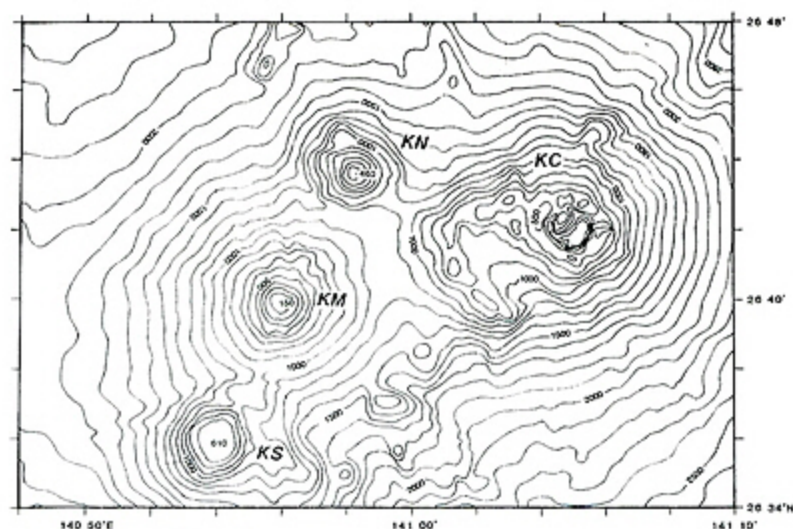


図2 海形海山の海底地形図

4つのピークをKC, KN, KM, KSと略称する。水深はメートル。

Fig. 2 Bathymetric map of Kaikata seamount. Four summits are abbreviated KC, KN, KM and KS. Soundings in meters.

質調査所「海底熱水鉱床」研究グループ, 1986; Urabe et al., 1987)。

図2に示したように, 海形海山は4つの山体(KC, KN, KM, KSと略称)からなる複合火山で, 最浅部はKMの頂上にあり, 水深150mが観測された。海形海山東方の小笠原トラフは, この付近で水深約3700mであり, 同トラフからの比高は3600m以上に達する(図3)。東側にあるKCには, その頂上部に外輪山の直径3km程のカルデラがある。このカルデラから西側へ尾根が張り出し, その尾根は途中から方向を南, さらに南東に変えている。この湾曲した尾根は, もともとはより大きなカルデラの外輪山だったのかも知れない。西側にあるKN, KM, KSの三つの高まりは, 北北東-南南西(ほぼN27°E)方向に配列している。

3. 潜航調査

海形海山における潜航は, カルデラ内で3回が予定され, 筆者らがそれぞれ1回ずつ潜航することになっていた。3回の潜航調査のうち2回はカ

ルデラ南壁に予想される熱水変質帯の調査を目的とし, 残る1回はカルデラ床に着底して重力測定を行うことが目的であった。しかし, 残念なことに途中から海況が悪化し, 予備日まで含めて4日間で2回の潜航が行われたのみである。そのうち1回は, 潜航はしたものの, 海況の悪化のため途中で浮上を余儀なくされた。

図4に2回の潜航ルートと途中時間, 水深を示した。また図5で第253潜航のコースをカルデラの地形図上に示した。第253潜航はカルデラ床着底後南下して壁に向かい, 壁に到着したらそれに沿って航走して変質岩の転石を探し, 転石が見つかればそこから壁を上って行って, 変質帯を探すという予定で潜航した。いわば予察的な潜航調査であり, カルデラ床とカルデラ壁を一通り観察することに重点をおいた。第254潜航は, 前日の潜航で確認された変質帯を詳細に調査することが目的であった。

