小笠原—七曜海山列の木曜海山，土曜海山および水曜海山の火山地質

長岡信治*1　春日　茂*2　加藤幸弘*2

伊豆・小笠原弧の孀婦岩と西之島の間には7つの海底火山が分布する。このうち，土曜海山，木曜海山，水曜海山の3つの海山について「しんかい2000」を用いた潜航調査を行った。そして，各海山の形成史について以下のようなことが明かになった。

1）木曜海山

木曜海山は，成層火山を形成後，玄武岩質火山角礫を大量に放出し山頂部にカルデラを形成した。このカルデラ形成期の大規模な噴火は，地形的にみて，2回以上起きた。カルデラ形成後，カルデラの東部に玄武岩の溶岩ドームができた。それと前後して，カルデラ西壁上で玄武岩質枕状溶岩の噴出があった。現在もカルデラの中で複数の熱水の噴出箇所が確認された。

2）土曜海山

土曜海山は，最初，玄武岩質溶岩流の噴出を主体とする成層火山を形成した。その後，2度の山体崩壊が北東部で起き，小笠原トラフに岩屑流を堆積させた。この崩壊の後には，玄武岩の溶岩ドームが形成された。最新の噴火は，溶岩ドーム付近で起きたガラス質玄武岩質溶岩とスコリア・火山灰の噴出である。ここでも現在，熱水の噴出が見られた。

3）水曜海山

水曜海山では，デイサイト一流紋岩質溶岩を主体とする円錐火山体および山頂の旧火口形成後，旧火口の一部を含む北東斜面が崩壊し，馬蹄形カルデラが形成された。その後，崩壊した火口壁の位置にデイサイトの溶岩ドームができ，さらに，そのドームの南東部が吹き飛んで，新火口が形成された。また，新火口底では熱水を噴出する硫化物鉱床を確認した。

Geology of Mokuyo Smt., Doyo Smt. and Suiyo Smt. in the Sitiyo Seamounts on the Ogasawara arc.

Shinji NAGAOKA*3 Shigeru KASUGA*4 Yukihiro KATO*4

Seven notable submarine volcanoes are distributed between Sohu-gan and Nisino-sima along the Izu-Ogasawara arc. Mokuyo Smt., Doyo Smt. and

---

＊1　長崎大学教育学部
＊2　海上保安庁水路部
＊3　Faculty of Education, Nagasaki University
＊4　Hydrographic Department, Maritime Safety Agency

Suiyo Smt. were surveyed by the submergible vessel SINKAI 2000 and survey results are summarized as follows.

1) Mokuyo Smt.

After forming the staratovolcano, Mokuyo Smt. erupted a large amount of basaltic breccia, accompanied by a caldera on its top. The topographic feature shows this large eruption occurred at least two times. After a formation of the caldera, basaltic lava dome was created on the east side of the caldera and basaltic pillow lava was erupted on the top of western caldera wall at nearly same time. Some hydrothermal activities are recognized in the caldera.

2) Doyo Smt.

Originally, Doyo Smt. was a stratovolvano accompanied by mainly basaltic lava effusion. The volcano collapsed two times and debris flow deposit was driven to the Ogasawara Trough. Then a basaltic lava dome was created. The latest eruption occurred close to the lava dome with emitting glassy basaltic lava, scoria and ash. Some hydrothermal activities are recognized.

3) Suiyo Smt.

After the formation of dacite-ryolite conical volcano with a crater on its top, northeastern part of the volcano including the crater collapsed and horseshoe-shaped caldera was formed. Afterwards, dacitic lava dome was created in the collapsed crater wall and then a new crater was formed with blowing off the two thirds portions of the southeastern part of the dome. Some active hydrothermal ore deposits were discovered at the bottom of the new crater.

1．はじめに

伊豆・小笠原弧の孀婦岩と西之島の間の海底には，南北方向に配列した多数の海山が認められる。その内の大きな七つの海山には七つの曜日にちなんだ名前が与えられている（湯浅，1989，図1）。1989年1月海上保安庁水路部所属の測量船「拓洋」により，ナローマルチビーム測深機を用いた七つの海山の詳細な地形調査が行われた。その結果，七つの海山について，それぞれ異なった特徴ある火山地形が明かとなった（長岡ほか，1991）。現在活発な火山活動を行っている伊豆・小笠原弧において，これらの海底火山が，いつどの様な活動を行ったのかを知ることは極めて重要である。そこで，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，噴出物の採取を試みた。今回は，山頂部にカルデラを持つ木曜海山，馬蹄形カルデラを伴う土曜海山および山頂火口を伴う水曜海山を調査対象とした。長岡が1990年7月22・23日の dive 491・492で木曜海山に，7月24日の dive493で土曜海山に，春日が1991年7月18日の dive 561で木曜海山に，1991年7月19日の dive 562で水曜海山にそれぞれ潜航した。

2．木曜海山

2－1 地形地質概観

木曜海山は小笠原諸島父島の北西220km にあり，底面の直径が70km 以下，小笠原トラフからの比高が3000m 以上に達する，大型の円錐型火山である。「拓洋」のナローマルチビーム測深機による地形調査から，山頂部には，長径3km，短径2.3km，深さ450m，最大水深1380m のほぼ楕円形のカルデラが認められた（図2）。カルデラ底の中央には比高180m の中央火口丘がある。水深819m の最高点はカルデラを取り巻く外輪山の北東部にある。

