

# 伊豆・小笠原弧北部, 明神海丘潜航調査報告 (#555)

湯浅 真人<sup>\*1</sup>

伊豆・小笠原弧の海底には、酸性火山噴出物を主体とする海底火山体が数多く存在する。これらの海山は、地形、山体に起因する磁気異常・重力異常の特徴及びドレッジにより大量の軽石が採取されていることから、海底で形成された火砕丘（軽石丘）であると考えられた。そのなかでも典型的な火砕丘の形態を示すのが明神海丘である。「しんかい2000」による潜航調査の結果、中央火口丘及びカルデラ壁下部（水深900m以深）が、想定されたような軽石層ではなく溶岩からなるということが明らかになった。これより上部では、水深約590mの頂上部まで厚さ300mを超える軽石層が堆積していた。すなわち、明神海丘は当初予想したような全体が軽石からなる火砕丘ではなく、下部は溶岩流ないし溶岩ドームからなる火山体が先に存在し、その後で軽石を噴出する活動が生じ、軽い軽石層が堆積したものである。

キーワード：伊豆・小笠原弧、海底火山、軽石丘、カルデラ、流紋岩

## Submersible Study of Myojin Knoll, Northern Part of Izu-Ogasawara Arc (#555)

Makoto Yuasa<sup>\*2</sup>

Many caldera volcanoes occur in the northern part of the Izu-Ogasawara Arc. These submarine calderas produced a large amount of pumice and show high gravity anomalies in the central part along with small amplitude of magnetic anomalies on the volcanic edifice. They have no equivalent in the usual classification of on-land calderas by many authors. Elsewhere I proposed that the submarine calderas associated with pumice in the arc were pumice cones which were difficult to have formed under subaerial conditions but easy under subaqueous conditions.

The Myojin Knoll is one of the typical pumice cones in the arc. It is located between Aogashima Island and Myojinsho Reef. Recent submersible study by "Shinkai 2000" shows that the knoll is constructed mainly of stratified pumice deposits and underlying rhyolitic lava. The eruption under the deep water conditions caused the deposition of pumice near the crater. The repetition of such eruptions formed the submarine pumice volcano. Acid volcanism under subaqueous conditions in the northern part of the arc

\* 1 地質調査所海洋地質部

\* 2 Marine Geology Department, Geological Survey of Japan

formed the pumice volcanoes with calderas.

Key words : Izu-Ogasawara Arc, Submarine volcano, Pumice cone, Caldera, Rhyolite

# 1. はじめに

伊豆・小笠原弧の火山フロントである七島-硫黄島海嶺は、北端部の伊豆大島から火山列島最南端の南硫黄島に至る、海底火山を含む第四紀火山列で示される。この海嶺は、南硫黄島南方の海底活火山である南日吉海山、日光海山等をへてマリアナ海嶺へと続いていく。これらの火山島及び海底火山列は、伊豆-小笠原海溝にほぼ並行して、直線状に南北に走っている(図1)。

伊豆・小笠原弧は従来、主として玄武岩質火山岩からなる未成熟な島弧と考えられてきた(例えば、Aramaki and Ui, 1978; Miyashiro, 1974)。近年、地質調査所、海上保安庁水路部、海洋科学技術センター、大学等により海底地形・地質調査が実施され、七島-硫黄島海嶺の海底には酸性火山岩からなる火山が数多く存在することが明らかとなり、注目された(大島ほか, 1981; 葉室ほか, 1983; 湯浅・村上, 1985; 村上・石原, 1985; Yuasa

et al., 1991)。これらの酸性火山岩を噴出している海底火山は、特徴的にカルデラ地形を伴っており、特に七島-硫黄島海嶺北部では、八丈島北方の黒瀬、青ヶ島東方、青ヶ島-明神礁間、スミス島北方及び南方等にカルデラ地形が存在する。カルデラ地形は七島-硫黄島海嶺北部の伊豆大島と蟠婦岩構造線(湯浅・村上, 1985)との間の16火山のうち、陸上火山も含めて実に10火山に認められる。カルデラ出現率は60%を超し、鈴木(1977)が示した全島弧における平均出現率20%に比べ異常に高い。一方七島-硫黄島海嶺南部では、カルデラ地形を伴うのはわずかに海形海山のみである。この海形カルデラも北部の海底カルデラが酸性火山岩を伴っているのに対し、ここでは安山岩、玄武岩からなるという違いがある。七島-硫黄島海嶺北部における酸性火山岩を噴出したカルデラの存在は、伊豆・小笠原弧の南北の違いを際立たせている1つの要素となっている(湯浅, 1991a)。

本稿は、上記海底カルデラの1つである青ヶ島-明神礁間の明神海丘を対象とした、「しんかい2000」による最初の観察結果を取りまとめたものである。内容については、すでに平成3年度第8回しんかいシンポジウムで発表した(湯浅, 1991b)。

