

第 201 回地質調査所研究発表会講演要旨*

特集 海底熱水活動

伊豆・小笠原・マリアナ海域

伊豆・小笠原・マリアナ海域における 海底熱水活動の研究の概要

湯浅真人

伊豆-マリアナ海域における海底熱水活動・熱水鉱床に関する研究は、工業技術院特別研究「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」として1984-88年度の5年計画で開始された。その後、沖縄トラフにおける硫化物鉱床の発見を契機に1年延長となっている。海底熱水活動・熱水鉱床に関する研究は、1970年代後半からアメリカ、フランス等により中央海嶺系を中心に進展してきた。わが国でも資源エネルギー庁の出資により東太平洋海膨での調査が行われているが、地質調査所ではわが国の置かれた地理的条件を生かした、島弧の海底熱水活動にともなう重金属濃集体を想定した研究を行ってきた。

研究の対象とした伊豆・小笠原・マリアナ海域は、フィリピン海プレートの東縁部にあり、東方の小笠原海溝では太平洋プレートがフィリピン海プレートの下に沈み込み、火山性島弧が形成されている。熱水活動にともなう重金属濃集体は当然何らかの熱源及び熱水の通路を必要としているはずであり、この海域ではそのような場として、火山フロント、背弧凹地（背弧リフト）、及び島弧を横断する断層帯がターゲットとして適当であると考えた。これらのターゲット海域で、熱水性重金属濃集体の存在指標の検出を目的とした調査研究を行った。

(海洋地質部)

伊豆・小笠原弧上の海底カルデラの地形・地質

村上文敏・斎藤英二

伊豆・小笠原弧は、そのほとんどが海面下にあり、陸上部分は八丈島など第四紀火山島からなる。海面下にも

*平成2年3月7日本所において開催

明神礁を始めとして、火山活動の記録のある海底火山が点在する。白嶺丸の調査によって、海底火山の多くがカルデラを伴うことが明らかとなった。これらの海底カルデラのなかで、海形カルデラ及び明神礁カルデラでは、熱水作用によって生成された硫化物が採取されている。

伊豆・小笠原弧上の海底カルデラは、北から南へ順に黒瀬海穴、黒瀬西海穴、東青ヶ島カルデラ、北ベヨネーズカルデラ、明神礁カルデラ、スミスカルデラ、南スミスカルデラ、海形カルデラである。この他にも、水路部の調査によって利島沖の海底カルデラ（岩淵ほか、1989a）と西之島北方の七曜海山列上の海底カルデラ（長岡ほか、1989）が発見されている。上記のカルデラは、いずれもカルデラ縁の直径が数km以下の比較的小規模なカルデラである。また重力のブーゲー異常は、カルデラ上でその周囲より高く、いわゆる高重力異常型のカルデラに属する。音波探査記録上で、黒瀬海穴、黒瀬西海穴、北ベヨネーズカルデラ、南スミスカルデラのカルデラ壁の大部分において成層構造が見られることから、カルデラ壁は堆積層からなると推定される。一方明神礁カルデラ、スミスカルデラ、海形カルデラのカルデラ壁は、成層構造が見られず基盤岩によって構成されるものと推定される。北ベヨネーズカルデラのカルデラ壁と外輪山からは、いずれも軽石が採取されている（地質調査所、1985）。また黒瀬海穴では、流紋岩の軽石が得られている（岩淵ほか、1989b）。南スミスカルデラのカルデラ壁からも軽石質の流紋岩が採取されている（湯浅ほか、1988）。音波探査記録と採取された岩石から黒瀬海穴、北ベヨネーズカルデラ、南スミスカルデラのカルデラ壁は、主として軽石からなる火山噴出物であると推定される。これらのカルデラの成因として、陸上のカルデラの主成因をなす陥没によるものではなく軽石丘のようなものをあてはめた方がよいのではないかと思われる。黒瀬西海穴もおそらく同様なものであろう。一方明神礁カルデラ、スミスカルデラ、海形カルデラは、陥没によって形成されたものと推定される。東青ヶ島カルデラは、ほかのカルデラに比べカルデラ壁の傾斜が緩くまたカルデラ壁に侵食地形が認められる。このことは、東青ヶ島カルデラがほかのカルデラよりその形成時期が古いことを示すの

かもしれない。

(海洋地質部・地質情報センター)

伊豆・小笠原弧の熱水性マンガン酸化物

臼井 朗・西村 昭

塊状硫化鉱床を形成する熱水循環系の後期析出物として熱水性マンガン酸化物が形成される可能性があること、また熱水活動の影響により堆積物にマンガンの高濃度異常分布が形成される可能性があることで、熱水活動の存在指標と注目して調査を行ってきた。

熱水性マンガン酸化物は、海水成マンガン酸化物と比較して次のような特徴があり、容易に海水成マンガン酸化物(続成作用によるものも含む)から区別される。塊状・クラスト状・火山岩砂礫の基質などとして産し、均質で金属光沢があり、走査型電子顕微鏡の観察では、数-数100 μm の板状・鱗片状の大きい結晶からなっている。遷移金属の含有量が極めて小さく、Mn/Feは10-数1000と極めて大きい。鉱物種としては、海底で形成された時は基本的に10Å manganate (todorokite) であるが、乾燥していく過程で7Å manganate (birnessite) になる不安定なものがある。