地形図をよくみると，一見単純そうなカルデラの地形も複雑である。まず，北半分の外輪山は二重になっているのが読み取れる（図2）。このこ

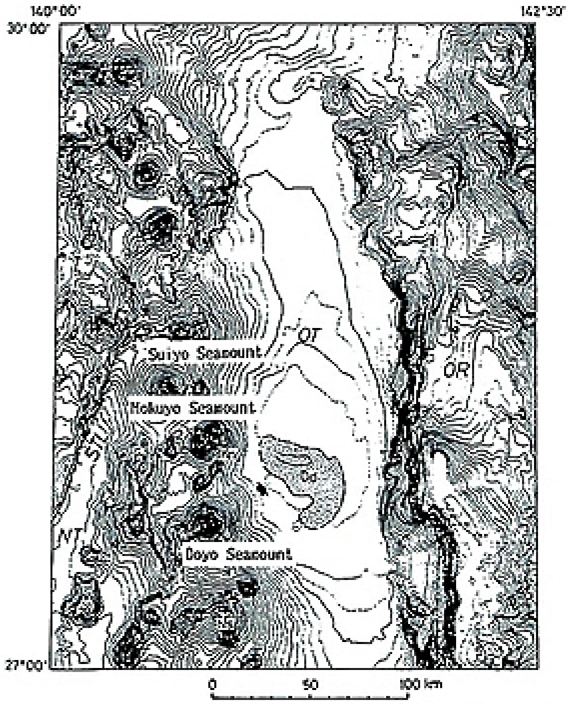

図1　ナローマルチビーム測深機による七曜海山周辺の海底地形図
OR：小笠原海嶺，OT：小笠原トラフ，NT：西之島トラフ，STL：孀婦岩構造線，S：孀婦岩，N：日曜海山，G：月曜海山，K：火曜海山，Kn：金曜海山，Ns：西之島および西之島新島，C：父島，Dd：土曜海山からの水中岩屑流堆積物の弧状の高まり．

Fig. 1　Bathymetric chart of Sitiyo seamounts
OR：Ogasawara Ridge. OT：Ogasawara Trough. NT：Nisinosima Trough. STL：Sohu-gan tectonic line. S：Sohu-Gan. N：Nitiyo Smt (seamount)．G：Getuyo Smt. K：Kayo Smt. Ns：Nisinosima and Nisinosima-Sin-To. C：Titi-Jima. Dd：Crescent-shaped hill of subaqueous debris flows from Doyo Smt.

とから，少なくとも二回のカルデラ形成イベントが起きたことが推定される。しかし，カルデラ壁の地滑り地形（二重山稜）の可能性も否定できない。

さらに，カルデラの内部，カルデラ底の北部に火口と考えられるおわん状の凹地が認められる。これは先にカルデラ最深部とした部分である。この火口は，長径1km，短径0.5kmで，火口底は周囲のカルデラ底よりもさらに100－60mも低い。中央火口丘の北半分は，この火口により破壊されている。したがって，この火口は，明らかにカルデラおよび中央火口丘の形成より後である。以上の地形図の判読から，木曜海山は，大型円錐火山体の形成→二回のカルデラ形成→中央火口丘の形成→カルデラ内の火口形成，という発達過程が推定される（図8 A）。

木曜海山からは，カンラン石玄武岩や普通輝石玄武岩がドレッヂされている（地質調査所，1987；1988）ほか，カンラン石単斜輝石玄武岩質の枕状溶岩が得られている。

2－2　潜航調査の概要

491潜航

この潜航調査においては，カルデラ壁の地質とカルデラ形成時の噴出物を確認するために，カルデラ内に着底しカルデラ壁に沿って浮上するというコースをとった（図2，図3）。

まず水深1170mのカルデラ北壁の下部に着底した。着底点は細礫混じり砂質の急斜面で，カルデラ壁からの崩落物からなる崖錐であった。さらに，この崖錐斜面を下り，水深1310mのカルデラ底に達した。カルデラ底は，軽石混じりの砂からなり，表層には海水の流れを示すリップルマークが見られた。海水は白く濁り，昇華物と考えられる風花状の物質が浮遊していた。これらの事は，カルデラのどこかで熱水などの噴出があり，カルデラ内の海水の対流が起きていることを示しているのであろう。

次にカルデラの西壁に沿って浮上した。1300－1135mは，溶岩の巨礫を混じえる角礫層からなる崖錐堆積物が，カルデラ壁下部を厚く覆っているため，露頭を確認できなかった。崖錐のない上部の壁は切り立っていて，山体の構成物が観察された。1135－1110mは，火山角礫層，1110－1076mは，2フローユニットの溶岩であった。下部の崖錐堆積物中の溶岩礫の供給源はこの溶岩と考えられる。さらに，1076－917mのリムまでは，黄褐－暗灰色の発砲した不淘汰で無層理の火山角礫層である。粒径は大－巨礫大が多く，マトリクスは火山灰である。層相変化に乏しいが，上位になるにつれ，白っぽい溶岩の礫を混じえるようになる。このような特徴から，この角礫層は，極めて短期間に大量に噴出したもので，さらに，カルデラ壁の最上部を構成することから，カルデラ形成