# 2. 潜航調査の目的

前項で述べた、伊豆・小笠原弧北部の酸性火山岩を噴出している海底カルデラについて、海山の形態、山体に起因する磁気異常・重力異常の特徴及びドレッジにより大量の軽石が採取されていること等を理由に、湯浅・村上(1989)、Yuasa et al.(1991)は、これらを海底で形成された火砕丘(軽石丘)であると考えた。海底地質調査の際にドレッジなどで軽石が採取されると、それらは浮遊してきた異地性のものと考えられることが多かった。しかし、海底から採取された特異な形態を示す軽石について、それが海底で噴出した現地性の軽石であるとした報告もある(例えばKato, 1987によるwoody pumice)。また、Whitham and Sparks (1986)は加熱した軽石を水中に沈める実験を行い、700°Cに熱した場合は密度0.2 g/cm<sup>3</sup>の軽石でさえ水中に沈むことを示した。この実験は、海底で噴出した軽石が海面を浮遊して放散することなく、その場に沈積する可能性があることを暗示している。陸上における軽石噴出は通常の場合大爆発を伴うた

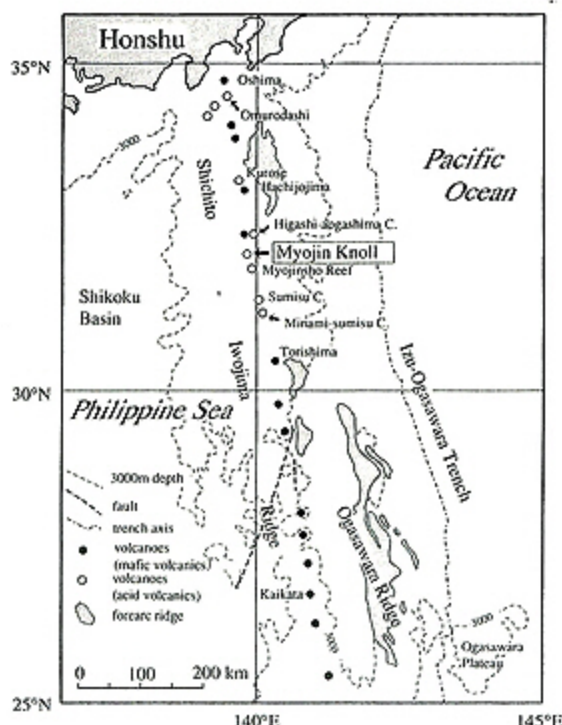


図1 伊豆・小笠原弧の火山島・海底火山の分布と明神海丘の位置

Fig. 1 Distribution of submarine volcanoes on the volcanic front of the Izu-Ogasawara Arc and locality of the Myojin Knoll.

め、放出された軽石は遠方まで飛散し、スコリア噴出に伴うような火砕丘を形成することは難しいとされている(守屋, 1984)が、海水中の噴出では海水と軽石との密度差が少ないこと、及び海水の粘性のため空気中におけるような飛行距離は得られず、浮遊による放散がなければ噴出口の近傍に堆積することが期待される。その場合、形成される火山体の形態としては、通常の火口に比べ径の大きい火口を伴う火砕丘様のものを想定することができる。火山地形上、このような形態のものはカルデラと呼ぶことができるが(荒牧, 1969)、陸上に見られるカルデラ火山の形態とは異なった特徴を示している。図2に陸上及び海底のカルデラ火山の底径・比高を比較して示した。両者の間の明瞭な違いは、海底カルデラ火山の方が比高が大きい点である。これは上記のような放出物の飛散距離の違いのみならず、水中では空気中に比べ山体斜面の安息角が大きいこと、及び海水の運動による影響を受けない程度の深度では侵食作用が弱いことを示しているであろう。伊豆・小笠原弧の火山フロント上には、同様の特徴をもつ海山が数多くならんでいる(図1)。これらのカルデラ海山群のなかでも、典型的な火砕丘の形態を示すのが明神海丘である。今回の潜航調査の目的は、潜航対象としている明神海丘が、想定されたようなカル

デラ地形を伴う軽石丘であることの確認である。

### 3. 明神海丘について

明神海丘は伊豆・小笠原弧の火山フロントである七島-硫黄島海嶺上にあり、青ヶ島の南南東、約38kmに位置する高まりである(図1)。山体は底径22km×18.5km、比高950mで、七島-硫黄島海嶺上の海山としては小型であり、中心部にカルデラを伴っている(図3)。カルデラ外輪山山頂の水深は600~700mで比較的に凹凸は少ないが、西側外輪山上に水深364mを示すピークがある。カルデラ縁は直径6~7kmの東西にわずかにのびた楕円形を示す。カルデラ底の水深は1,300~1,400m、直径は5~6km、カルデラのレリーフは700~900m、カルデラ壁の傾斜は20~30°と急峻である。カルデラ底中央部には底径2km、比高260m程度の中央火口丘がある。シングルチャンネルの音波探査断面(図4)では、カルデラ壁には成層した堆積層が露出している(村上・石原, 1985)。

