

沖縄トラフの海底熱水鉱床

原口 悟¹⁾・児玉 敬義¹⁾

海底熱水鉱床は、1960年代の紅海での重金属泥の発見の後、1974年の大西洋中央海嶺、1979年の東太平洋海膨での発見が続き、1981年のガラパゴス拡大軸における巨大鉱床の発見で、マンガン団塊に次ぐ第2の深海底鉱物資源として注目されるようになった。プレート発散域の中央海嶺、プレート収束域の火山活動が盛んな海洋性島弧の火山フロント周辺部、そしてその背弧海盆に形成される。海底の割れ目から数kmもしみ込んだ海水が、マグマの熱によって周囲の岩石中に含まれている金属成分を溶かし込んだ熱水となり、これが上昇して温度の低い海底あるいは海底付近(水深700m～3,600m)に硫化物を形成する。この硫化物の化学組成には地域の特徴はあるものの、一般に銅、亜鉛、鉛などの主要金属元素と金や銀などの貴金属元素が含まれている(飯笹, 2006)。

沖縄トラフは南西諸島の北西側に平行に位置する幅約120km、延長約900kmにわたる溝状の凹地(舟状海盆:トラフ)である。同海域の海底熱水鉱床の調査は、旧金属鉱業事業団(現石油天然ガス・金属鉱物資源機構)が通商産業省から委託を受けて実施した深海底鉱物資源調査事業の一環として平成7～11年度(1995～1999年度)の5年間行われた。沖縄海域は沖縄トラフの活動による背弧海盆型の熱水鉱床の賦存が期待され、既往調査でも存在が予想される情報が得られていたが、調査実績が少なく、鉱床生成のメカニズムも十分解明されていなかったため、探査技術の確立を図りながら探査を進める形となった。

調査範囲は沖縄トラフのうちのトカラ列島の宝島から硫黄島、粟国島を結ぶ線を南東側の長辺として北西側に約110kmの幅を持つ長方形の海域で、おおそ奄美大島から沖縄本島までの南西諸島の北西側約50kmから150kmの範囲に相当する。この範囲は沖縄トラフ内でも火山性の地形が卓越しており、堆積

物も薄く、火山岩基盤の露出が良いことが期待された。それまでの調査で熱水鉱床はこのような火山性地形で発見されていることから、この範囲を調査範囲に選定した。

調査は第2白嶺丸を用いて実施された。調査手法は大きく地形調査、地磁気調査、サイドスキャンソナーによる地質構造の把握、海水調査、海底観察、サンプリングに分けられる。

調査を進めるにあたって一次概査(広域探査による有望海域の選定)、二次概査(熱水鉱床鉱微地の抽出と平面的広がり)の把握および三次概査(熱水鉱床鉱微地の規模の概略把握)の段階が設定された。一次概査は、地形調査および地磁気調査による広域のマッピング調査が中心で、この結果を基に有望海域を選定し、二次概査を行っている。二次概査は、選定した有望海域に対してサイドスキャンソナーによる詳細な地形および地質探査、TVカメラ搭載の曳航体を用いて海底地質を直接観察する海底観察、海水の物理的性質を測定して熱水活動の兆候を検出する海水調査を主とし、必要に応じて底質の直接採取を行っている。調査期間内に一次概査が完了しており、一部有望海域に対して二次概査を行ったところで調査を終了している。