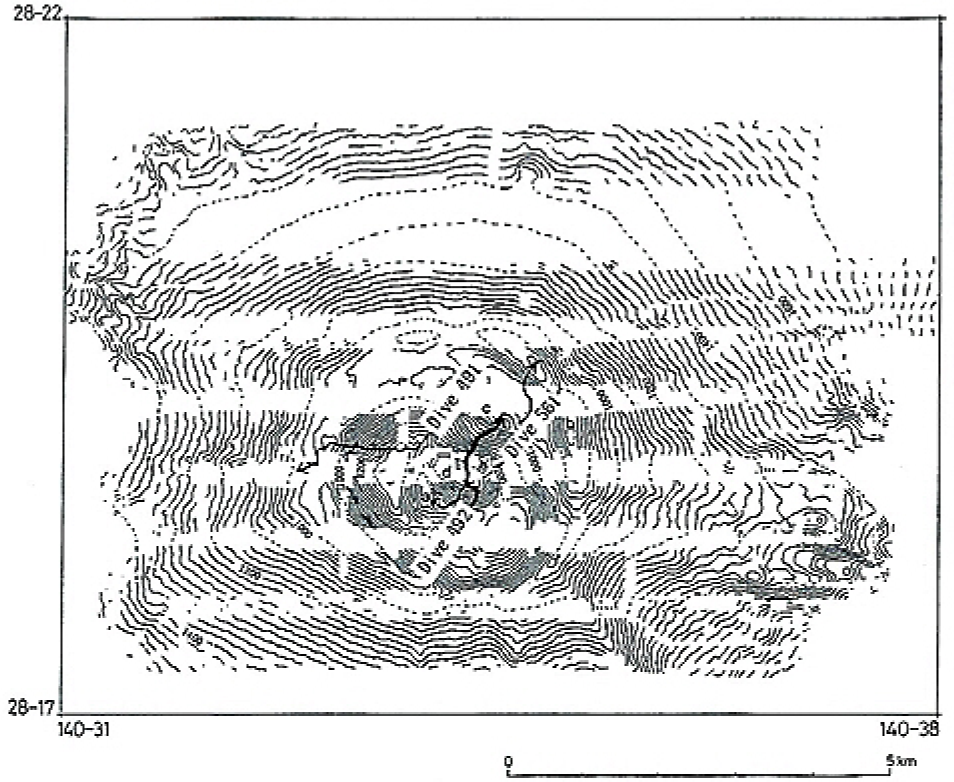

図２　ナローマルチビーム測深機による木曜海山の海底地形図としんかい2000のルートマップ
a：中央火口丘，b：外側のカルデラ，c：内側のカルデラ，d：最新火口.
Fig. 2 Bathymetric chart of Mokuyo Smt and the track lines of Dive 491, 492 and 561.
a：Central cone, b：Outer caldera, c：Inner caldera, d：Latest crater

に係わった噴出物と考えられる。また，溶岩の下位にある火山角礫層もカルデラ形成に係わる堆積物かもしれない。

カルデラ壁を登りきったリムの上には玄武岩質の枕状溶岩流が広がっていた。幅1m以上高さ50cm以上のフローユニットが，何枚も認められた。溶岩の一部をサンプルしたところ，それは玄武岩質で，表面は厚さ5cm程のガラス質でクラックのはいった殻に覆われていた。この溶岩流は下位の厚い火山角礫層を覆っており，上位には何もなく直接海底に露出していることから，カルデラ形成後，縁に沿って噴出したと推定される。しかし，中央火口丘の溶岩ドームやそれを破壊する火口との時代関係は不明である。

492潜航

492潜航は，カルデラの中の中央火口丘を破壊している最新の火口底に降り，中央火口丘および最新火口の噴出物，北側の二重のカルデラ壁のうち内側のものの構成物を観察することを目的とした（図２，図４）。

まず，火口南壁中腹の水深1290mに着底し，中央火口丘の構成物を観察することができた。中央火口丘は，暗灰色の多孔質な単斜輝石玄武岩の溶岩（表１の試料900723-1）からなっていた。また，付近の海水は白濁していた。そこから崖にそって，1367mの火口底まで下降した。火口底は砂質で，リップルマークが見られた。

そのまま北上し火口北壁に取り付いた。1214m付近までは崖錐堆積物に厚く覆われていた。1214m付近の崖錐の砂礫は表面を白色の昇華物に覆われ，隙間から熱水が湧き出し，海水が揺らいでいた。サーミスターを差し込んだところ，40.1℃を指していた。付近には多くのアミ類やカニ類が生息していた。1214－1140mは垂直に延びる岩脈が露出していたが，そこでも海面が揺らい

でいた。岩脈の上にはカニ類や二枚貝がコロニーを形成していた。おそらく，崖錐堆積物との境界や岩脈に沿って熱水が噴出していると考えられる。

1140m から1040m の火口北壁上部は，巨一大礫大の火山角礫層からなっていた。サンプルした礫はやや多孔質の溶岩片であり，その表面は沈澱物で黄赤褐色に汚染されていた。これが最新火口形成時の噴出物と考えられる。1040−1016m は，テラス状の平坦面で，火口壁の一部が滑落したためにできたものであろう。そこでは，先ほどの角礫の上をリップルマークを伴う砂が薄く覆ってい

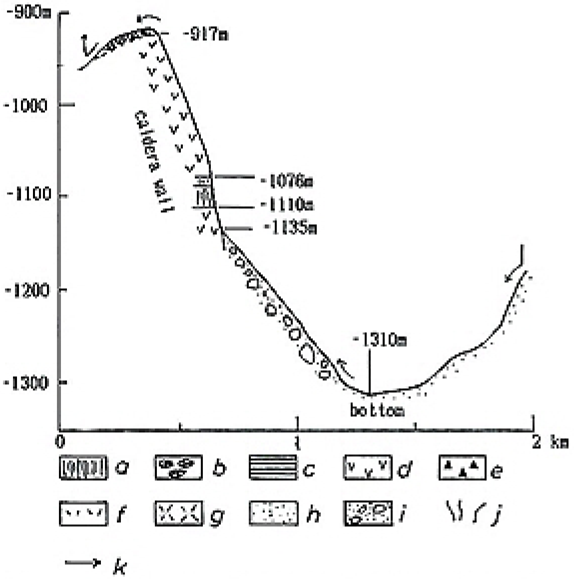

図 3　Dive491のルートに沿った木曜海山の地質断面
a：溶岩，b：枕状溶岩，c：岩脈，d：火山角礫岩，e：スコリア，f：火山灰，g：凝灰角礫岩，h：砂，i：崖錐堆積物，j：熱水噴出箇所および海水の揺らぎ，k：「しんかい2000」の進行方向。

Fig. 3　Annotated profile of Mokuyo Smt along Dive 491
a：Lava, b：Pillow lava, c：Dike, d：Volcanic breccia, e：Scoria, f：Ash, g：Tuff breccia, h：Sand, i：Talus, j：Hydrothermal, k：Direction of Shinkai 2000

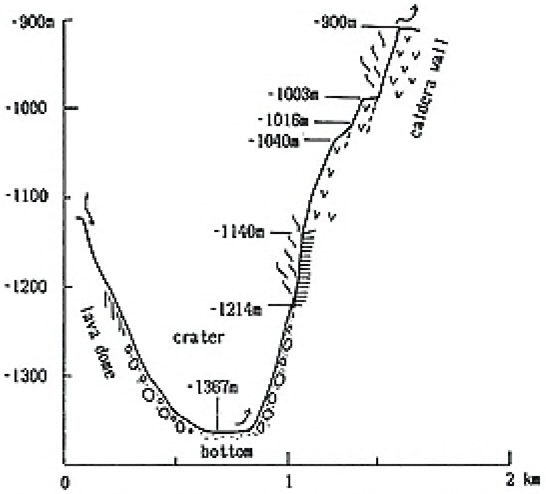

図 4　Dive 492のルートに沿った木曜海山の地質断面
凡例は図 3 参照

Fig. 4　Annotated profile of Mokuyo Smt along Dive 492

表 1　蛍光 x 線分析ガラスビード法による各海山から採取された岩石の化学組成

Table 1　Representative chemical analyses of volcanic rocks from Mokuyo, Doyo and Suiyo Smts