潜航は以下のように行われた。

第253潜航 1986年11月4日

潜水船船長 井田正比古 潜航士 田代省三

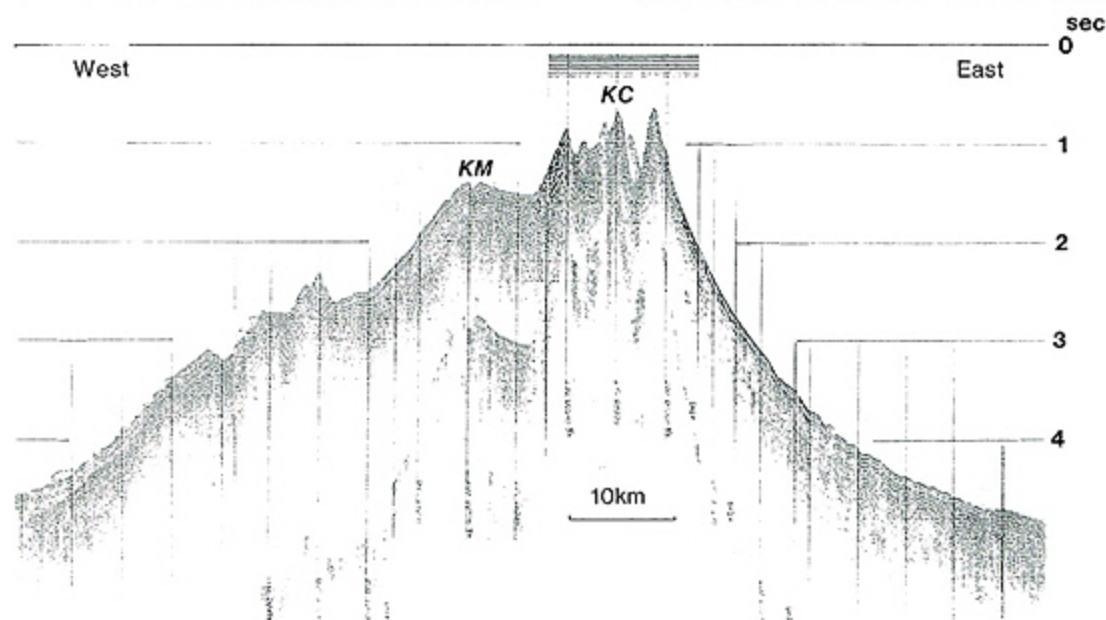


図3 海形海山を東西に横断する(26°42'N)音波探査プロフィール
右側に往復走時スケールを示した。水深は1秒=約750m。

Fig. 3 A seismic profile crossing the Kaikata seamount (26°42'N) from east (right) to west (left). Right-side scale denotes two-way travel time (second). Water depth in meters can be calculated from the time scale using a conversion factor of about 750m/sec.

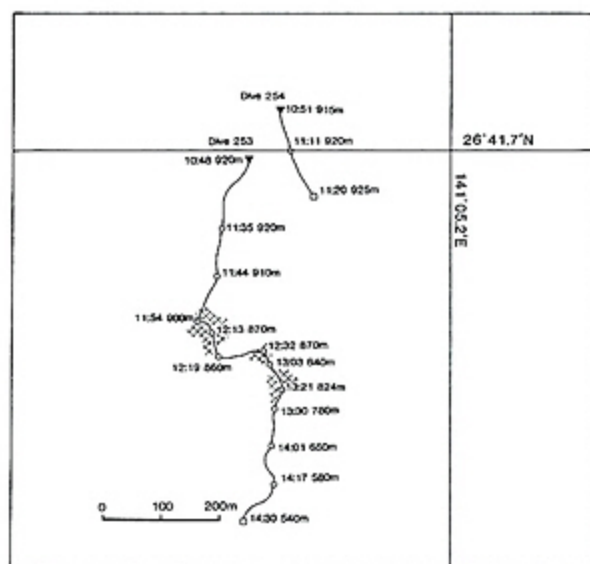


図4 「しんかい2000」の航跡と時間及び水深
観察された熱水変質帯の位置を網目模様で示した。
Fig. 4 Two tracks of "SHINKAI 2000" dives
with time and depth. Observed
hydrothermal alteration zone is
shown by the cross-hatched patterns.