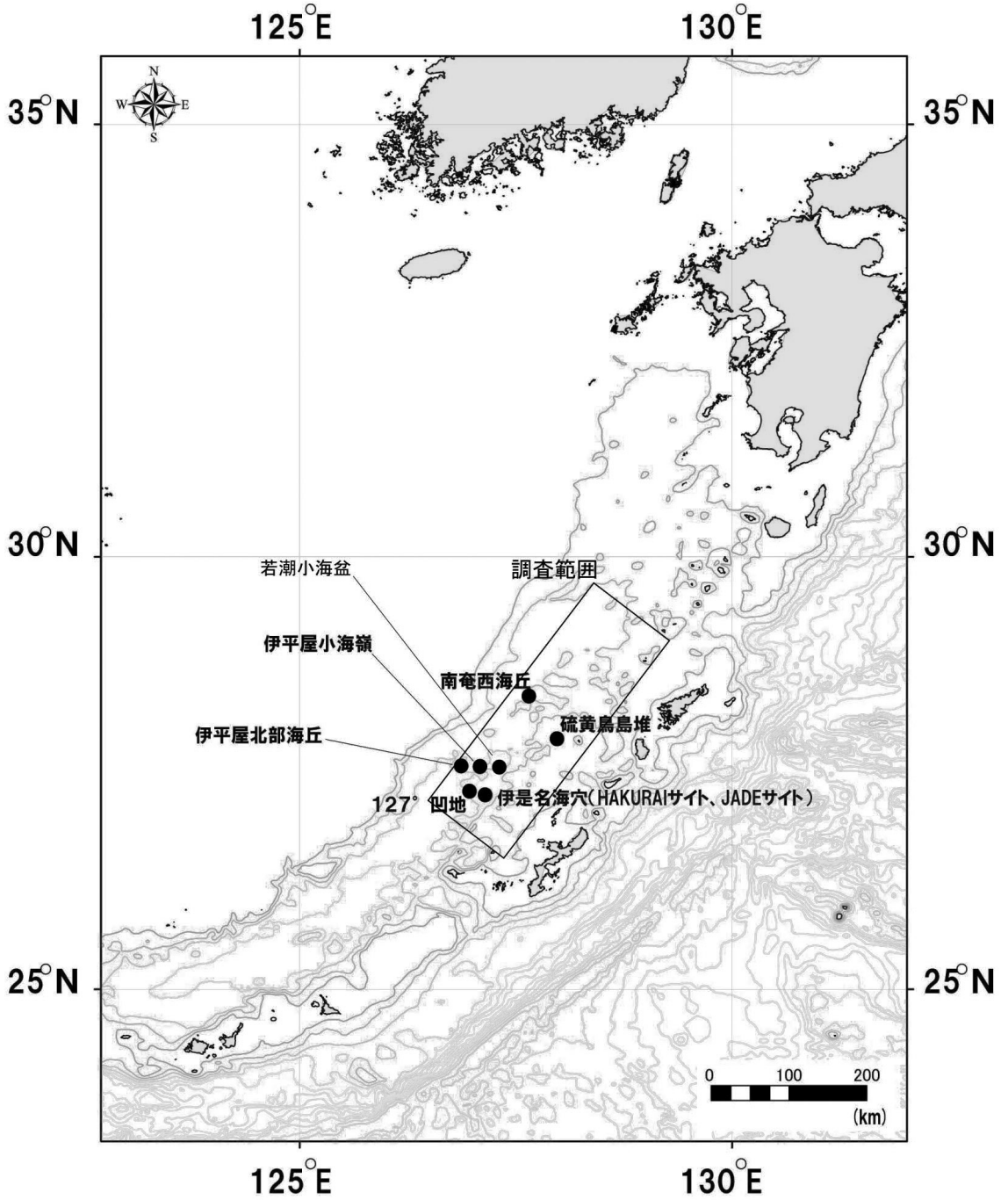
以下に各海域における調査結果を述べる。

伊是名海穴周辺

沖縄トラフ中部では、北方の伊平屋海嶺等の東北東-西南西の構造と、多くの小さな断層群による北西-南東方向の構造が発達し、この両者の構造運動により複雑な地塁・地溝構造が形成されている。伊是名海穴はこの地塁・地溝域の最南端部に位置し(第1図)、1988年に日独共同調査(日本側:旧地質調

1) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

キーワード: 沖縄トラフ, 熱水活動, 硫化物



第1図 沖縄トラフの地形、調査範囲および鉱徴確認地点.

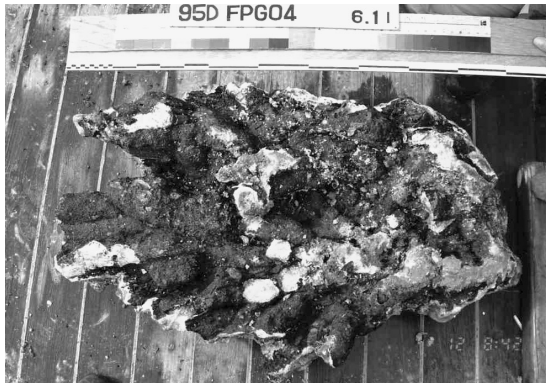


写真1 伊是名海穴南側のHAKUREIサイトよりファインダー付パワーグラブを用いて採集されたチムニー片。

査所)により熱水鉱床 (JADE サイト) が発見され、その後、有人潜航艇を含む多数の調査が実施された (加藤ほか, 1989 など)。この結果を受け、伊是名海穴周辺は沖縄海域の最も有望な海域の一つとして選定され、平成7年度～8年度及び10年度に調査が実施された。

JADE サイトは海穴の北東斜面の尾根状地にあり、調査はこの延長部を含む海穴全体に対して実施された。この結果、JADE サイトの延長部に熱水活動域を確認し、「HAKUREI サイト」として調査を行い、海底観察によりチムニーを有する複数のマウンド群の存在を確認した (写真1)。

マウンド群には多数の熱水性生物群集が見られ、周辺には水温の異常や海水の濁りが確認された。ファインダー付パワーグラブ (FPG) による試料採取 (写真2) により、マウンドは塊状硫化物からなり、銅、鉛、亜鉛、鉄を含むほか、重晶石、砒素鉱物、硫黄等の含有も確認された。