Sample No.	900723-1	900723-8	900724-1	910718-5	910718-6	91078-7	910719-5	910719-6
Si O2	52.11	51.42	50.23	52.8	52.88	53.3	63.93	68.1
TiO2	0.99	0.88	0.86	0.97	1.02	1.06	0.47	0.48
Al2O3	14.94	15.14	20.34	16.02	15.22	15.11	15.15	15.74
FeO	9.97	9.62	7.45	7.56	8.89	9.37	1.14	2.1
Fe2O3	1.36	0.79	1.32	3.91	2.86	2.6	3.51	2.36
MnO	0.21	0.2	0.12	0.18	0.19	0.2	0.04	0.12
MgO	4.74	4.96	3.34	4.46	4.23	4.3	1.99	1.55
CaO	9.48	10.03	10.92	10.09	9.74	9.67	4.58	4.81
Na2O	2.54	2.47	2.56	2.64	2.65	2.73	2.81	3.14
K2O	0.48	0.45	0.66	0.38	0.49	0.5	0.85	1.01
P2O5	0.14	0.13	0.17	0.13	0.13	0.14	0.11	0.11
H2O-	0.75	0.42	0.69	0.25	0.05	0.2	1.72	0.21
H2O+	0.33	0.78	0.15	0.43	0.49	0.5	1.76	0.29
Total (wt %)	98.04	97.29	98.81	99.82	98.84	99.68	98.06	100.02

た。1016m からは再び急崖で，1003m で火口縁に達した。火口縁上は平坦地で，1140m から見られる角礫が露出していた。礫はしばしばリップルマークを伴う砂に覆われていた。

988m から，再び急斜面が始まる。この斜面は，それまでの最新火口の壁とは明瞭で連続的な平坦面でもって区別されることから，最新火口より古い，内側カルデラ北壁と考えた。このカルデラ壁の下部の988－920m は，巨礫大の火山角礫の崖錐斜面である。この礫の表面は，赤褐色に汚染され，付近に変質帯や海水の揺らぎが認められた。また，時折，白いカニ類が見られた。この様な事実から，この崖錐斜面一帯では熱水の湧き出しが生じていると考えられる。

920－904m はカルデラ壁最上部の急崖で，904m 地点から北は北側に緩く傾斜する内側外輪山の北斜面となっていた。この崖には，崖錐堆積物の給源と見られる大礫大の火山角礫層が認められた。これはカルデラ壁の上部を占めていることから，カルデラ形成期のものと考えられる。層位的にみて，おそらく491潜航で確認された火山角礫層と同時期のものと推定される。この角礫層は，マトリクスは少なく，淘汰はやや良く，弱い層理が認められた。個々の礫は，表面はクラックが入り褐色に汚染されている。採取した礫の岩質は暗灰色の均質な単斜輝石玄武岩（表１の試料900723-8）で，内部には直径数㎜の粒状の空隙が多数認められる。

561潜航

北側の外側のカルデラ壁の断片および中央火口丘山頂部の調査を目的とした（図２，図５）。

まず，内側外輪山の水深940m の北側斜面に着底した。着底点の海底は発泡した礫の混じる暗灰色の砂からなり，そこには南東への流れを示唆するリップルマークが見られた。外輪山の斜面を下って行くと，水深947m から，枕状溶岩が斜面下方へ流下していた。953m からは，この溶岩がところどころ暗灰色の砂に覆われ始め，やがて斜面の下に広がる砂の平坦な海底面下に埋没してしまう。この平坦な海底は，内側と外側の外輪山の間に広がっていて，980－993m の水深を持つ。ここでも南東への流れを示すリップルマークが見られ

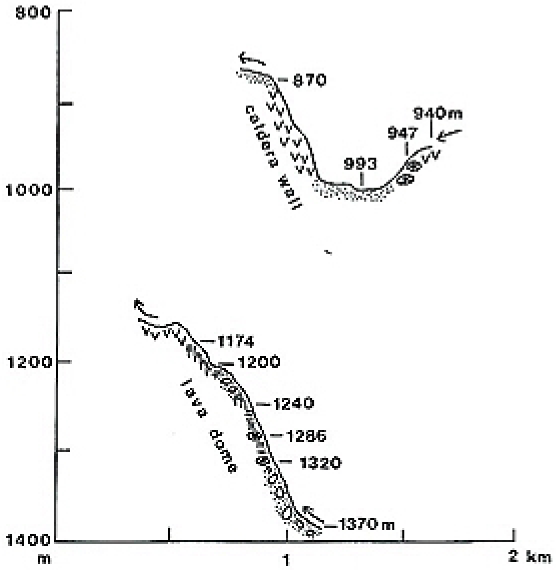

図５　Dive 561のルートに沿った木曜海山の地質断面
凡例は図３参照

Fig. 5　Annotated profile of Mokuyo Smt along Dive 561

る。リップルマークの窪みには多数の黄色の粒子が堆積していた。

この平坦な海底面の北側には，外側の外輪山の崖（内壁）が接している。崖は水深990－870m までであって，無層理の不淘汰な火山角礫層からなっていた。これは，外側カルデラ壁最上部を構成していることから，内側のカルデラが形成された時の噴出物で，外側カルデラそのものが形成されたときの噴出物はこの下位に存在すると考えられる。870－860m は，傾斜の緩やかな暗灰色の砂質の斜面で，所々に灰白色の小さな溶岩塊と白い二枚貝の貝殻が散在している。

次に，一挙に南の最新の火口へ向け移動し，水深1370m の火口底南部の緩斜面に着底した。この付近の海底は，溶岩礫を混える砂からなる。ここから南の火口壁，すなわち中央火口丘の北斜面を上昇した。中央火口丘の溶岩ドームの内部が観察されたが，以下に述べるように複雑であった。斜面の下部は溶岩塊からなる崖錐堆積物が続き，1320－1310m では枕状溶岩の断面，1290－1282m は節理の発達した240°方向の幅４－５m の岩脈，1280－1270m では再び枕状溶岩の断面，1265－1255m には320°方向の岩脈が，それぞれ認められた。こうした枕状溶岩は当時の溶岩ドームの表