明神海丘の地球物理学的性質については、村上・石原

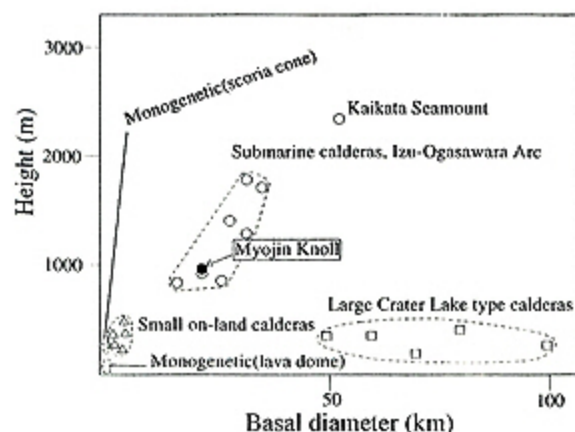


図2 伊豆・小笠原弧のカルデラ海山と陸上のカルデラ火山及び単成火山との形態比較。縦軸に比高(m)、横軸に底径(km)をとった。陸上の火山のプロットは守屋(1983)による。伊豆・小笠原弧のデータはYuasa et al. (1991)による。

Fig. 2 Comparison between terrestrial and submarine caldera volcanoes. Data for terrestrial calderas: Moriya (1983), submarine calderas of Izu-Ogasawara Arc: Yuasa et al. (1991).

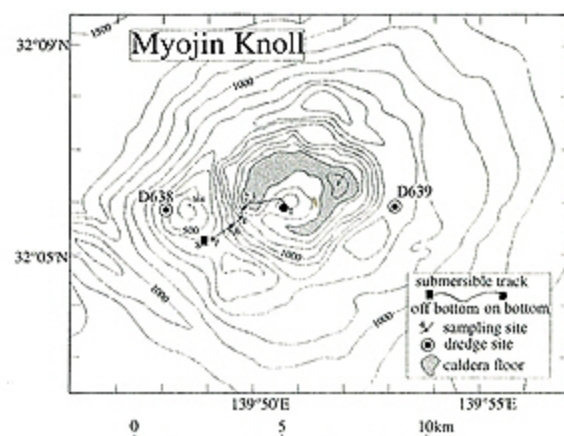


図3 明神海丘の地形と「しんかい2000」潜航調査の航跡及び試料採取地点。試料番号1~8は#555-1~8に対応している。1及び8の位置は、それぞれ最初の着底地点と最後の離底地点に同じ。D638、D639は表1で示した試料の採取地点(Yuasa and Nohara, 1992; 本潜航調査とは別の調査による)。

Fig. 3 Submarine relief of Myojin Knoll and submersible track with sampling sites. Numbers 1 to 8 correspond to samples #555-1 to 8. Sampling sites 1 and 8 are at the first "on bottom" point and the last "off bottom" point, respectively. D638 and D639 are the previous sampling sites of Yuasa and Nohara (1992) on the other cruise. Contour interval: 100m.

(1985), Ishihara and Yamazaki (1991) 及び Yamazaki et al. (1991) により重磁力調査の結果が報告されている。それによると、本海丘の磁気的性質は大変弱く、また重力異常図からは中央部に正の異常が認められている。

山体を構成する岩石として、従来の調査で得られているのは流紋岩質の軽石、石灰質岩及びごく少量の安山岩質岩である。流紋岩質軽石は斑晶鉱物として斜長石、単斜輝石、斜方輝石、まれに角閃石を含む (Yuasa and Nohara, 1992)。この軽石は化学組成上、本海域のほかの火山から得られている酸性岩の中では、 $\text{SiO}_2$  に富み  $\text{K}_2\text{O}$  に乏しいという特徴がある (表 1, 図 5)。

#### 4. 潜水船からの観察結果

潜航調査は1991年7月4日に実施された。潜水船には、潜航長：桜井利明、整備士：鈴木晋一、観察者：湯浅の3名が乗船した。調査は中央火口丘頂部及び西側カルデラ壁下～上部にて行われ、カルデラ底及びカルデラ壁基部については潜航時間の制約から観察を省略した。潜航観察ルートに沿う水深変化及び試料採取位置を図6に示した。以下に時間を追って観察結果を述べる。