観察者 湯浅真人
9:30 「しんかい2000」に乗り込む。
9:45 最終点検を終えハッチ閉鎖。
9:48 Aフレームにより吊り上げ開始。
9:52 着水。
10:00 潜航開始。
10:26 水深600m, カルデラ内に入り懸濁物
が少し増える。水温9.8℃。
10:30 水深700m, 濁りがつよい。9.3℃。
10:36 海底からの高度100m(水深820m),
浮遊懸濁物はあたかも湯の華のように
見える。水温9.1℃。
10:43 海底が見える。着底。直径数十cm—1m
程度の岩石がところどころに見える。
カルデラ床には温泉沈殿物のような黄
褐色物質が積もっている。底層水の流
れなし。温度計測と採泥を行う。
11:22 移動開始。カルデラ床を南に向かう。
しばらく堆積物の上を進む。ところど
ころに転石がある。
11:35 角ばった転石が多い。海底の傾斜が強

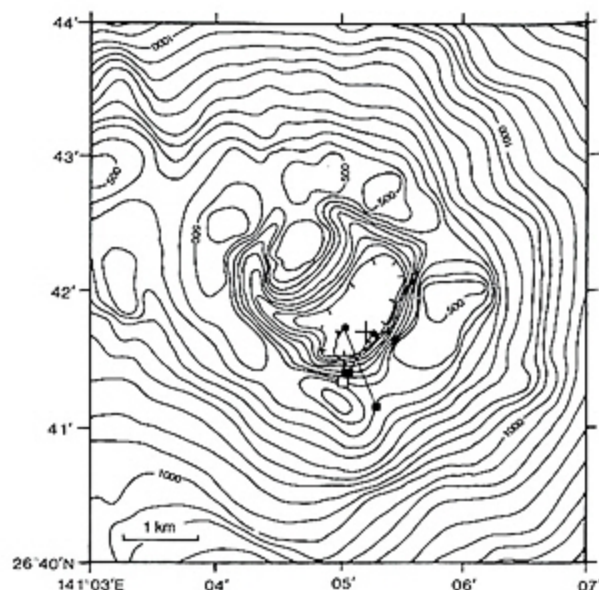


図5 カルデラの地形と潜航調査 (Dive 253)
(▼→□) 及びドレッジ (●→■) の航跡
Fig. 5 Detailed bathymetry of the caldera
with the tracks of submersible
(Dive 253)
(▼→□) and dredges (●→■).

くなってきた (924m)。
11:41 再び堆積物が多いところにさしかかる。
転石は少ないが、時に大きなブロック
を跳びこす。底棲生物の巣穴やリップ
ルマークが観察される。
11:44 変質岩らしい淡い色の転石があった。
11:50 斜面の傾斜がきつくなってきた
(900m)。
11:52 変質岩をサンプリングする
(#253-1)(899m)。
11:58 変質帯に入っている (896m)。
12:03 変質岩をサンプリングする
(#253-2)(883m)。
12:06 カルデラ壁に沿って東へ航走
(874m)。
12:24 崖上を通過 (861m)。
12:28 崖上を通過。礫の下は変質帯
(870m)。
12:29 南へ向かう (867m)。
12:31 昼食のため着底。
12:54 航走開始。