層を意味しているので，溶岩ドームが一度にできあがったのではなく，少なくとも二つの時期に分かれて形成されたことを示唆している。上位の岩脈付近では，この岩脈に由来すると考えられる転石を採取したところ，その岩質はかんらん石単斜輝石玄武岩（910718－5）であった。1240m 付近からは溶岩の露頭が現れ，1230－1220m 付近は溶岩の崩落物からなる崖錐の緩斜面，1220m から再び溶岩の露頭が出現する。1220m 付近以浅の海水は白濁し，視界が悪く，岩石の一部も白く変質している。1174m から上の中央火口丘山頂部付近は火山角礫に覆われている。その礫の一部を採取したところ，多孔質のカンラン石単斜輝石玄武岩（表１の試料910718－6）や同玄武岩質安山岩（表１の試料910718－7）であった。

3．土曜海山

3－1　地形地質概観

土曜海山は父島の西北西155km に位置する円錐型火山である。山頂部の水深は371m，小笠原トラフからの比高は3700m 以上，底面の長径は40km 以下である。ナローマルチビーム測深機により復元された土曜海山の山頂部の地形は特徴的である（図６）。山頂部は南西部の最高点を含むいくつかのピークからなり，それらの北東側には，長さ10km 以上，幅３km 以上の馬蹄形カルデラ（図６の a）がある。さらに，その中には，入れ籠状に幅1.5km，長さ3.5km の小型の馬蹄形カルデラが認められる（図６の b)。この二つの馬蹄形カルデラはいずれも山体崩壊により形成されたと推定される。このいずれかの山体崩壊による水中岩屑流堆積物からなると推定される流山地形および音波散乱層が小笠原トラフで確認されている（図１の Dd，長岡ほか，1991)。内側の馬蹄形カルデラの内側上部斜面には，高さ200m，直径500m の丘が突出している。形態から，この丘は溶岩ドームで，その形成は，二度目の山体崩壊の後と考えられる。

こうした結果をもとに，土曜海山の地史をまとめると，大型円錐型火山形成→山体北東部の少なくとも２回の崩壊および岩屑流の発生→崩壊地内の溶岩ドームの形成とすることができる（図10の B)。

詳しい地点は不明であるが，カンラン石普通輝

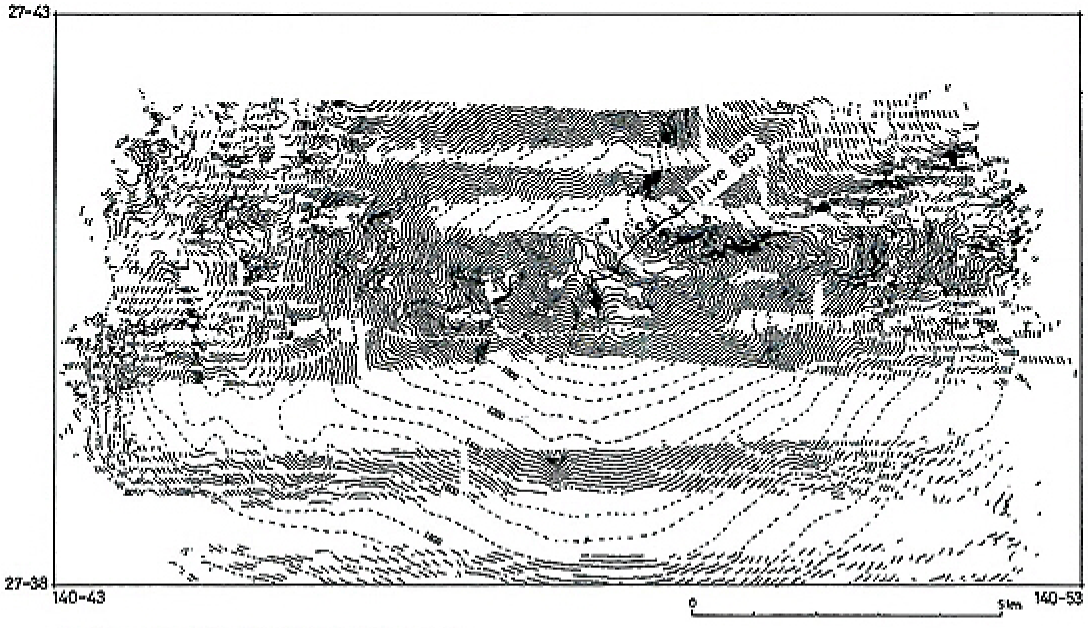

図６　土曜海山の地形図と潜航ルート
　　　a：外側の馬蹄形カルデラの壁，b：内側の馬蹄形カルデラの壁，c：溶岩ドーム．

Fig. 6　Bathymetric chart of Doyo Smt and the track lines of Dive 493
　　　a：Outer concave amphitheatre-like erosion scar, b：Inner concave amphitheatre-like erosion scar, c：Lava dome

石玄武岩が採取されている（地質調査所，1985）ほか，「拓洋」の平成元年1月の調査では，山頂部の水深400m付近から普通輝石シソ輝石玄武岩質溶岩がドレッヂされている。また，先に述べた北東の山体崩壊地内の溶岩ドーム山頂からは，きわめて新鮮な玄武岩質スコリア・火山灰やガラス質玄武岩質溶岩が採取されている。

3－2　潜航調査の概要

北東斜面にある巨大な地滑り跡に着底し，そこから南西方向に山体を横切る航跡をとった（図6，図7）。着底した水深885m地点から699mにかけての崩壊地跡は，直径が1mを越える溶岩礫を混じえる粗粒な砂礫の急斜面で，844mと749mに白い変質帯が認められた。700m－640mは，切り立った溶岩の崖で，少なくとも2フローユニットからなっていた。岩石は，暗灰色の安山岩であった。640m－624mは崖錐堆積物に被われていた。625m－587mは変質帯を伴う塊状溶岩の急斜面，558－537mは流理の著しいガラス質の単斜輝石玄武岩質溶岩（表1の試料900724-1）からなる。この流理の著しい溶岩は，着底点付近の溶岩巨礫と同種と考えられる。これら700－537mの溶岩群は，最新の溶岩ドームを形造っている。さらに，537－533mは黒色のガラス質の火山礫層，更に533－520mの山頂部は，黒色粗粒火山灰に覆われていた。この火山灰は，ガラス質で，ストロー状の黒色火山ガラス片が大量に含まれていた。しばしば火山灰表面には，リップルマークが見られた。この火山灰は，最も新しい溶岩ドーム全体を覆っているようであった。