表 1 明神海丘から採取された流紋岩質軽石の化学組成 (Yuasa and Nohara, 1992)。採取位置は図3に示した。

Table 1 Chemical compositions of rhyolitic pumice dredged from the Myojin Knoll (Yuasa and Nohara, 1992). Sampling localities (D638 and D639) are shown in Fig.3.

| Sample                  | D638-2 | D639-1 |
|-------------------------|--------|--------|
| $\text{SiO}_2$          | 71.22  | 73.33  |
| $\text{TiO}_2$          | 0.30   | 0.31   |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 13.27  | 12.81  |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 0.83   | 0.46   |
| FeO                     | 1.64   | 1.87   |
| MnO                     | 0.11   | 0.10   |
| MgO                     | 1.40   | 0.72   |
| CaO                     | 2.42   | 2.08   |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | 4.55   | 4.45   |
| $\text{K}_2\text{O}$    | 0.77   | 0.86   |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | 0.08   | 0.07   |
| $\text{H}_2\text{O}^+$  | 2.63   | 2.31   |
| $\text{H}_2\text{O}^-$  | 0.20   | 0.15   |
| Total                   | 99.42  | 99.52  |

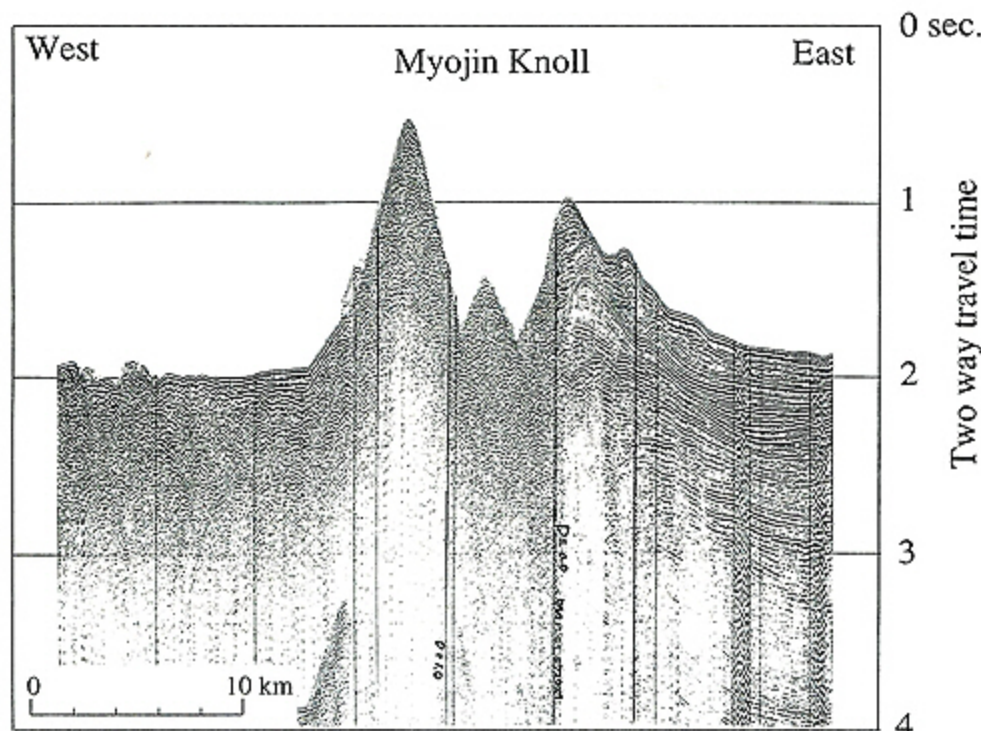


図 4 明神海丘の音波探査断面図 (村上・石原, 1985)。32°06'N を通る東西断面。縦軸は往復走時 (秒)

Fig. 4 Single-channel seismic profiling record along 32°06'N on the Myojin Knoll (Murakami and Ishihara, 1985).

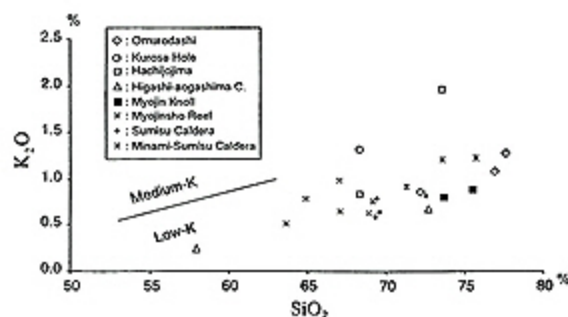


図5 伊豆・小笠原諸部の海底カルデラ及び八丈島の酸性火山岩の化学組成 ( $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  図)。データは大室だし：葉室ほか (1983)、八丈島：一色 (1959)、明神礁：諏訪 (1953)、森本 (1954)、その他：Yuasa and Nohara (1992) による。実線は Gill (1981) により安山岩について引かれた medium-K と low-K との境界線。C はカルデラの略号として使用

Fig. 5  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  diagram of acid volcanic rocks from submarine calderas and Hachijojima Is. Omurodashi: Hamuro et al. (1983), Hachijojima: Isshiki (1959), Myojinso Reel: Suwa (1953) and Morimoto (1954), other submarine volcanoes (C: caldera): Yuasa and Nohara (1992). Solid line is a boundary between medium- and low-K andesites by Gill (1981).