- 12:59 浮遊懸濁物増える。
 13:00 変質岩見える(851m)。
 13:03 崖錐上を通過。直径1m以上あると思われるブロックが積み重なっている。谷筋という感じである(841m)。
 13:07 温泉沈殿物が厚くたまっている(826m)。
 13:08 海水中に「ゆらぎ」が見える(825m)。
 13:25 白色の岩石が沢山散らばっている(815-807m)。
 13:29 崖錐上を通過。これより上は変質岩は見えない(803m)。
 13:31 ほとんど垂直に感じられる壁になる(791m)。壁は主として均質な岩相(溶岩か岩脈)が続き、時に角礫岩層がある。ところどころに小さなテラスがあり、崖錐ができています。
 13:40 針路(180°)方向に対して直交する崖がソーナーの画面に見える(729m)。
 13:42 壁がやや白く見える(720m)。上から崩れてきているようだ。
 13:45 700mまで上昇、角礫岩からなる壁を上る。黄褐色の浮遊物は見られない。
 13:47 ソーナーに正面の崖とさらに30m前方の崖が見える(690m)。
 13:56 角礫岩の壁の表面に、あたかも上から流れてきているかのように見える淡い褐色の脈状物質がある(674m)。
 14:02 垂直な壁が途切れ、壁の断面の柱状節理が見えた(635m)。均質な岩相の垂直な壁は岩脈なのであろう。
 14:07 岩脈を乗り越える(616m)。
 14:12 岩脈を乗り越える(595m)。
 14:13 岩脈を乗り越える(587m)。
 14:15 岩脈を乗り越える(580m)。
 14:22 垂直な岩盤地帯をほぼ通りぬけ、傾斜の緩い砂礫地帯にはいる(565m)。外輪山の肩と思われる。海水は澄んでいて、視界は良い。
 14:34 浮上開始(538m)。
 14:59 海面に浮上。

第254潜航は翌11月5日に行われた。乗船者は以下のとおりである。

潜水船船長 田代省三 潜航士 桜井利明
 観察者 浦辺徹郎

この潜航は、カルデラ床上をカルデラ壁に向けて航走中に海況不良となり、ついに壁に到達できずに浮上した。

4. 潜航結果

(1) 海水及び海水中の浮遊物について

海形海山のカルデラについてはすでに幾度かの調査が行われ、カルデラ内の水温がある深度より下で一定になり、かつカルデラ外の同一深度の海水温より高いという特徴を持っていることが分かっていた。今回の潜航に先立って行われたXBT(投下式深度温度計)による温度計測でも水深約700m以深の水温は9.3~9.1℃でほぼ一定になっていた。また、同じく潜航直前に行われた深海TVによる観察ではカルデラ内の海水に濁りが見られ、それ以前に行われた深海TV観察の時とは様子が違っていた。以上のような状況から、潜水船の下降中にもなるべく照明を落とさず、海水中の濁りの原因を確かめることとした。

「しんかい2000」が外輪山の頂上深度に達したと思われる水深560m付近から、海水中に黄褐色~赤褐色の浮遊物が見えはじめた。この浮遊物は温泉に伴う鉄水酸化物の沈殿物と思われ、水深700m以深でその量が増した。この水深はカルデラ内の水温がほぼ一定になる深度と一致している。カルデラ床は水深920mで、水温は9.1℃であった。カルデラ外の同一水深で測定された水温は4.2~4.6℃で中の温度より4.5~4.9℃低い。カルデラ床には上記の浮遊物が薄く沈殿しており、「しんかい2000」の着底やマニピュレーターの操作に伴う水の動きによって、海底面から舞い上がった。同様の沈殿物はカルデラ壁にも付着しており、特に厚く沈殿しているところでは、壁の岩石の割れ目付近で海水中に「ゆらぎ」が観察された。ここでは、海水中に見られる浮遊物が上向きに流れており、上昇する流れがある。

採水を行っていないので海水そのものの化学組成などは分からないが、生物に「異常な挙動」が見られたのでここで述べておく。2回の潜航調査

でそれぞれ1匹ずつ小魚が死んでいくのが観察された。第253潜航の際には、カルデラ床に着底し観察している間に一匹の小魚が観察窓の外でけいれんしながら死んでいくのが見られた。この死魚は、直後にコシオリエビにより捕食された。河井・石橋(1986)によれば、食害以外の原因により死亡した魚が目撃されるのは特異な現象であるという。今回の潜航調査中にも尾を食い千切られた魚が見られたが、前述の小魚はそのような原因で死亡したのではない。原因については推定の域を出ないが、突然けいれんを起こして死亡するというのは海水中に何らかの原因があるとするのが最も考えやすいと思われる。具体的には、海水中の溶存酸素量が少ないとか、海水中に毒性を持つ成分が含まれているとかいう理由が考えられるが、それを確かめるための観測は今回行われていない。