伊豆・小笠原弧及びその周辺海域の調査を通じて多くのマンガン酸化物が採取された。活火山を有する七島海嶺からは、多くの塊状・クラスト状熱水性マンガン酸化物が得られており、海水成マンガン酸化物の被覆が認められないことから現世のものである。また、伊豆海嶺等の非活動的な海嶺・海山からは、水成マンガン酸化物であるマンガン団塊、マンガンクラスト及びマンガンクラストに覆われた古い時代に生成された熱水性マンガン酸化物が得られている。火山フロントにある海形海山においては、1-5 cmの厚さの熱水性マンガン酸化物が海底を2×10 kmにわたって北東-南西の軸をもって分布している。採取試料の検討と海底写真及び「しんかい2000」による産状の観察も含めて考えると、マンガン酸化物層の形成は、海底堆積物層の下の火山岩中の割れ目から上昇した熱水が海底面においてまず火山砂の基質として沈殿し、その後、その下方に純粋なマンガン酸化物を層状に沈積した。マンガン酸化物層にも現在は割れ目が形成され熱水はそれらを通して海中に出ている。西七島海嶺の熱水性マンガン酸化物には、goethiteやnontroniteが伴っており、“熱水性”といってもマンガン酸化物は低温で形成されたものであることを示している。

熱水活動の堆積物に与える影響の一つとして期待され

る堆積物中のマンガ含有量の高異常は、スミスリフトで認められた。その表層堆積物は1%を越える高異常の地点もあり、これはおそらくリフト内の小海嶺上におけるチムニーを形成するような熱水活動に伴い海水中に放出されたマンガが酸化物として堆積物中に固定されたためと考えられる。

(海洋地質部)

明神礁海底カルデラの熱水性硫化物

飯笹幸吉

明神礁海底カルデラは八丈島南方の七島・硫黄島海嶺上の第四紀火山の一つであり、中央火口丘を伴い外輪山として西側に北ペヨネーズ列岩、東側に活動的な明神礁に囲まれた5 km×6 kmのほぼ円形の地域である。このカルデラ床の水深は1102 m、中央火口丘のそれは330 mである。

重晶石を含んだ硫化物や黄鉄鉱化作用を受けた緑色凝灰岩・緑色火山角礫岩・石英安山岩は、カルデラ床堆積物中の硫化物・硫酸塩・粘土鉱物の分布をもとに、中央火口丘の西麓において採岩器及びドリッジで採取されたものである。これらは、海底表層に砂泥質堆積物でうすうすらと覆われた状態で産する。重晶石を伴う硫化物は、およそ5 cm大の破片が4個ほど1測点で採取されただけである。一方、黄鉄鉱化作用を受けた岩石の表層での分布は、中央火口丘西斜面では、約1 km×1 kmであり、西壁では約300 m×300 mの広範囲にわたっているものと思われる。

重晶石を伴う硫化物は、その外観から空隙の発達した黄褐色のもの(タイプA)、灰黒色のもの(タイプB)そして黒色で脆いもの(タイプC)に分類される。タイプCは硫化物が最も多く、閃亜鉛鉱・方鉛鉱を主とし、黄銅鉱・砒四面銅鉱・四面銅鉱・斑銅鉱・銅藍・黄鉄鉱である。タイプAは、重晶石が主でその結晶の間を閃亜鉛鉱・黄鉄鉱が埋めている。タイプBは、二つのタイプの中間の鉱物組成・組織を示す。鉱染を受けた岩石は、黄鉄鉱を主とするがまれに閃亜鉛鉱・黄銅鉱を伴っている。また、鉱染を受けた凝灰岩中に石英脈を伴うものや苦灰石で縁どられた斑晶(約5 mm)の組織が観察される。前者は、黄鉄鉱に伴うBi-Te 鉱物や黄銅鉱・斑銅鉱などであり、後者には、自形の閃亜鉛鉱に伴う少量の黄銅鉱・黄鉄鉱が認められる。

カルデラで採取された鉱化岩の化学組織の特徴は、タイプA, B, Cの順にZn, Pb, Fe, Cu, As, Cd, Te, V

が増加し、最大値はそれぞれ 43 wt.%Zn, 10.2 wt.%Pb, 2.7 wt.%Fe, 1.9 wt.%Cu, 0.2 wt.%As, 0.2 wt.%Cd, 232 ppmTe, 48 ppmV である。また、タイプ B の Ag は最高 322 ppm を示し、これは砒四面銅鉱に含まれている。一方、鉱染を受けた岩石の化学組成は、Sb (最高 1820 ppm), Te (1.1 wt.%) の値を示し、Zn, Cu, Pb, As, Bi, V などは数 10 ppm から数 100 ppm の範囲である。

カルデラの鉱化作用は、初期の緑泥石化作用、黄鉄鉱化作用、緑礫石化作用に続く石英脈の形成、そして主要鉱化期の重晶石を伴う硫化物の晶出によって特徴づけられる。現在、熱水活動は休止しているが、過去において Te, As, Sb, Ag, V を伴い Zn, Pb (Fe, Cu) の沈殿をもたらしたことが伺える。

(海洋地質部)