#### (1) 中央火口丘の観察

09:05 潜水船へ乗船。

09:35 潜航開始。

10:46 中央火口丘頂部の肩付近に着底。着底点付近にはブロック状の岩塊が分布していた (1,120m)。海水に接している岩石表面は黒色被膜に覆われ暗色をしているものの、堆積物に埋もれていた部分はそのような被膜はなく、重量感のある暗灰色の溶岩塊 (試料#555-1) であった。

11:15 中央火口丘頂部へ向け斜面を航走、尾根に達した (1,065m)。尾根上には平坦部があり、海底は部分的に明白色となっていて、変質した堆積物と考えられた (写真1)。堆積物を採取する道具を用意しなかったためサンプリングはできなかったが、マニピュレーターの先で海底を掘り返してみたところ、粘着性の堆積物である。おそらく熱水性の変質を受けていると考えられる。周囲には、流理構造をもつ巨礫大の軽石のブロックが認められるが、海底を広く覆うような分布はしていない。

11:30 頂部へ向かってさらに斜面を上昇すると、中央火口丘の外周に並行するたまねぎ状の節理が発達した溶岩が露出している。

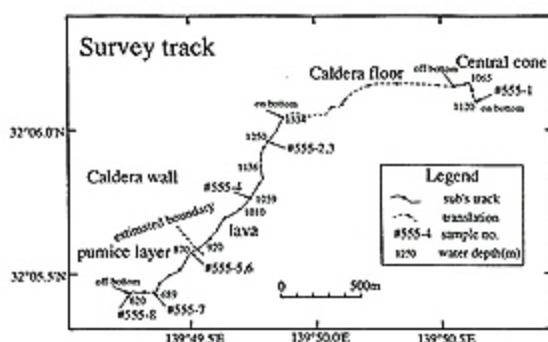


図6 潜航調査航跡と水深、試料採取位置。途中の○印はトランスポンダー航法により決められた「しんかい2000」の位置。カルデラ底上通過時は、「しんかい2000」の深度は海底面上100m程度に保ち、海底の観察は行っていない。カルデラ壁での溶岩と軽石層との推定境界を太破線で示した

Fig. 6 Sampling locations and water depth along the submersible track. (Also refer to Fig. 3) Small circles show the position determined by the transponder navigation system. Estimated boundary between the pumice layer and the lava on the caldera wall is shown by a thick broken line.

中央火口丘においては、軽石は海底表面に鎮座したもの以外には認められなかった。後述するような、カルデラ壁上部に大量に沈積している中礫サイズの軽石は、中央火口丘上には全くみられなかった。

#### (2) カルデラ壁の観察

中央火口丘の観察を終了した後、カルデラ底に着地することなしに海底面上100m程度の高さを保持しながら、カルデラ壁に向かって航走した。

12:23 水深1,334m付近でカルデラ壁の下部斜面にたどり着いた。カルデラ底の水深が1,400m程度なので、ここはカルデラ壁基底部に近い位置にあたる。傾斜は壁上部に比べ緩くなっていて、細粒の堆積物に覆われている。表面には軽石の転石は認められず、比較的スムーズな堆積物の面を示している。

12:37 水深1,250m付近で溶岩の露頭に到達 (写真2)。これは全面露頭ではなく、数mの露岩とその上を覆う堆積物がステップ状に繰り返している。溶岩には中央火口丘と同様の露頭面に並行するたまねぎ状の節理が発達し、場所によってはこれに直交する開口した割れ目が認められる。露頭直下の転石は湾曲面のある、片状に割れた岩片となっている。マニピュレーターにより塊状の試料を採取し

ようと試みたが、片状に割れてしまい、塊状の試料は採取されなかった。岩石は流紋岩質溶岩で、変質して明白色になっている(試料#555-2, 3)。これより上部は再び堆積物に覆われ露岩は認められないが、時に片状の転石が見られることがある。これは形態が前述の溶岩片と類似していることから同質の岩石と思われるが、後述するようにカルデラ壁上部に大量の軽石堆積物が存在するのにもかかわらず、下部斜面の堆積物上に軽石の転石が見られないことは中央火口丘上と同様、著しく特徴的である(写真3)。