(2) カルデラ床

カルデラ床は平坦で堆積物に被われている。床上には直径数十cm-1m程度の巨礫(角礫)の転石がところどころにみられる。このような転石はカルデラ壁に近づくほど量が増え、また大きさも増す。壁付近では直径数mほどのブロックが存在する。

カルデラ床に着底して柱状採泥管により採泥を試みた。床を平に被う堆積物は淘汰の悪い礫混じりの砂質堆積物で、試料のほとんどは採泥管にとどまることなく流失し、小礫が一つ採取されたのみであった。カルデラ床の堆積物は前述のように黄褐色~赤褐色沈殿物により薄く被われている。

最初の着底点付近にある巨礫の転石の周囲は、堆積物がえぐられ流痕(obstacle scour)が形成されている。この流痕は南から北へ(カルデラ壁からカルデラ床中央部へ)向かう流れの方向を示しているが、一方、流痕を持たない転石も存在するので、カルデラ内の流れは常にあるわけではないようである。この地点よりも壁寄りのところで、リップルマーク状の凹凸が堆積物上に観察されたが、流れの方向は特定できなかった。

カルデラ床縁辺部は着底地点より水深がやや深く、924mほどになっている。

(3) カルデラ壁

カルデラ壁はカルデラ床からいきなり立ち上がっているのではなく、緩やかな傾斜の変換から始まっ

ている。これは崖錐の末端部に当たり、転石の数が増加するもの付近である。カルデラ壁下部は崖錐によって被われ、露岩は見ることができない。このような崖錐が比高約25mにわたって壁の下部を隠している。崖錐の礫には変質岩と思われる緑灰色のブロックも含まれ(写真1)、また間を埋める細粒堆積物は変質岩起源の細粒物質である。これらは黄褐色の沈殿物に薄くまだらに被われている。この崖錐帯を抜けると、カルデラ壁そのものが露出する地帯となる。ここでは壁は変質岩からなっており、全体が淡緑灰色である。(写真2)。この壁も黄褐色物質により薄く被われている。変質岩の露頭は壁に沿う横方向(東へ)の観察の結果から、少なくとも東西150mの広がりを持っている。この変質帯の中には、前述の様に沈殿物が特に厚く溜まっているところがあり(写真3)、そこでは海水の“ゆらぎ”が観察された。変質帯の垂直方向の広がり、水深900mから800mにかけての約100mである。水深800m付近で変質帯を抜けると、それより上のカルデラ壁は、船内からの観察ではほぼ垂直と見える傾斜となる。変質帯より上の壁は、全体としてみると下部ではマシブな岩相が卓越し、より上部では角礫岩状の堆積岩相が多くなっている。変質岩らしい岩相のものは観察されなかった。途中一か所、白色をした岩石の小規模な崩壊物があり(720m)、また、淡褐色の脈状物質がカルデラ壁を上下方向に走っているのが観察された(674m)。これらは熱水変質作用に関係するものかもしれない。

カルデラ壁を形成しているマシブな岩相は、上昇中の観察によれば下部では溶岩及び岩脈と思われるが、壁の上部では柱状節理をもつ岩脈が発達する。「しんかい2000」は、カルデラ壁上部でマシブな岩相からなる壁をたびたび乗り越えた。その際に壁の頂部に柱状節理が観察され、この壁は岩脈であると判断した(写真4)。この岩脈は、観察したカルデラ南壁にほぼ並行する走向を持っている。潜航したカルデラ壁付近は、変質により脆くなっているため壁が後退し、壁面に南から北に向かうくさび状の谷が刻まれているのであろう。その谷状地形の両側に、東西性の走向を持つ岩脈が崩壊を免れて残っているものと想像される。