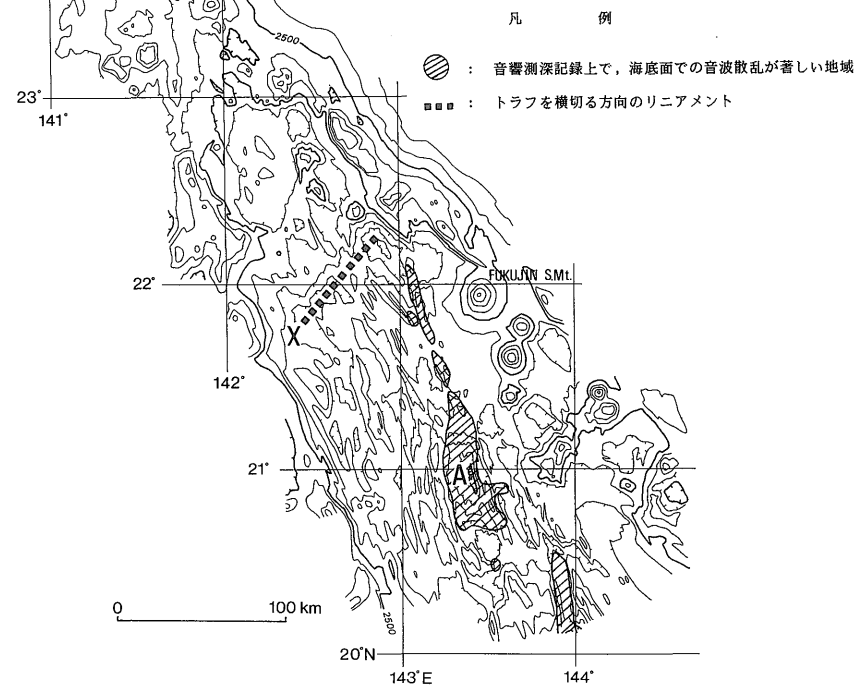
マリアナトラフ北部の地形と構造

斎藤英二

マリアナトラフは、トラフの幅が最も広い 18°N 地域で精力的に行われた深海掘削その他の調査結果から、海底拡大 (平均拡大速度約 2 cm/y) により形成された背弧海盆とされている。また最近、アルビン号による拡大軸付近の潜水調査で、活動中の硫化物チムニーが発見され、現在でも熱水活動を伴う火成活動が続いていることも分かっている。

この地域において、12 kHz 精密音響測深機を用いて海底地形断面調査を行ったところ、拡大軸を中心とした幅数 km にわたる範囲で、海底面での著しい音波散乱地域の存在が明らかになった (斎藤・村上, 1988)。この散乱地域は、地形的には中軸谷内の中心高地に相当する。深海曳航式カメラなどの映像によると、海底は新鮮で起伏に富んだ枕状溶岩が累々と分布しており、音波散乱はこれらの起伏によって生じたものと推定される。

このような特徴を用いて、20°-22°N のマリアナトラフ北部地域において拡大軸の推定を試みた。第 1 図中の



第 1 図 マリアナトラフ北部の海底地形

ハッチは音波散乱地域の分布である。この位置は、山崎(1988)が磁気異常の縞模様から推定した拡大軸とも概ね一致しており、20°-22°N地域においても18°N地域と同様に海底拡大に伴う火成活動が生じている可能性が高い。

こうして推定した拡大軸と全体の地形を眺めると、いくつかの特徴が読取れる。位置的には、拡大軸の火山フロント・前弧への接近である。これはリニアメント(第1図X)の成因と共にトラフの拡大プロセスを考える上で重要な意味がありそうである。地形的には、図中Aで示した凹地付近より北(21°-22°N)では、①中軸谷地形が不明瞭であり、②拡大軸から西では、拡大軸付近が最も浅く、トラフ西縁に向かって深くなる。それに対して南側(20°-21°N)は、①明瞭な中軸谷地形が形成され、②拡大軸はトラフ最深部にあたる。さらに拡大軸の縦断面を比較すると、北側では30-40 km 周期のドーム状地形がみられるが、南側では不明瞭である。これらの差は、より新しい時期の拡大速度の違い(北側が早い)によるものかもしれない。

(地質情報センター)

伊豆・小笠原・マリアナ海域の海底地殻熱流量

山崎俊嗣・村上文敏

工技院特研「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」の一環として、伊豆・小笠原・マリアナ海域で海底地殻熱流量の測定を行った。測定の目的は、熱水活動の指標として高熱流量域や熱水循環系の存在する場所を探ること、及びこの海域のテクトニクスを理解するための基礎データを提供することである。1984-1989年に、218点でデータを得ることができた。特に集中して測定を行った海域は、(1)スミスリフト、(2)西之島トラフ周辺、(3)マリアナトラフ北部である。

スミスリフトは、伊豆・小笠原弧北部に発達する背弧リフト群の一つである。スミスリフト南海盆では、700 mW/m²に達する高熱流量地点とそれを取り巻くように近接して広がる低熱流域の存在が明らかとなり、これは、熱水循環系の存在を示すと考えられる。ODP掘削点では、堆積層中の間隙水の成分は海水と同じであった。これは、この地点が低熱流量域にあることから、熱水循環系の流入域に当たると推定される。

西之島トラフは、その西縁を孀婦岩構造線で限られ、東側は七島-硫黄島海嶺へと続く。孀婦岩構造線は、小笠原弧中部を島弧に斜行する北北東走向で切る東落ちの正断層で、西之島トラフは七島-硫黄島海嶺の東の小笠原

トラフと共に、古い時代(漸新世?)のリフトと考えられる。西之島トラフ周辺の熱流量は、必ずしも火山フロントからの距離に支配されず、孀婦岩構造線を境に、東側は西側より熱流量は高くなっている。これは、孀婦岩構造線を境に西之島トラフ側では、島弧地殻が薄くなっていることを反映すると考えられる。厚い堆積物を持つ西之島トラフ南西部では、極く新しい時代の貫入岩体が音波探査記録上で認められる。これの直上では局所的な高熱流量が見られ、そこでは熱水循環系が存在している。

マリアナトラフは、22°N以北では現在リフティングが起きている。ここでのリフティングは、熱的、構造的に非対称であることが特徴である。高い熱流量は、トラフの東縁でのみ観測され、他の地域は一律に低い熱流量を示す。トラフ底は、正断層で切られた傾動地塊群(島弧地殻)からなり、東へステップダウンする。熱水活動は、トラフ東縁部のみで期待できる。22°N以南のマリアナトラフでは、海底拡大が起きている、地質構造や磁気異常から拡大軸の位置が明らかになった。拡大軸付近では、熱水循環系の存在を示す異常な温度プロファイル(堆積層中の)が得られた。特に、21°Nの拡大軸付近の精査では、波長約2 kmの循環が起きていることが明らかになった。

(海洋地質部)

伊豆・小笠原弧 ODP 第126節掘削結果 —スミスリフトの形成に関連して—

西村 昭*・ODP Leg 126 航海乗船研究者一同

伊豆・小笠原弧の地形・地質構造配列は、中期中新世の東北弧のそれと対応すると考えられ、スミスリフトには、黒鉱鉱床を形成するような熱水活動の存在が期待された。地質調査所の調査等により最近明らかになったことと、昨年4-6月に行われたODP第126節航海の掘削結果からスミスリフトの形成について考察した。