13:01 水深1,140m付近でまた岩盤地帯に達した。海中に露出する面は暗色であるが、マニピュレーターをつかって割って見ると、破断面は明白色である。試料は採取していないが、割れ方、マニピュレーターからの岩片の落下の仕方は、壁の下位で見たような比較的密度の高い溶岩片ではなく、軽石であることを示している。1,059mで試料採取(#555-4)。

13:29 1,029m付近から堆積物上に大礫サイズの転石が増加し始めた。壁の上方を視認できないので礫の由来を確かめることはできないが、一部は粗粒な角礫からなる崖錐のようである。

水深900m付近より上位では角礫のサイズは小さくなり、中礫サイズの角礫を主体とする層がカルデラ壁そのものを構成するようになる(写真4)。礫の岩質は白色の軽石であることが潜水船内より視認できた。これより上部では、カルデラ壁は大量の軽石層からなるようになり、礫の粒度は中礫程度の大きさで比較的そろっているが、ところどころに大礫サイズの角礫が含まれる(#555-5, 6採取)。この厚い軽石層中には、層理面や地層境界のような不連続面は観察されず、壁の一部がところどころで崩れ小さな崖錐をつくっているほかは、構造の変化はない(#555-7採取)。このような軽石層からなる壁は水深650m付近まで続く。

今回の潜水調査により登頂を行ったカルデラ外輪山頂部の水深は約590mであるが、外輪山頂部直下の水深650m付近より上で成層構造の見える軽石層(写真5)の存在が認められた(#555-8採取)。外輪山頂は軽石層が形成する平坦面であり、直径1~2mに達する巨大な軽石ブロックが平坦面上に点在している。

以上の観察の後、「しんかい2000」は調査行動を終了し、

15:17海底を離脱した。

## 5. 採取した岩石試料の記載

潜航調査中に採取された岩石はいずれも酸性火山岩である。暗色をした中~塩基性と思われた岩石も、破碎した面は白色であり酸性火山岩であった。表1に示したように、これまでにこの海丘から採取されている酸性火山岩はSiO<sub>2</sub>含有量70%以上の流紋岩質のものであり、斑晶鉱物組み合わせも同一であることから、これらも流紋岩として以下に簡単に記載する。

#555-1: 含角閃石石英斜方輝石単斜輝石流紋岩質溶岩

淡青灰色の岩石で、長径1~2mmの斜長石斑晶が白色の点となって散在する。わずかに気泡が認められる。鏡下では、斑晶として少量の淡緑褐色普通角閃石、斜方輝石、単斜輝石、斜長石、石英(融食されている)、鉄鉱が認められる。石基は無色透明のガラスと針状の斜長石からなるハイアロピリティック組織を示す。

#555-2, -3: 変質した流紋岩質溶岩

湾曲した片状の岩片で、脱色したような白色をしている。斑晶として斜長石、石英と少量の鉄鉱が認められる。輝石の仮象はあるものの、苦鉄質鉱物はまったく残っていない。粘土化を受けているが、もとは流紋岩質の溶岩であろう。

#555-4: 含角閃石石英斜方輝石単斜輝石流紋岩質軽石

軽石ということが出来る程度に多孔質な、白色の岩石である。斑晶鉱物の組み合わせは#555-1と同様である。石基は流理のあるガラス質で、発泡している。気泡は流理に沿って引き伸ばされていることが多い。

#555-5, -6, -7, -8: 斜方輝石単斜輝石流紋岩質軽石

#555-4に比べ発泡度が高く、一部繊維質になっている軽石である。斑晶量は少ない。気泡の大きさは不均質で、石基のガラス中には針状斜長石のほか、微細な結晶が含まれ、清澄でない。

## 6. 潜航結果の考察

今回の潜航調査で明らかになり当初の予想と異なっていたのは、中央火口丘及びカルデラ壁下部(水深900m以深)が、想定されたような軽石層ではなく溶岩からなるということであった。カルデラ底(1,400m)及びカルデラ壁最下部については観察を行っていないが、潜水船から視認することのできた最深部1,334m付近は露岩の様子から溶岩と考えられ、堆積物により覆われている可能性はあるものの、おそらくカルデラ壁は水深900m付近から最下部まで溶岩が分布するのであろう。これより上部

では溶岩流との直接の関係は確認できなかったが、水深約590mの頂上部まで厚さ300mを超える軽石層が堆積していた。すなわち、明神海丘は当初予想したような全体が軽石からなる火砕丘ではなく、下部は溶岩流ないし溶岩ドームからなる火山体が先に存在し、その後で軽石を噴出する活動が生じ厚い軽石層が堆積したものである。山体の形態から見て、軽石層はカルデラ壁から裾の方向へ向かって層厚を減じていると考えられ、採取及び観察された軽石にも水磨された形跡がないことから、浮遊してきたものがここに選択的に沈積したのではなく現地性の軽石の堆積があったと判断できる。さらに、軽石層は比較的淘汰がよく中礫サイズにそろっていることから、大量の軽石が噴出口から軽石流としてあふれ出たものではなく、いったんは水中に噴き上がりその後降下し堆積したものといえよう。