「しんかい2000」は、この残された岩脈による崖

を次々に乗り越えながら、カルデラ壁に刻まれた谷を上昇していった。

(4) 「しんかい2000」により採取した岩石

カルデラ壁下部の水深899m (#253-1) および883m (#253-2) の位置から、マニピュレーターにより岩石試料2個を採取した。いずれも熱水変質作用の影響を受けている岩石である。表面は一部褐色の鉄酸化物色になっているが、断面は淡緑灰色である(写真5, 6)。直径10mm以上の気孔が散在し、それらの内側には石英+黄鉄鉱が晶出している。それよりも小さい気孔は石英により完全に埋められている。岩石中には微細粒の黄鉄鉱が散在、あるいは細脈状に産出する。鏡下では、比較的新鮮な斜長石斑晶が目立つ安山岩である。苦鉄質斑晶物は完全に変質し緑泥石になっているが、形態から見て輝石である。X線回折法により同定された変質鉱物は、石英、セリサイト、モンモリロナイト、緑泥石である。潜水地点に近い位置で行われたドレッジ(図5にドレッジの航跡を示した)で採取された岩石試料は、斜方輝石を少量含む単斜輝石安山岩であり、「しんかい2000」により得られた試料も初生的には同質のものであろう。

5. ま と め

- 1) 海形カルデラ南壁に、海底熱水作用による変質岩と硫化物が観察された。
- 2) 変質帯は、カルデラ壁最下部より高さ約100mの範囲に見られ、横の広がりはいくつかとも150mあることが判明した。
- 3) 変質帯の1か所より熱水噴出によると見られる「ゆらぎ」が発見された。
- 4) カルデラ壁及びカルデラ床には熱水起源と考えられる鉄水酸化物が付着、堆積しており、現在も低温の熱水活動が継続していることをうかがわせる。
- 5) カルデラ内の海水中にも鉄水酸化物の懸濁物が見られ、その中の小さな魚がけいれんを起こしているのが観察された。
- 6) カルデラ内に南から北へ水流があることを示す堆積構造が見られた。
- 7) カルデラ壁に並行な岩脈が見られた。

6. お わ り に

海形カルデラでは、この潜航調査に先立って、白嶺丸(1985年、1986年)及び「なつしま」(1986年)による事前調査が行われた。今回の潜航が、海況悪化のため当初計画通りに実施できなかったにもかかわらず、目的とする熱水変質帯の発見と予察的な調査が行えたのは、この事前調査により、潜航の比較的細かい予定(着底予定点、航走コース、観察のポイント等)を立てることが可能であったからであるといえることができる。

「しんかい2000」による潜航調査は海底を直接観察できる数少ないチャンスであり、それを活かすためには是非とも事前の十分な調査が行われる必要がある。

謝 辞

海形カルデラにおける潜航調査に当たっては、山田章夫指令(当時)をはじめとする「しんかい2000」運航チームの方々、及び母船「なつしま」(浜中利夫船長)の乗組員の方々に大変お世話になった。海洋科学技術センター深海研究部の仲 二郎博士には、潜航地点の状況把握のために色々とお教えいただいた。記して感謝いたします。

参 考 文 献

- 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, 384, 39.
- 河井智康, 石橋喜美子, 1986, 死んだ魚はなぜいないか。第2回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 89-98.
- 新野 弘, 1938, 小笠原群島西ノ島一北硫黄島間及び父島一母島間の礁より採集した岩片に就いて。地質雑, 45, 713-714.
- 土出昌一, 加藤 茂, 打田明雄, 佐藤寛和, 小西直樹, 小坂丈予, 平林順一, 1985, 海徳海山の海底火山活動。水路部研報, 20, 47-82.
- Urabe, T., Yuasa, M., Nakao, S. and on-board scientists, 1987, Hydrothermal sulfides from a submarine caldera in the Shichito-Iwojima Ridge, northwestern Pacific. Marine Geol., 74, 295-299.