伊豆・小笠原弧は、小笠原海溝に並走して南北にのびる島弧で、背弧リフトは火山弧の七島海嶺の西側に火山フロント沿いに島弧ののびと同じ南北に配列しているが、地形的な高まりにより連続性を断たれ断続的な分布となっている。背弧リフトは、北部において明瞭に認められ、小笠原海嶺と小笠原トラフの発達する南部でははっきりしない。

スミスリフトは、須美寿島と鳥島の間であり、重力流堆積物に埋積された広い平坦面を持つ南北二つの海盆に分かれ、北海盆は15×30 kmの大きさで、水深は約

2050 m, 南海盆は 30×45 km, 水深約 2150 m である。リフト北端は、須美寿島からのびる地形的高まり, 南端は鳥島からのびるそれにより途切れるが, それぞれ, 青ヶ島の南西と鳥島南西のリフトにつながっている。南北両海盆の間には, リフト内火山活動による小海嶺により区切られている。リフトの東西は南北性の正断層により急崖を形成している。海盆の内部の地質構造としては, 南北性の正断層系がよく発達している。それらの多くが最表層の堆積層も切っており, 活断層である。また, 海盆内における地殻熱流量測定では, 極めて高い値も知られ, 熱水循環系が存在していると考えられる。

背弧リフト埋積堆積物は, 音波探査断面において往復走時 1 秒以上の厚さで海盆を埋積している。堆積物層の下部は, 火山灰の薄層を挟在するナンノ化石に富んだ半遠洋性粘土であり, 上部は, 軽石・細粒火山灰層の厚層を主体として, その間に少量の半遠洋性粘土を挟在するものである。最下部の年代は, 更新世下部 (1.1 Ma) であり, 上部の火山灰層主体の部分は, 後期更新世以降 (0.2-0 Ma) であり, 厚い火山灰層は 5 枚あり約 6 万年の周期の島弧における火山活動によるものである。

背弧リフト内には, 極めて多くの小規模の火山体が分布しており, 極めて新鮮な火山岩が採取されている。玄武岩が多く, 石英安山岩や流紋岩も採取されており, バイモーダルな火山活動であるといえる。微量元素の分析結果は, 背弧海盆玄武岩 (BABB) の性格をもっていることを示している。リフト内で掘削された堆積物直下の基盤の火山岩には, 極めて揮発成分に富んだ背弧海盆玄武岩の火砕岩が見いだされた。

スミスリフトの形成史は, 島弧側の壁上の掘削結果もあわせ次のようにまとめられる。約 2 Ma よりリフトが形成された。形成されたときの海盆は現在程度の深度を持っており, 現在も断層は活動的であることから, 形成初期より同傾向の構造運動により引き続き海盆を形成している。リフト内では形成初期より現在まで背弧海盆玄武岩の成分を持つ火成活動があった。海盆の埋積は, 最近の島弧の軽石を噴出する火山活動により急速に進んだ。

(*海洋地質部)

海底下で生成する熱水鉱床を どのように見つけるか

川幡穂高

現在の海底での熱水鉱床形成に関する研究は, 東太平洋海膨 21°N で代表されるような海底面上に熱水が噴出

し, 周囲の海水と混合・反応して沈澱物が形成されるタイプの鉱床に集中してきた。しかしながら, キプロスのトルードスオフィオライトなどでは, 海底下で形成された鉱床もしばしば産出する。このタイプの鉱床は, 観測が通常の観測船, 潜水艇で行われるため, 現在の海底ではまだ発見されていない。そこで, このような鉱床には, どのような特徴があり, どのような探査が可能かを探る目的で研究を行った。海底熱水系の本体は, 海底面より下であるため, 掘削による以外の方法で, 現在の海底でそれに関する情報を得ることは難しい。緑色片岩相に相当する熱水変質岩が典型的な海底から採取されているのは, ガラパゴス島付近の地点で掘削された ODP 504 B のみである。一方, キプロスのトルードスオフィオライトは, (1) 規模の大きさ, (2) 海底にあった当時の海洋地殻の様子をよく保持していることより, 海洋地殻深部にわたる水の循環等を扱うには, 多くの利点をもっている。

アグロキピア鉱床は典型的なキプロス型鉱床であり, 鉱体 "A" と "B" から成っている。鉱体 A は海底面上で, 鉱体 B は海底面下で形成された。CY 2 A 掘削孔は, 床体 "B" を貫いて掘削され, コアの総延長は 694 m で, 枕状溶岩, 硫化物鉱床, シート状岩脈が採取されている。また, CY 4 掘削孔は, シート状岩脈層下部から下へ向かって掘削されたもので, シート状岩脈, トロニウム岩, ハンレイ岩, 超塩基性岩が採取されている。

CY 2 A 掘削孔における水-岩石相互作用は大きく 4 つに分類できる: (1) 海底風化, (2) 珪化硫化物, (3) プロピライト, (4) 緑色岩。熱水変質岩は上記 (2) から (4) までであり, 約 200-300°C の変質温度が推定でき, その年代は, Rb-Sr アイソクロンより約 9500 ± 800 万年前と推定できる。この値は, トルードスオフィオライトの年代約 9000 万年と比較すると拡大軸からそう遠くないところでおこったと考えられる。また, CY 4 から得られたシート状岩脈の岩石の変質温度は 300°C 以上が推定でき, 東太平洋海膨 21°N の熱水の温度, 化学組成から予想される変質岩と一致している。