マウンド群の間や周辺には堆積物が広がり、水温の異常が確認されたほか、堆積物の下にも塊状硫化物が埋もれていることがラージコアラ (LC) で確認されている。

伊平屋小海嶺周辺

沖縄トラフ中軸には拡大軸に相当する地溝が分布しており、伊平屋海凹は沖縄本島の北西約150kmに位置するその1つである (第1図)。同海凹中には火山



写真2 底質採集に用いられたファインダー付パワーグラブ。

活動による伊平屋海丘群が分布し、西端の伊平屋小海嶺から熱水活動の徴候が報告されていた (蒲生ほか, 1991 など)。この調査結果から既知鉱微地調査として調査が計画され、平成7年度～9年度に同地域の調査が行われた。

海底観察およびLCによる地質採集の結果から、同地域は玄武岩質溶岩 (アア溶岩、枕状溶岩およびその破砕物) を主体とし、場所により薄い堆積物に覆われていると解釈される。火山岩は化学的には玄武岩質安山岩で、島弧ソレアイトに近い組成を示す。

熱水活動は既知鉱微地である伊平屋小海丘西側尾根 (CLAM, HAORIMUSI サイト: 既往調査で命名) の周辺の他、東側の伊平屋小海丘の南斜面に新規に確認された。CLAM, HAORIMUSI サイト等を中心とする既知鉱微地では、距離数m～十数mを単位とする熱水活動が広い範囲に散在しているが、鉱徴としては硫黄鉱染～黄鉄鉱鉱染した弱変質玄武岩と変質粘土が数箇所採取されたのみで、硫化鉱石は採取されていない。化学分析の結果、変質玄武岩で金、銀の、LCにより採取された堆積物の浅部でも金、銀、

鉛、亜鉛の含有が認められた。

南奄西海丘

沖繩トラフ中軸には多くの大小の海丘が存在し、南奄西海丘は奄美大島の西約140kmに位置する海丘の1つである(第1図)。同海丘の南側にはN70°Eの方向を持つ鳥島中央地溝があり、また、琉球島弧と同じN50°Eの大構造も認められ、両者の構造運動によって複雑な地塁・地溝地形が形成されている。同地域での既往調査で熱水活動の徴候が認められ(千葉ほか, 1993など)、この調査結果から既知鉱徴地調査として調査が計画され、平成9年度に同地域の調査が行われた。

南奄西海丘頂部には火口跡とされるA~Cの凹地が認められており、他に小規模な凹地および小海丘群が認められる。既往調査では南奄西海丘から軽石、石英閃緑岩、角閃石閃緑岩、凝灰岩など、酸性の火成岩が採取されている。海丘本体を形成する岩石の特定はされていないが、これらの岩石から南奄西海丘は酸性マグマの火成活動で形成されたと考えられている。

調査の結果、熱水活動が山頂部のC凹地に確認された。同凹地では既往調査でも多数のチムニーや生物群集分布域が確認されており、本調査でも海底観察で熱水によるゆらぎが観測されたのを始め、チムニー、海底の変色、熱水性生物の分布等、海底面の熱水活動の証拠が確認された。また、採取された凝灰角礫岩中に二酸化炭素のハイドレイトが確認されている。熱水鉱床を構成する鉱石は鉱染状硫化鉱で、伊是名海穴の硫化鉱が塊状硫化鉱であるのとは異なっており、また、品位も伊是名海穴と比べると金、水銀が高く、銀、鉛、亜鉛が低いことから、両地域の鉱床生成条件は異なると考えられる。

若潮小海盆周辺

伊平屋海凹は沖繩本島の北西約150kmに位置する中部沖繩トラフの中軸部をなす地形で、若潮小海盆は同海凹内に存在する。同海域では地殻熱流量が非常に高い。南に隣接する「なつしま84-1海丘」で、沖繩トラフにおいて初めて活動的な熱水マウンドが発見された調査である「しんかい2000」による潜航が行

われている(上田ほか, 1985など)。この地域には火山性と考えられる多くの小海丘や小海嶺が存在し、また、割れ目状や階段状の線構造が卓越している。これらの地形は安山岩を主とし、一部に玄武岩が認められている。

調査の結果、「なつしま84-1海丘」では大きな水温異常や高い地温勾配が確認され、熱水活動の存在が裏付けられるが、熱水生成物が確認されないため、活動中の硫化物マウンドが存在する可能性は低い。その西側の小海丘、若潮小海盆底およびその縁辺部で大きな地温勾配が確認されるものの、水温異常は顕著ではなく、熱水活動は存在しても不活発と考えられる。また、若潮小海盆部を軸とする急激な拡大活動があったことが示唆され、配列するN70°E方向の割れ目に沿った熱水活動が存在する可能性がある。