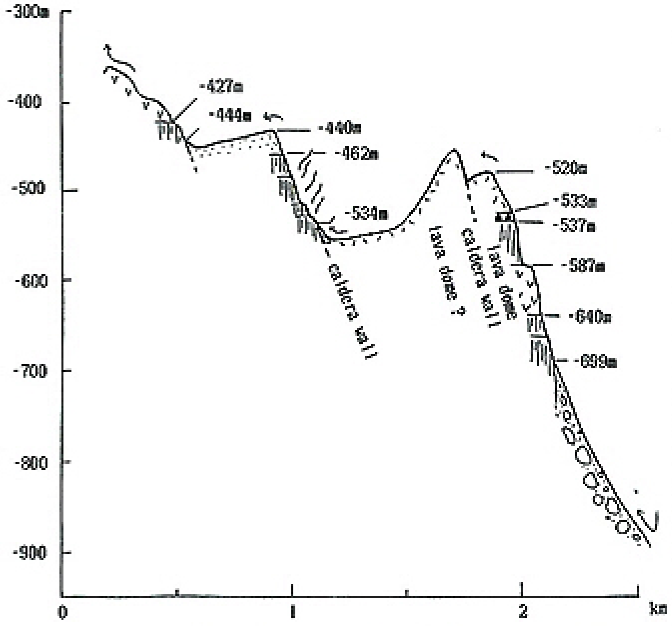

図7　Dive 493のルートに沿った土曜海山の地質断面
凡例は図3に参照．
Fig. 7　Annotated profile of Doyo Smt along Dive 493

472mの溶岩ドーム山頂から556mの内側カルデラ壁の麓に下降した。崖の直下の540mには直径1m以上長さ5－10mの溶岩の六角柱が数本横たわっていた。534－529mは塊状溶岩の崖，530－515mは崖下の六角柱の給源と考えられる柱状節理の著しい溶岩，515－502mは砂に覆われたステップ状の斜面，503－462mのカルデラ壁最上部は塊状およびシート状溶岩からなっていた。また，530－515m付近では，海水の揺らぎが観察され，熱水が噴出していると思われる。そのせいか，多くのサメが回遊していた。463－445mは内側外輪山の緩斜面で，砂からなり，所々溶岩が露出していた。

444－429mは，外側のカルデラの崖で均質な玄武岩質溶岩の崖，427－399mは火山角礫岩，399－395mは溶岩で，外輪山の縁に達っする。さらに，南側に334mのピークがあって，溶岩からなっていた。

4．水 曜 海 山

4－1　地形地質概観

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3000m以上に達する海底火山である（図1）。この海山は，南北に延びる細長い楯状の下部山体に，東西方向に延びた上部の山体が載っているような地形を呈していることから，上下二つの山体にはなんらかの時代やテクトニクスの違いがあると考えられる。上部の山体は，東西方向に配列する山頂水深860m，940m，1000mの三つのピークに取り囲まれた長径1.5km，深さ500m，底の水深約1380mの火口を持つ円錐火山である（図8）。山頂火口は一見単一のようであるが，よくみると火口北部の火口壁が二重になっていることから新旧二つの時期のものがつながったことがわかる。

図８を見ると，旧火口は，南西半部で，火口壁は，北東部で途切れている。この部分の北東側の斜面には，馬蹄形カルデラと考えられる浅くて幅にある開いた谷があり，かつて旧火口の北東斜面が大崩壊したことを示していると考えられる（長岡ほか，1991)。また，この馬蹄形カルデラの谷頭部には，新たな溶岩ドームが形成され，さらにそのドームは，新火口により破壊されている。その断片が火口壁として旧火口の途切れるあたりに認められる。この新火口は，火口壁の南西部が失われ，南西側の旧火口と火口底がつながっている。このため新旧二つの火口が見かけ上ひとつの火口のように見えるのである。

この様な地形の関係から，水曜海山の地形発達史をまとめると，円錐火山体の形成→旧火口の形成→北東部斜面の大崩壊→中央火口丘（溶岩ドーム）の形成→新火口の形成，となる（図11)。

水曜海山からは，普通輝石安山岩（地質調査所，1985）やデイサイト質軽石（地質調査所，1988）がドレッヂされている。

４－２　潜航調査の概要

562潜航

本潜航は，新火口底から，東へ新・旧火口壁に沿って上昇し中央火口丘および円錐火山体内部の調査を目的とした（図８，図９)。

まず，旧火口底西部の水深1370m に着底した。着底点は火口壁からの崩落物と考えられる溶岩巨礫の点在する灰色砂質緩斜面であった。火口底北部が急峻な新火口壁に接する水深1320m 付近で，長さ20－50cm 灰褐色の熱水性硫化物チムニーが約１m の間隔で10－15個分布しているのが発見された。チムニー群からは透明な熱水が盛んに噴出されていた。その温度測定を行なったところ，水温は最高230℃に達していた。これらのチムニー群の周辺には，シンカイヒバリ貝が多数群生しており，またカニ類も認められた。その周辺海底にはベインが見られた。これらの詳細については春日・加藤（1992）により報告されている。

新火口壁は水深1290m 付近まで崖錐に覆われているが，これより浅部では中央火口丘の内部をよく観察することができた。すなわち，1130m 付近まで，節理のよく発達した溶岩が急崖を形成して