- Usui, A. , Yuasa, M. , Yokota, S. , Nohara, M. ,
Nishimura, A. and Murakami, F. , 1986,
Submarine hydrothermal manganese deposits from the Ogasawara (Bonin) Arc, off
the Japan Islands. *Marine Geol.* , 73, 311-
322.
- 湯浅真人, 西村 昭, 村上文敏, 木下泰正,
山崎俊嗣, 上嶋正人, 斎藤英二, 1987, 伊豆・
小笠原弧, 海形海山の海底熱水性フィールド
(演旨). 岩鉱, 81, 157-158.

(原稿受理 1988年 3月24日)

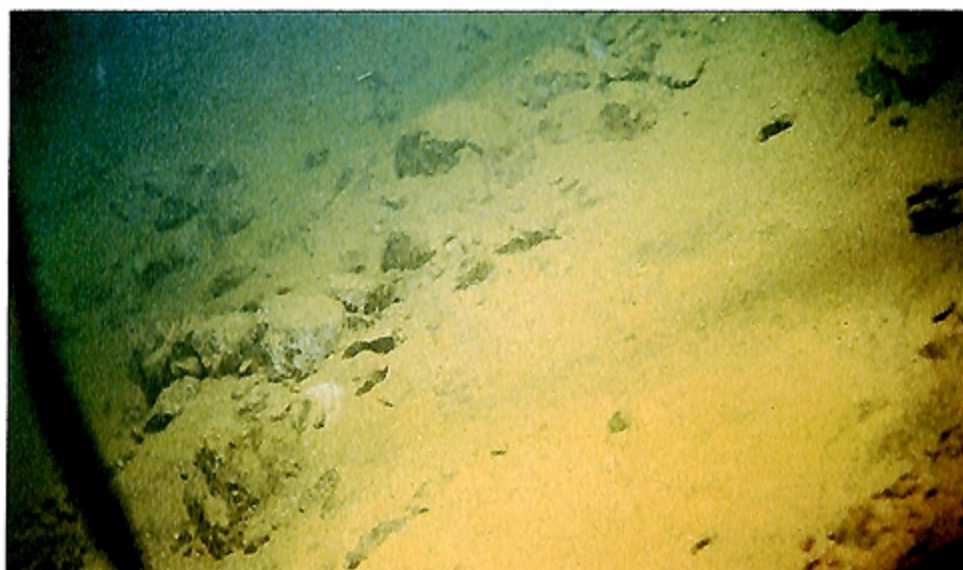


写真1 熱水変質岩の転石（中央左にある白色味を帯びた岩石）。

Photo. 1 Boulders of hydrothermally altered rocks (bleached rock on the left side).