127°凹地

伊是名海穴の北西約13kmの位置に小規模な凹地が存在し(第1図)、一次概査によって熱水活動の場である可能性が高いことが指摘されたのを受けて、同海域(127°凹地と仮称)で二次概査を行った。

海底観察から、同地域は低地、凹地では泥が卓越、海丘では自破碎溶岩が卓越しており、場所によってはきわめて新鮮な自破碎溶岩が確認された。この海域中、中央部の海丘とその北東の小海丘で熱水活動の徴候と推定しうる異常が検出された。両地域では酸化沈殿物、熱水性生物群集は認められたが、熱水変質・鉱化作用の存在は確認されなかった。なお、酸化沈殿物は熱水中に溶存した鉄が酸化沈殿したものと考えられるが、海水の温度異常は確認されなかった。

また、東部の伊是名海丘頂部でも海水温の異常が認められたが、他に熱水活動を示す徴候は確認されていない。この結果(1)低温の熱水活動、または(2)観察範囲外に大規模な熱水活動があり、その影響が及んでいる可能性もあるが、(3)黒潮周辺の渦流により表層の温水が流れ込んだもので熱水活動とは関係がない可能性もある。

硫黄鳥島堆

硫黄鳥島堆は硫黄鳥島の西方約35kmに位置しており(第1図)、平成10年度調査において2次概査海

域選定のための予察が行われた。同地形は北西と南東の2つのピークの間カルデラ状の凹地があり、その西側にも構造的凹地が認められる。調査の結果、同地形の広い範囲が軽石によって覆われていると見られる。

調査の結果、東部～北東部を中心に熱水活動を示唆する以下の4つの徴候が認められた。(1) FDCによって著しい海水の濁りが観察された。(2) 大きな水温異常が数カ所で確認され、海底観察では自破碎溶岩の分布と対応した。(3) 堆積物に変色した部分が認められた。(4) 生物の密集が観察された。この結果、カルデラ状地形の縁に沿った熱水の上昇が推定されるが、温度異常の範囲に対して変色域、生物分布域が小さいことから、熱水の噴出や熱の伝播は軽石を通して拡散し、海底面では広範囲に亘る低温の活動として観察された可能性が高い。

まとめ

以上の調査結果から、沖縄海域では以下のような地質構造に熱水活動が存在する可能性がある。

- (1) 拡大軸と古い構造が交差する裂罅部(伊平屋小海嶺、伊平屋小海丘、若潮小海盆)
- (2) 拡大軸-トランスフォーム断層の接合点付近(伊是名海穴、127°凹地等)
- (3) 古い火山活動(中新世から前期更新世)の高まりにある新しい裂罅(後期更新世以降)によるクレーター(南奄西海丘、伊平屋海凹北方海丘等)
- (4) クレーターを持つ火山フロント付近の海山(硫黄

鳥島堆)

このうち、サンプル採取により鉱化を確認できたのは、伊是名海穴、伊平屋小海嶺、南奄西海丘、伊平屋海凹北方海丘の4箇所で、本調査により規模を確認したのは伊是名海穴、南奄西海丘の2箇所である。

謝辞: 当該事業は、経済産業省から石油天然ガス・金属鉱物資源機構(当時の金属鉱業事業団)に委託され実施されたものである。成果の公表を許可頂いた経済産業省に謝意を表したい。

参考文献

- 千葉 仁・中島和夫・蒲生俊敬・石橋純一郎・角皆 潤・酒井 均(1993): 沖縄トラフ南奄西海丘の海底熱水活動: 熱水の地球化学的特徴. 第9回しんかいシンポジウム報告書, p271-282.
- 蒲生俊敬・酒井 均・石橋純一郎・千葉 仁・下島公紀・中島和夫・田中善孝・増田晴恵(1991): 中部沖縄トラフ、伊平屋海凹(クラムサイト)における熱水製マウンドの構造的鉱物学および化学的特徴から見たマウンドの成長過程について: 「しんかい2000」第486, 487, 488回潜航報告. 第7回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書 p163-184.
- 飯笹幸吉(2006): 深海底鉱物資源(3) 海底熱水鉱床: 日本と世界. 金属資源レポート, 36, 3, 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, p155-159.
- 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年の潜航結果-. 第5回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書 p163-182.
- 上田誠也・木村政昭・田中武男・兼岡一郎・加藤祐三・久城育夫(1985): 沖縄トラフ拡大軸の研究. 「しんかい2000」研究シンポジウム特集, p123-142.

HARAGUCHI Satoru and KODAMA Takayoshi (2007): Hydrothermal deposits in the Okinawa Trough.

<受付: 2007年2月19日>