一方、中央火口丘の存在は、もともと軽石の沈積による高まりとは考えにくく、軽石丘形成という当初のシナリオにとって直接的な関連性が明瞭でなかったが、これが溶岩ドームであり、カルデラ壁に厚く堆積している中礫サイズの軽石がドーム上にまったく見られないことから、カルデラを形成した軽石噴出の後でカルデラ底上に形成されたものと考えられる。

## 7. ま と め

明神海丘における潜航調査により、軽石を主体とするタイプの海底火山が観察され、海底における酸性火山の形成過程が確認された。

明神海丘の形成史は以下のようにまとめられる。

- (1) 海底に、流紋岩質の溶岩ドームないし溶岩流を主体とする火山（比高500mを超える）が形成された。
- (2) 軽石を噴出する爆発的噴火活動が起こり、大型の火口を生じた。噴出した軽石は短時間のうちに火口周辺に堆積し、カルデラ状の凹地を伴う火砕丘様の高まりを形成した。
- (3) カルデラ底上に後カルデラ火口丘が形成された。

## 謝 辞

明神海丘の潜航調査にあたっては、「しんかい2000」運航チーム並びに母船「なつしま」乗組員の皆様に大変お世話になった。潜航結果については海洋科学技術センター深海研究部藤岡換太郎博士及び仲二郎博士、Smithsonian Institution (USA) のR.Fiske博士に議論していただいた。University of Otago (NZ)、河内洋佑博士並びに地質調査所宇都浩三博士には原稿に目を通していただ

き、ご助言をいただいた。潜航目的・地点の決定は、地質調査所海洋地質部の伊豆・小笠原海域調査グループの方々とともに行った調査・研究結果に基づいている。以上の方々に厚く感謝いたします。

## 引用文献

- 荒牧重雄(1969): カルデラに関するいくつかの問題、火山, 14, 55-76.
- Aramaki, S. and T. Ui (1978): Major element frequency distribution of the Japanese Quaternary volcanic rocks. Bull. Volcanol., 41, 390-407.
- Gill, J.B. (1981): Orogenic andesites and plate tectonics. Springer-Verlag, Berlin, 390pp.
- 葉室和親・荒牧重雄・藤岡換太郎・石井輝秋・田中武男・宇都浩三 (1983): 東伊豆沖海底火山群—その2—および伊豆諸島近海海底火山、震研報, 58, 527-557.
- 一色直記 (1959): 5万分の1地質図幅「八丈島」及び同説明書、地質調査所、川崎、58pp+英文要旨5pp.
- Ishihara, T. and T. Yamazaki (1991): Gravity anomalies over the Izu-Ogasawara (Bonin) and northern Mariana Arcs. Bull. Geol. Surv. Japan, 42, 687-701.
- Kato, Y. (1987): Woody pumice generated with submarine eruption. Jour. Geol. Soc. Japan, 93, 11-20.
- Miyashiro, A. (1974): Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. Am. Jour. Sci., 274, 321-355.
- 森本良平 (1954): 1952-1953年の明神礁の活動経過と第五海洋丸の遭難、特に第五海洋丸の漂流物に見られた火山岩片について、東大地球学報, 3, 5-14.
- 守屋以智雄 (1983): 日本の火山地形、東京大学出版会、東京、135pp.
- 守屋以智雄 (1984): “第4章 火砕丘、概説、”p88-91. In: 空中写真による日本の火山地形、日本火山学会編、東京大学出版会、東京、192pp.
- 村上文敏・石原丈実 (1985): 小笠原島弧北部で発見された海底カルデラ、月刊地球, 7, 638-646.
- 大島章一・登崎隆志・小野寺健英・兼子俊朗・植田義夫 (1981): 北陸地方、中部地方及び関東地方周辺海域の地磁気異常、水路部研究報告, 16, 25-45.
- 諏訪 彰 (1953): 明神礁の海底噴火について、地学雑誌, 62, 100-110.