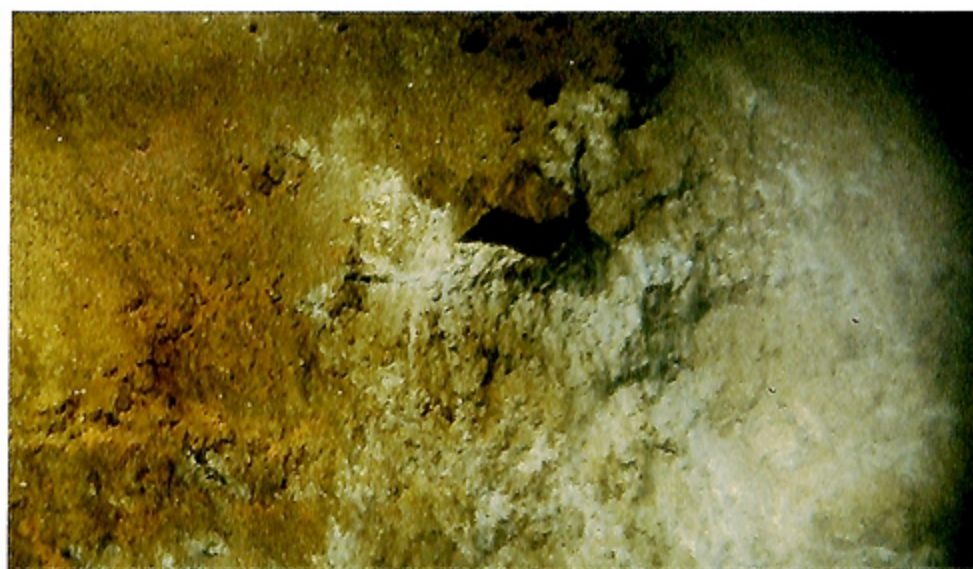


写真2 熱水変質を受けた火山岩の露頭。

Photo. 2 Outcrop of volcanic rocks affected by hydrothermal alteration.



写真3 熱水変質帯における黄褐色沈殿物の産状。

Photo. 3 Occurrence of yellowish brown precipitates at hydrothermally altered zone.



写真4 岩脈の断面に見られる柱状節理。

Photo. 4 Columnar jointing of dyke.

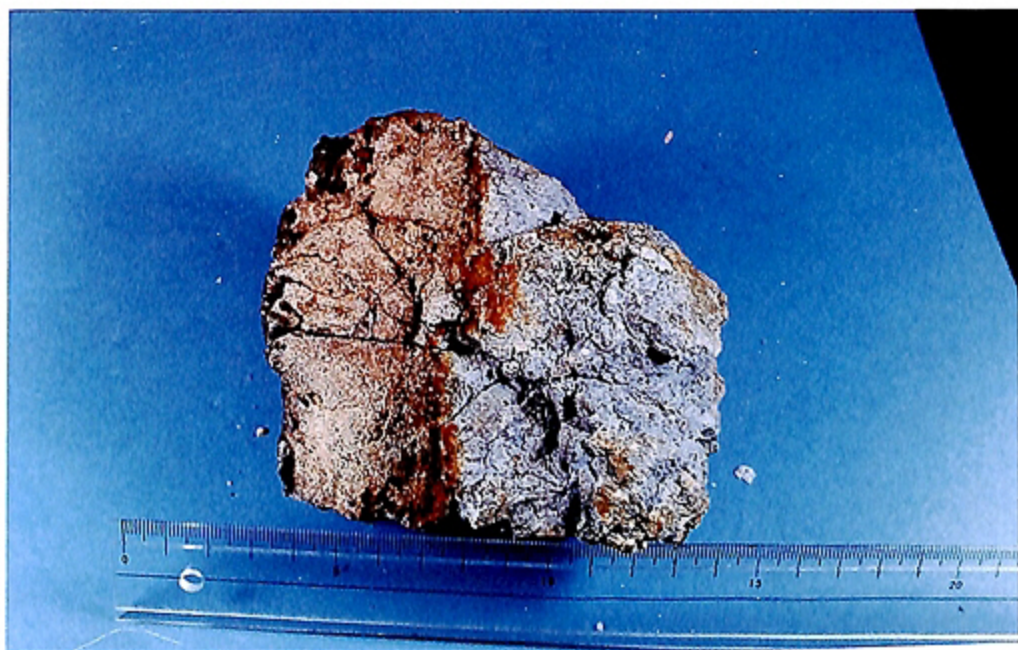


写真5 「しんかい2000」のマニピュレーターにより採取された岩石（# 253-2）。

Photo. 5 A rock sample (# 253-2) taken by the manipulator of "SHINKAI 2000."



写真6 採取された岩石の断面。大きな気孔を埋めているのは石英と黄鉄鉱。
スケールの目盛は1ミリ。

Photo. 6 Broken-out section of the sample (# 253-2).
Quartz and pyrite are filling large pores. Scale in the lower left is marked in mm.