鉱体における熱水の Sr アイソトープの値は, 完全に変質した部分の Sr アイソトープより求めることができる。これより当時 (9000 万年) の熱水の値 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) は, 0.70633 であり, これより求めた海水/岩石比は 13 となり, 海底熱水系の流出帯の値としては, 異常に大きな値となる。ちなみに, 東太平洋海膨 21°N 及び 13°N では, その値が各々 1.5, 5.4 である。アグロキピア鉱床でも, 鉱体を作る前の 300°C を越える熱水は, 海水/岩石比は 5 であり, この 13 という高い数字は, 海底下で熱水と海水が混合し, 反応した結果であると考えられる。

トルドスオフィオライトでは、海底面下の鉱床があるところでは、半径2 km以内に海底面上の鉱床があることから、海底面上の熱水鉱床周辺の海水を分析し、高い水/岩石比を持つ端成分の熱水を見つけることが探査の際には重要と考えられる。

(海洋地質部)

沖縄トラフ

伊是名鉱床に伴う熱水変質帯の 鉱物学的・地球化学的特徴

丸茂克美*・浦辺徹郎*・中村光一**

1989年に「白嶺丸」で採取された大口径コアを用いて、沖縄トラフ伊是名海穴海底熱水鉱床域の海底堆積物の鉱物組成を解析した。これらの堆積物のうち、熱水変質作用を受けていないもの(silt, tuff, clay等)の構成鉱物は石英、長石、カルサイト、マイカ及びクロライトである。カルサイトは主に生物起源であるが、他は陸域から運搬されて堆積したものである。分析電子顕微鏡を用いた分析では、マイカは理想式に比べカリウムが不足しており、逆に鉄に富む(数%)ことが判明した。クロライトは鉄質クロライトである。

変質作用を受けている堆積物(silt, tuff, pumiceous tuff breccia)の構成鉱物は石英、カオリナイト、ハロイサイト、モンモリロナイト、マグネシウム質クロライト、マイカ、ドロマイト、自然イオウ及び硫化鉱物(黄鉄鉱、白鉄鉱、コペリン・キューバナイト等)である。またマイカ、クロライト系の混合層鉱物も産する。

熱水鉱床は硫化物帯と、それを取り囲む自然硫黄帯に分帯されるが、硫化物帯にはマイカやクロライト/モンモリロナイト混合層鉱物が、また自然硫黄帯にはカオリン鉱物が産する。一方、マグネシウム質クロライトは硫化物帯からおよそ800 m南西の海穴底より産している。

硫化物帯を取り囲む自然硫黄帯では水銀・アンチモン、銀、ヒ素等の元素異常が見いだされた。とくに水銀の異常は顕著でしばしば100 ppmに達する。

(*鉱物資源部**海洋地質部)

中部沖縄トラフ伊是名海穴及びその周辺地域より 採取された堆積物試料の帯磁率

木川栄一

GH 89-3航海において得られた大口径コア(P608-P628)については、試料の磁氣的性質を調べるために帯磁率測定をルーチン作業のひとつとして組み込んだ。

得られた結果は、帯磁率の深さ方向の変化や絶対値の検討からaからfの6つに分類された。文章中や括弧内の帯磁率は全て保存用ハーフコア体積帯磁率であり、単位は 10^{-6} cgs.である。タイプaはP610-P619の伊是名海穴鉱床地帯の8本のコア(P615, P616は試料回収率が悪いため未測定)に見られたもので、全般的に帯磁率が低く(0-5)、変化に乏しい。コア同士の帯磁率の変化のパターンによる対比はできない。タイプbは鉱床地帯のやや西方と南のはずれに位置するP620とP627に見られた。上部40-60 cmで10-19の相対的に高い値を示し、それで深では0-4の低い値でタイプaと良く似ている。帯磁率によるコアの対比は可能である。タイプcは海穴東方凹地において得られたP622, P623, P625の3本のコアにおいて見られた。低試料回収率のため(0.7-1.1 m)、帯磁率測定長も短い。3本とも上部35-40 cmまで10から30程度に値が増加してその後減少するというパターンを示す。このタイプでも帯磁率による対比が可能である。タイプdは凹凸の比較的顕著なもので(8-27)、海穴西方1.1マイル、東方平坦面、東北5マイルで採取したP609, P621, P628の3本のコアに見られた。帯磁率による対比は困難である。タイプeには海穴北中央部、東方海穴において採取されたP608, P624がこれに属し、起伏が豊かで(4-56)、海底面から150 cmほどのところに相対的にかなり高いピークがある。このピークを目安にコアの対比はほぼ全長にわたって可能である。タイプfは鉱床地帯中央部のP626(1-43)に見られ、上から80-120 cmのところに顕著なピーク(43)があり、他の部分は鉱床地帯の代表的なタイプaと同様である。

国際深海掘削計画では、帯磁率の深さ方向の変化のパターンによる各holeの時代対比に大成功をおさめている。本航においても帯磁率測定の目的のひとつに高々数メートルの、せいぜい数万年分のコアであるが採取地点の時代対比を可能ならば行うつもりでいた。しかしながら上に述べたように、得られたコアが示す帯磁率の変化のパターンは多岐にわたり、採泥域全体の時代対比は極めて困難であることが判明した。それでも各タイプ内では対比が可能なものもあるから、今後さらに採泥点を増やせば鉱床及びその周辺地域の時代対比ができるかもしれない。採泥と同時にを行ったヒートフローの結果と照し合せてみると、 1000 mW/m^2 以上の高熱流量の観測された鉱床地帯のコア全てがタイプaであることがわかる。帯磁率は試料に含まれる磁性鉱物の量、組成、粒子サイズ、

変質度などに大きく左右される物理量である。したがってその解釈においては常にこれらのことを念頭においておかなければならない。タイプ a の帯磁率パターンの特徴は全般的にその非常に低い絶対値である。調査海域より採取された試料においては、元々含まれていた磁性鉱物の量、組成、粒子サイズがドラマチックに異なるということは考えにくいから、この場合低帯磁率の主な原因は磁性鉱物の変質によるものとするのが妥当であろう。鉱床地帯における高熱流量は熱水活動の存在を示唆するし、また実際一箇所でブラックスモーカーが発見されているから、低帯磁率の主原因と考えられる磁性鉱物の変質は熱水によるものである可能性が高い。この事実から、逆に帯磁率を測定すれば、高熱流量地帯や熱水活動域を検出できる期待も持てないことはないが、現在のところ測定数が少ないので、さらにデータを取得することが今後の研究に本質的であろう。