- 鈴木隆介 (1977) : 火山型とその地域別個数比. 火山, 22, 27-40.
- Whitham, A. G. and R. S. J. Sparks (1986) : Pumice. Bull. Volcanol. 48, 209-223.
- Yamazaki, T., T. Ishihara and F. Murakami (1991) : Magnetic anomalies over the Izu-Ogasawara (Bonin) Arc, Mariana Arc and Mariana Trough. Bull. Geol. Surv. Japan, 42, 655-686.
- 湯浅真人 (1991a) : 伊豆・小笠原弧の地学現象に見られる南北対立はなぜ生じたか. 地学雑誌, 100, 458-463.
- 湯浅真人 (1991b) : 七島-硫黄島海嶺北部の海底カルデラ : 明神海丘潜航調査. 第8回しんかいシンポジウム予稿集, 69-71.
- 湯浅真人・村上文敏 (1985) : 小笠原弧の地形・地質と端岩構造線. 地学雑誌, 94, 117-136.
- 湯浅真人・村上文敏 (1989) : 七島-硫黄島海嶺北部の海底カルデラの成因について(演旨). 火山, 34, 131.
- Yuasa, M., F. Murakami, E. Saito and K. Watanabe (1991) : 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. Bull. Geol. Surv. Japan, 43, 421-456.

(原稿受理: 1995年5月10日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

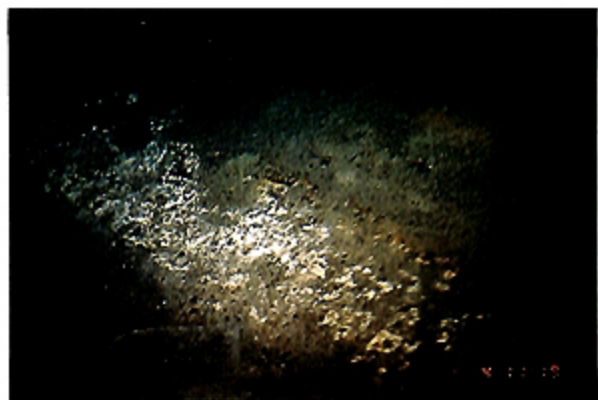


写真1 中央火口丘上の白色変質物質  
Photo 1 Hydrothermally altered material on the flat surface of central cone.

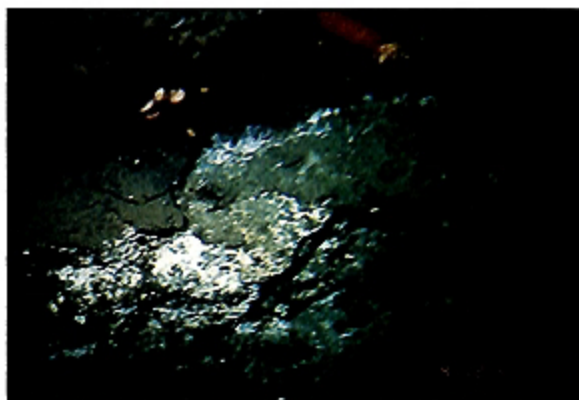


写真2 カルデラ壁下部の流紋岩質溶岩の露頭  
Photo 2 Outcrop of rhyolitic lava on the lower wall.

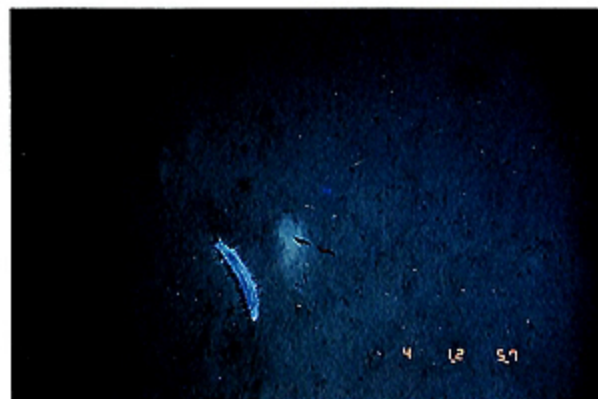


写真3 カルデラ壁下部を覆う堆積物。軽石の転石は見られない  
Photo 3 The absence of pumice accumulations at the base of lower wall.

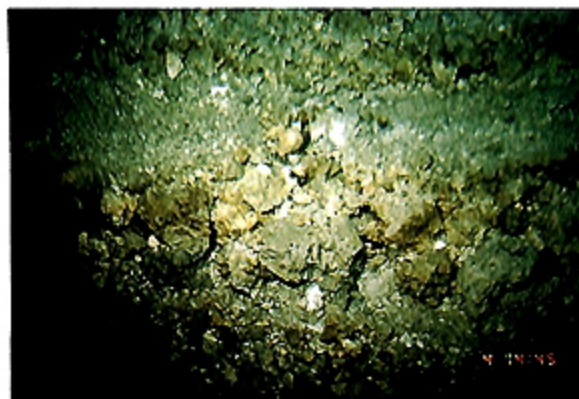


写真4 カルデラ壁上部の厚い軽石層  
Photo 4 Thick accumulation of pebble-sized pumice on the upper wall.



写真5 成層構造の見える軽石層。カルデラ壁最上部  
Photo 5 Stratified pumice layer near the top of wall.