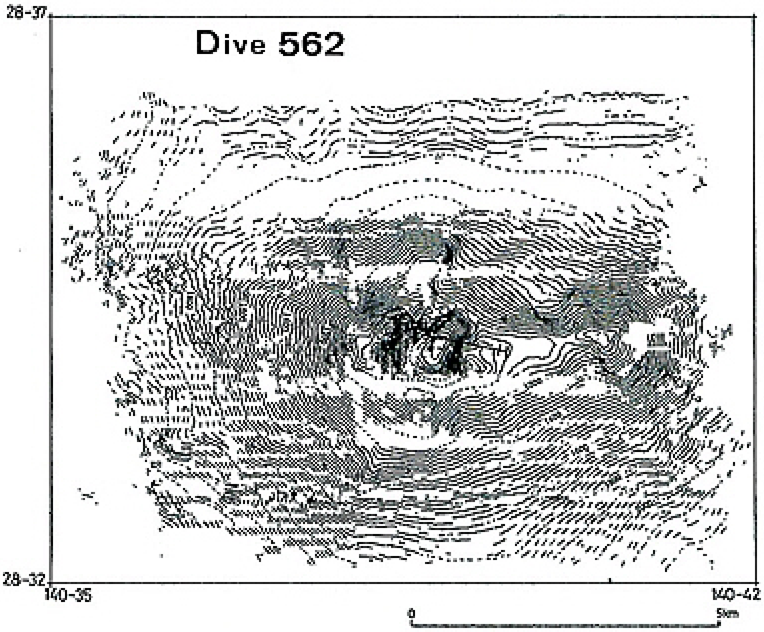

図８　水曜海山の地形図と潜航ルート
H：熱水噴出地点

Fig. 8　Bathymetric chart of Suiyo Smt and the track lines of Dive 562
H：Point of active hydrothermal

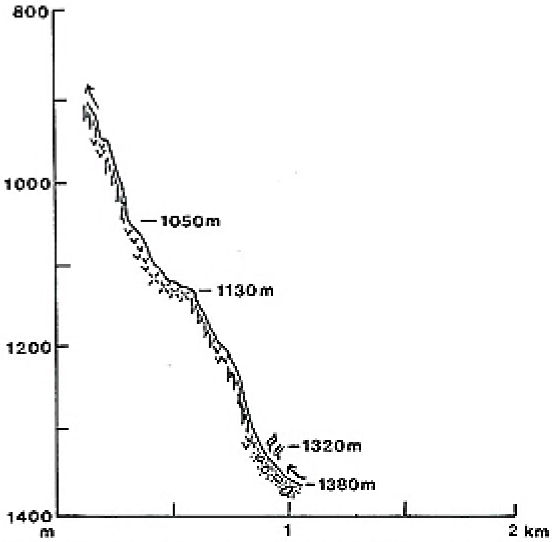

図9　Dive 562のルートに沿った水曜海山の地質断面
Fig. 9　Annotated profile of Suiyo Smt along Dive 562

いる。節理は幅2－3m，高さ数10mにおよぶ垂直な割れ目である。1270m付近で溶岩の転石と考えられるデイサイトの礫（表1の試料910919－5）を採取した。1130－1100mまでの中央火口丘上の緩斜面にはほぼ水平な層理の灰白色凝灰角礫岩が露出していた。さらに，旧火口壁の急崖に取り付いた。ここでは，初期の円錐火山体の内部が観察された。1050mから旧火口縁までは節理の発達した安山岩質溶岩が分布していた。火口縁の水深980mの小さな高まりにおいてデイサイト－流紋岩質の溶岩塊（表1の試料910719－6）を採取した。

5．考　　察

5－1　木曜海山のカルデラの形成とその噴出物

木曜海山は，前に述べたようにカルデラを持っている。今回の潜航目的のうち重要なのは，このカルデラ形成期の噴出物を明らかにすることであった。カルデラの地形は明瞭で，陸上の珪長質マグマに由来する火山のそれと類似することから，潜航前は軽石などの珪長質の噴出物を予想した。しかし，今回カルデラの壁で確認できたのは，玄武岩質の火山角礫で，空隙は見られるものの，スコリアほどではなく，溶岩片または，火山弾に近いものであった。各角礫表面には，クラックは若干あるが，ガラス縁などの急冷相はない。空隙は，球状で，内部へ粒径が大きくなる。空隙は火道内で引き延ばされたような細長いストロー状のものはなく，球形に近いことから火口から放出後成長したと推定される。これらのことから，これらの火山礫は，あまり急激に発砲することなく，表面が固まりかけた半固結状態で火口から放出され，内部は放出後ゆっくり冷却したものと考えられる。火山礫を形成した火口内における溶岩の破砕は，海水との接触によると考えられるが，高い水圧や溶岩そのものが低温であったために噴火そのものはあまり爆発的にならなかったと推定される。この火山礫から推定される限り，カルデラ形成期の噴火は一般に知られている陸上のカルデラ火山に較べ穏やかであったと推定される。揮発成分がやや多く，温度の低い玄武岩質マグマが，極めて短時間に大量に放出されることによってできたカルデラと言える。もし，これが陸上ならば，低温で高粘性の玄武岩質溶岩を大量に流出させる様な噴火であったであろう。海底カルデラでも東青ケ島カルデラ，北ベヨネーズカルデラは，カルデラ壁から，大量の軽石が見つかっており（長岡ほか，1991），珪長質なマグマによる爆発的噴火とそれに伴う陥没という陸上のクレーターレイク型カルデラと類似した形成過程が推定される。これらに較べ，木曜海山のカルデラは小規模で，玄武岩質の噴出物を伴い，またカルデラに伴う負のブーゲー重力異常も明瞭でない（海上保安庁未公表資料）ことから，異なったタイプのカルデラと考えられる。

4－2　土曜海山の山体崩壊

土曜海山には，二つ馬蹄形のカルデラがあり，その成因に関する地質学的知見が得られた。二つカルデラの形成に伴う爆発的噴火の火砕物は発見されなかった。したがって，これらの馬蹄型カルデラの成因は，長岡ほか（1991）が推定したように，本質物質の噴火を伴わない山体崩壊とそれに伴う水中岩屑流によるものと考えて良いようである。長岡ほか（1991）は，小笠原トラフ底の小丘を伴う弧状の高まりを，この時の岩屑流の堆積面としたが，地質学的な証拠は何もない。今後，この高まりの堆積物を採取し，土曜海山山体構成層