(海洋地質部)

しんかい 2000 で採取された沖縄トラフ熱水の地球化学的特性

石橋純一郎

1989年6-7月に沖縄トラフ熱水系において行われた「しんかい 2000」潜航調査では、熱水帯より噴出する高温熱水を直接採取することに成功した。試料は伊是名海穴 (JADE site) 及びここから 30 km ほど離れた地点にある伊平屋凹地 (CLAM site) の二つの熱水帯から得られた。これらの熱水試料の分析結果から、熱水の化学的特性を中央海嶺の熱水系のものと比較しながら報告する。

主要成分 (Ca, K, Na, Cl, SO₄) については、2つの site の熱水組成はほとんど一致している。この沖縄トラフ型熱水は、中央海嶺型熱水に比べて K の濃度が高い。さらに Li, Ba も高濃度であることとあわせて、この熱水が酸性岩との反応を経たものであることが強く示唆される。

これとは別にいくつかの成分では、2つの site の熱水組成に相違があった。このうち pH, Alk., NH₄ の各成分については、CLAM site の方により増加する傾向がみられている。これらの成分は有機物の熱分解などによる堆積層からの寄与により増加することが、Guaymas Basin 熱水系などの例から知られている。CLAM site では、より浅い部分に付加的な熱水循環系があり、この中での反応によって熱水の組成が一部変わっていることが予想される。

CO₂, CH₄ などのガス成分に富んでいることも沖縄トラ

フ型熱水の顕著な特徴である。特に CO₂ については中央海嶺型熱水よりも 10 倍以上の高濃度で、熱水系内の反応の中で重要な位値を占めているものと思われる。これらの成分の δ¹³C (CO₂) 値、³He/⁴He 比あるいは CO₂/³He 量比は日本列島の火山ガスとほぼ同じ値を示しており、熱水溶存ガス成分の大部分がマグマ起源であることが示唆される。

微量重金属元素については分析試料数が少なかったためその特性が必ずしも明確ではないが、2つの site の組成には相違があるようである。この 2つの site では、海底で観察される熱水生成沈殿物が全く異なっており、JADE site では硫化物鉱体が存在するのに対して CLAM site では炭酸塩沈殿物のみが見られている。熱水の組成がこの熱水沈殿物の相違にどのように関わっているかといった問題は、興味ある課題のひとつである。

以上のように沖縄トラフ熱水系は、大陸地殻内に発達した熱水系として、その化学的特性に酸性岩との反応を反映したユニークな特徴があらわれている。この熱水組成と鉱床生成メカニズムとの地球化学的な関連づけが今後の課題となるであろう。

(東京大学)

伊是名海穴ブラックスモーカー周辺海域の懸濁物と微生物

丸山明彦

ブラックスモーカーの噴出成分の中には、化学合成細菌のエネルギー源となり得る H₂S, CH₄, NH₃ 等の還元型化合物が含まれているが、今のところメタンを除きそのブルームの規模は定かではなく、微生物バイオマスブルームの実体とその生成機構には不明な点が多い。また最近懸濁物ブルームも検出され、微生物バイオマスや Mn, Fe との関係が論議され始めている。これらの点を踏まえて、今回この海域の海水中懸濁物の性状について微生物学的観点から検討を行った。

伊是名海穴ブラックスモーカー周辺海域における懸濁態のデオキシリボ核酸 (P-DNA)、炭素 (P-C) 及びイオウ (P-S) の含有量は、他の海域に比べて全般的に高かった。特に P-S は、海形カルデラでも高い値を示し、熱水噴出海域の特徴と見なされた。微視的には P-DNA が噴出孔に近づくにつれ高くなったのに対し、P-C, P-S は低くなる傾向にあり、P-C/P-DNA 及び P-C/P-S の比の分布からも、P-C の生成速度が P-DNA や P-S のそれに比べて遅いことが推測された。試料の蛍光顕微鏡観

察では、P-DNAの実体が微生物であることとともにその分散を妨げる多くのマトリックスの存在が確認された。さらに試料を二重染色した後、蛍光・位相差顕微鏡観察をした結果、ムコ多糖と推定される有機物集合体の中に多くの微生物が認められた。この微生物菌体外の有機物集合の存在は、この海域のP-C/P-DNA比が通常海域より高いことを裏付けるものであり、この海域の濾過食性動物群の餌としてあるいは種々の懸濁態無機化合物の分布に影響を及ぼす要素として重要な役割を果たしているものと思われた。P-Sについては、その含有イオウの酸化還元レベルがイオウ酸化細菌の活動を知る目安となるため、分析電頭を用いて試料の元素分析を行った。今のところ5 μ m以上でSの検出された微粒子画分ではBa, FeよりもCaとの共存性の高いことがわかっているが、元素イオウや微生物含有イオウ化合物の可能性も残されておりさらに検討を要した。

懸濁物中に含まれる培養可能な微生物群集にも、他の海域とは異なるいくつかの特徴が見いだされた。噴出孔に最も近い海水試料では、ほぼ単一のオレンジコロニー形成従属栄養細菌が97%の優占率を示した。4°Cで増殖可能な低温性の従属栄養細菌は、4°C前後にある深層水試料からはほとんど検出されなかったが表層水や表層堆積物試料からは相当数検出された。また表層堆積物ではその直上海水に比べ化学合成細菌の割合が低く、マンガ酸化細菌は高いといった傾向が見いだされた。これらのことは、それぞれの場に生息する複雑な細菌群集の質的な違いを示すものであり、さらにその生息環境との関連性を検討している。また、噴出孔に近い海水中よりアンモニアとともにその酸化能を有する微生物の検出に成功し、この海域における基礎生産者として硝化細菌の重要性を指摘した。

(微生物工業技術研究所)

伊豆・小笠原海域、マリアナトラフと 沖縄トラフにおける海底熱水活動と バクテリオバイオマスの分布

三田直樹

新しい海洋鉱物資源として注目されている海底熱水活動の場所では、従来の地球化学的な活動指標である、海水中の懸濁態・溶存態の重金属や溶存メタン・ ^3He などの濃度分布から熱水ブルームの存在が指摘されてきた。それらの結果から活動域を探索することも可能であるが、測定には多量の海水が必要であったり、煩わしい前処理

も必要とし、しかも測定結果は陸上の研究室に戻ってからデータが得られることがほとんどである。一方、海底の熱水噴出部周辺では硫酸化細菌などに依存する特異な生物群集の存在が注目されている。表層中に多量に存在する海洋細菌が深くなるにつれて激減し、一般の(海底熱水活動のない)深海中では極めて少量である。

この違いに着目し、筆者は深海中のバクテリオバイオマスの指標であるLPS(リポ多糖 Lipopolysaccharide: 海洋細菌の細胞壁構成成分)の濃度分布をカブトガニ血球抽出物で測定する新探査方法を提唱した。試料海水が0.1 mlと極めて少量で、船上で測定結果が1時間以内に得られる本法によって、地質調査船『白嶺丸』を用い、伊豆・小笠原海域、マリアナトラフ(18°Nと21°N)及び沖縄トラフで、海底熱水活動に伴うバクテリオバイオマスの熱水ブルームを検出することができた。ここでは、3つの海底熱水活動域の調査結果を報告する。

伊豆・小笠原海域：黒瀬海穴、北ベヨネーズカルデラ、須美寿カルデラ、北須美寿海盆、明神礁カルデラ及び海形カルデラでLPSの異常に高濃度な分布が検出され、熱水活動の存在が示唆された。特に、海形カルデラからは、異常に大きなバクテリアが発見された。

マリアナトラフ：18°Nでは、生物群集を伴う熱水噴出部の直上で、熱水ブルームに由来すると考えられる異常なLPSの濃度分布が認められた。この中軸谷に沿った南方では、一層高濃度なLPSブルームが検出され、新活動域の存在が示唆された。21°Nのマリアナトラフ北端部では、GH 88-1航海で発見された5,200 m凹地内で、いまままでに知られている熱水活動域よりもかなり深部に存在する、かなり高濃度なLPSブルームの存在が明らかになった。3回の航海の調査結果は、次第に活動が変化していることを示している。さらに、山崎氏(海洋地質部)がヒートフローの異常を指摘した場所でも、熱水活動を示唆するLPSの異常分布が得られた。

沖縄トラフ：伊是名海穴で中村氏(海洋地質部)が『しんかい2000』によって発見したブラックスモーカーを中心として、ここと半径およそ1 kmの円形状に採水点を設定し、水平及び垂直方向の熱水ブルームの拡散状態を調査した。ブラックスモーカー直上では海底に近づくにつれてLPS濃度が増大する傾向にあり、垂直分布パターンは海形カルデラのカルデラ底や、マリアナトラフ21°Nの傾向と類似していて、最深部における濃度は海形カルデラよりも高く、マリアナトラフよりも低い値を示した。LPSからみた熱水のブルームは噴出部から上方に300 m程度まで広がっており、南西方向に高濃度に広がっており、北東方向にはほとんど広がっていないように考えら

れた。

これらの結果は、深海水中の LPS が海底熱水活動の探査指標として役立つことを示している。

(地殻化学部)

北フィジー海盆 (STARMER 計画の成果)

北フィジー海盆の発達史と地質構造

棚橋 学*・岸本清行*・上嶋正人*
他 STARMER 参加研究者一同

北フィジー海盆は、東西方向に約 10 cm/年の速度で取れんするインド=オーストラリアプレートと太平洋プレート間のヴァヌアツ (ニューヘブリデス) 島弧の背後 (東側) にある、8 Ma 頃から活動的な拡大を続けている縁海盆である。日仏共同研究 STARMER プロジェクトでは本海盆の詳しい地質調査を行ってきた。

北フィジー海盆は、西太平洋で現在拡大を続けている縁海盆の中の最大のもので、水深が 3000 m 程度と浅く、地殻熱流量も高い。その中央部には縞状地磁気異常帯が認められ、中央部で熱水噴出を伴うリフト活動が発見された。このリフトは東太平洋海膨と同様に軸部で盛り上がりその中軸部に谷を持つ断面形状を示すことが多いが、軸に沿って 50-100 km おきに地形の高まりと相対的な低まりが繰り返す特徴を持つ。これはマグマ活動の強さを反映していると思われ、熱水活動の認められた 2ヶ所はいずれもこのような地形の高まりに位置する。海盆の中央部に見られる三重点は複雑な地形を持つが詳細な調査により詳しい発達史が推定された。その結果このリフトは活動の継続期間が短く、移動しやすい不安定なものであることが判明した。

一方これとは別にヴァヌアツ弧に沿って島弧を割るようにして背弧トラフを形成しているリフト活動もある。これは火山弧から 20-50 km 東側に見られ、北部では 3ないし 4列の幅 5-20 km の、また南部では 1列の 20-40 km の、正断層を伴って落ち込んだ相対的な深さ 1000 m 以上のグラーベンを造っている。北部のグラーベン群の中にはいくつかの火山地形が確認され、熱水活動の兆候も発見された。