と対比を試みる必要がある。

また，溶岩ドームの形成後，おそらく最新の噴火で大量のガラス質の火山礫や火山灰を噴出している。火山灰の中には，針状の細長い火山ガラス片が多く含まれるが，こうした形状のものがどうやって水中で形成されるのか，それとも陸上なのか，それとも噴煙柱のみが海上に出たことを示すのかよくわからない。土曜海山の地形を見る限り，波食台などの積極的に海面付近にあったことを示すような証拠は見あたらない。

4－3　水曜海山の地質と黒鉱との類似性

水曜海山の中央火口丘の断面が現れている内側火口壁には，大部分が節理の発達したデイサイト質の溶岩であったことから，中央火口丘は巨大な溶岩ドームと考えられる。さらに，旧火口壁で観察された初期の円錐火山体の構造も溶岩が卓越する。同じ火山フロントに位置し熱水活動を有する海形海山は，カルデラ壁に環状の安山岩質の岩脈を持っているのに対し，水曜海山はデイサイトー流紋岩質の溶岩ドームを主体とする異なった地質構造および岩質を有する。

このように，水曜海山はデイサイトー流紋岩質マグマの活動に伴って熱水性硫化物鉱床が形成されつつあると考えられるが，溶岩ドームに隣接して鉱床が生成されているような黒鉱鉱床の典型的なモデル（高橋，1983）と類似していることは注目される。

4－4　火山活動の時代

木曜・土曜・水曜の各海山では，熱水の噴出が確認されたことから，火山そのものは現在でも生きているとみることができよう。また，木曜海山の外輪山上の枕状溶岩，中央火口丘溶岩，土曜海山の中央火口丘を覆う火山灰およびスコリアなどの最新の活動による噴出物は，いずれも表面は新鮮で変質をほとんど受けていない。また，水曜海山のチムニーの形成場所は新火口底である。こうしたことから三つの海底火山の最も新しい噴火は，あまり古いとは考えにくく，更新世末や完新世に起きた可能性がある。

5．ま と め

木曜海山は，成層火山を形成後，玄武岩質火山角礫を大量に放出し山頂部にカルデラを形成した（図10のA）。このカルデラ形成期の大規模な噴火は，地形的にみて，２回以上起きた。カルデラ形成後，カルデラの東部に玄武岩の溶岩ドームができた。それと前後して，カルデラ西壁上で玄武岩質枕状溶岩の噴出があった。現在もカルデラの中で複数の熱水の噴出地点が確認された。

土曜海山は，最初，玄武岩質溶岩流噴火を主体とする成層火山を形成した。その後，２度の山体崩壊が北東部で起き，小笠原トラフに岩屑流を堆積させた。この崩壊の後には，玄武岩の溶岩ドームが形成された（図10のB）。最新の噴火は，山頂の溶岩ドーム付近で起きたガラス質玄武岩質溶岩とスコリア・火山灰の噴出である。ここでも現在，熱水の噴出が見られた。

水曜海山では，デイサイトー流紋岩質溶岩を主体とする円錐火山体および山頂の旧火口形成後，旧火口の一部を含む北東斜面が崩壊し，馬蹄形カ

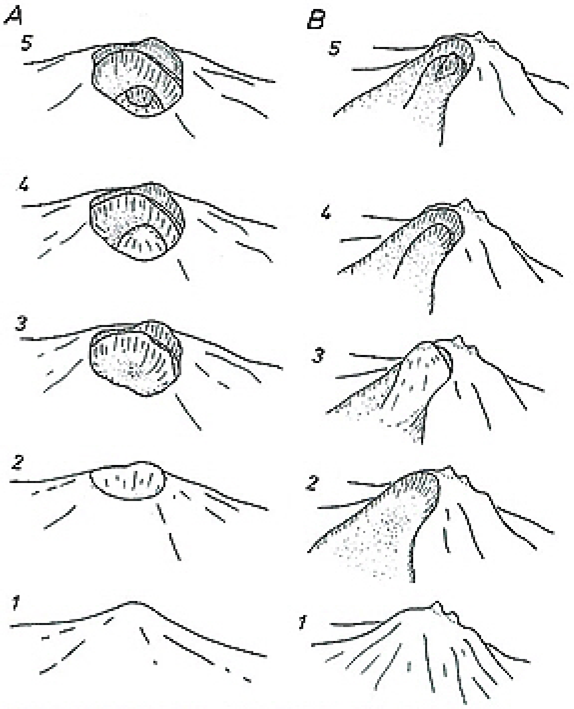

図10　木曜海山（A）と土曜海山（B）の地形発達
A は南側，B は北側の海中からそれぞれ見たもの
Fig. 10　Landform evolution of Mokuyo Smt（A）and Doyo Smt（B）

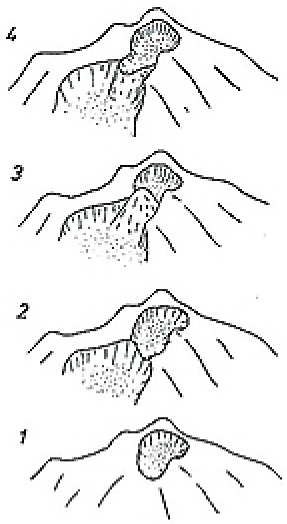

図11　水曜海山の地形発達
北側の海中から見たもの
Fig. 11　Landform evolution of Suiyo Smt

ルデラが形成された。その後，崩壊した火口壁の位置にデイサイトの溶岩ドームができ，さらに，そのドームの南東部が吹き飛んで，新火口が形成された（図11)。また，新火口底では熱水を噴出する硫化物鉱床を確認した。

参 考 文 献

地質調査所，1985，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59年度研究報告書，99p.

地質調査所，1987，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61年度研究報告書，184p.

地質調査所，1988，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62年度研究報告書，132p.

春日　茂・加藤幸弘，1992，水曜海山の火口底で発見された海底熱水性鉱床－「しんかい2000」による潜航調査結果－，月刊地球 Vol. 14，484－488.

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，27，145-172.

高橋敏夫，1983，北鹿火山構造性陥没帯とクロコ－鉱床生成の場，鉱山地質特別号，167－182.

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年度研究報告書，58-65.