これらのリフト活動は本海盆ではマルチプルリフトによる拡大が起きていることを示す。

従来縁海の拡大機構としては固定されたスラブに対する上盤プレートの相対運動が離れる運動の場合に拡大するという、受動的拡大機構が考えられることが多かった。

一方本海盆ではヴァヌアツ弧の西側の海溝は本海盆の拡大に伴い西側に後退しており、スラブは固定されていない。このスラブは 330 km と長くはなく、スラブの自重で後退するのは不自然であり、海盆部から島弧を外側に押し出す力がはたらいっていると考えられる。またホットスポットに伴うといわれるジオイド高異常が海盆部に認められる。さらに、メカニズムはわからないが地磁気異常図上に直径 200-500 km 程度の弱い円形の異常が認められ、マントルからの上昇流の影響の可能性がある。以上の証拠は岩石学的証拠などから唱えられているマントルプルームの貫入による能動的拡大という考えを支持する。

(*海洋地質部)

北フィジー海盆拡大軸域玄武岩の希土類 (REE) 同位体比特性

野原昌人*・J. P. EISSEN**・浦辺徹郎***
上嶋正人*・本座栄一†

北フィジー海盆拡大軸から採取された無斑晶質玄武岩は、軽希土類に乏しい、いわゆる N-タイプ MORB に属する。

それらの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は 0.7028 から 0.7033 の範囲である。一方、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比は 0.51297-0.51313 で、これらの値は EPR, MAR の MORB の範囲内である。北部三重点 (16°48'S, 174°01'E) の岩石は REE パターンがフラット、Sr 同位体比が低く、Nd 同位体比が高い特性を有しており、当地域が、マントルプルーム又はホットスポット的な場であることを示唆している。

同位体比及び化学組成の特徴から、当海盆は 3-4 つに区分でき、不均一なマントルの存在が明らかになった。

(*海洋地質部 **IFREMR

***鉱物資源部 †地殻物理部)

北フィジー海盆拡大軸の海底熱水鉱床

浦辺徹郎

科技厅振興調整費による「南太平洋における海洋プレート形成域 (リフト系) の解明に関する研究」の一部として、フランスの深海潜水艇ノチール号を用いて北フィジー海盆拡大軸の潜航調査を行い、リフト三重点の南南西約 3 km の地点に活動的なチムニー (ホワイトレディー) を発見した。これは中軸谷中のグラーベンを埋める固結

した溶岩湖の表面に立っており、高さ5m、底径5m以上の大きさを持っている。このチムニーの上半部は硬石膏よりなり、最高285°Cの無色透明の熱水を噴出している。一方チムニーの下半部は表面の酸化した硫化物塊より成っている。その鉱物組成は単純で、主として白鉄鉱、黄鉄鉱より成り、ウルツ鉱、閃亜鉛鉱、黄銅鉱、コペリンを伴う。その平均組成は、Cu 2.75%、Zn 5.50%、Au 1.2 ppm、Ag 47.7 ppmである。硫化物はほぼ $\delta^{34}\text{S}=0$ per milの組成を持ち、硬石膏の硫黄同位体比は18-24 per milとばらつく。

一方この地域の北方約1kmの所に活動を停止した巨大な硫化物チムニー群が発見された。このチムニー群は少なくとも長さ1kmにわたって分布しており、一本のチムニーの平均的な大きさは、底径4-5m、頂径2-3m、高さ15mの円柱状で、現在までに西太平洋地域で確認されているものの内で最大級の海底熱水鉱床である。

(鉱物資源部)

White Lady より噴出する boiling を起こした 熱水の地球化学的特性

石橋純一郎*・野尻幸宏**・D. GRIMAUD***

演者らは、STARMER Project に当初より参加して地球化学的研究を行っている。本年度は North Fiji Basin の spreading ridge において発見された熱水 vent “White Lady” から噴出する熱水を採取、分析を行ったのでその結果を報告する。

この熱水の顕著な特徴は、系内で二相分離すなわち boiling を起こしていることである。二相分離した fluid は海底より噴出する前に再び凝集して一相となるが、このとき気相：液相比が分離した時より大きくなるので、生成した熱水は主要成分 (Ca, K, Na, Cl) について濃度が低く薄まったものになる。実際に熱水中の Na 及び Cl

の濃度は海水中の濃度の約45%となっており、他の主要元素も岩石-海水反応直後の熱水に比べて同じ割合で薄まっていると考えられる。

Fe, Mn などの ore-forming elements は、熱水-岩石反応から期待される量に比べて数%しか含まれていない。これらの元素が boiling の際に熱水溶液の pH 変化によって沈殿してしまうことは、熱水溶液の熱力学計算などから良く知られている。現在の White Lady の chimney が anhydrite だけからできており硫化物鉱体が生じていないことは、boiling に伴う反応によって熱水から重金属元素が取り除かれた結果であると説明できる。

White Lady のある中央地溝周辺には、既に活動を停止しているがかなり大規模な硫化物チムニー群が発見されている。ここから現在の活動の以前に、熱水系内での boiling が起こらず硫化物鉱床を生成していた時期があったと思われる。このステージの推移のメカニズムとして Clogging model を考えた。一般に噴出孔近傍では熱水性沈殿物の生成による閉塞が起こって熱水の循環量が減っていく。この閉塞が進行すれば、系全体の熱量は不変でも単位量あたりの熱水に付加される熱エネルギーは増加するので、その結果 boiling にいたる高いエントロピーを得ることが可能となる。

このモデルに従えば、海底拡大がさかんで新たな熱水の通路が次々にできるようなステージでは熱水系の閉塞が発達せずに boiling に致らないのに対して、拡大の activity が低下するのに伴って boiling が起こりやすくなるということが考えられる。この推移を裏付けるものとして、White Lady の周囲で数cmの堆積層が分布しており、ここ数千年の間に active な活動が起きていないことがあげられる。Magnetic Lineation がここ数 Ma の活発な海底拡大を示すのに対し、熱水系の推移はそれよりも短いタイムスケールにおける拡大の activity の減少を示しているのかもしれない。

(*東京大学 **国立公害研究所 ***Paris 7 大学)