

沖縄トラフ伊平屋小海嶺東部の 1988年潜航調査について

田中武男*¹ 満澤巨彦*¹ 堀田 宏*¹

中部沖縄トラフの伊平屋小海嶺の東端部において、深海曳航調査によって活動的な海底熱水現象の存在が確認された。1988年9月に3回の潜航調査がこの海域で実施された。その結果、玄武岩の小海嶺の北側斜面中腹の平坦面（水深約1400m）内において、220℃の熱水噴出の現場が確認された。その透明な熱水は平板状に固結した表層堆積物の割れ目から直接噴出している。また高さ1m～2mほどのなだらかなマウンドを形成してそこから噴出している。しかし典型的なチムニー状の構造物は作らない。

熱水沈殿物はMn Calcite及びMn-Caに富む炭酸塩からなり、少量の硫化物を含み、PbやZnにもやや富んでいる。熱水噴出の周辺にはシロウリガイ類、ヒバリガイ類、チューブワーム類、エビ類等が生物コロニーを作っていた。これらの個々の熱水噴出は数mから数10m四方であるが、全体として1マイル四方以上のひろがりの中で分布している。

海水温や流向・流速とも観察したが、この地域では噴出した熱水は海底付近に安定して存在し、その結果、局所的な小さな水温躍層が形成されている。

“SHINKAI 2000” Diving Surveys in the East of Iheya Small Ridge in the Central Okinawa Trough

Takeo TANAKA*², Kyohiko MITSUZAWA*² and Hiroshi HOTTA*²

Deep towed camera and sonar surveys had discovered some active hydrothermal phenomena with deep sea biological communities at the northern slope of the east end of Iheya Small Ridge. Three geological research divers were carried out in the hydrothermal area at the depth of 1400m. Hydrothermal fluid (220°C: highest temperature) was ejected from the vents of the hydrothermal mounds (1m – 2m high) and fissures in the flat floor. Living giant clams, deep sea mussels, tube worms and shrimps clustered around the hydrothermal vents. The extent of the hydrothermal area was more than 1 mile square in the slope of the Small Ridge. All the sampled hydrothermal materials was carbonates (Mn Calcite and Mn-Ca rich dolomite) with a small amount of sulfide (wurtite and pyrite).

*¹ 海洋科学技術センター 深海研究部

*² Japan Marine Science and Technology Center.

1. はじめに

沖縄トラフは、誕生期の活動的な背弧海盆であると考えられており、近年多くの研究航路が、背弧テクトニクスの解明や熱水現象の探査を目的として、この海域で実施されている（桂 他 1986; DELP group 1986; Kimura et al. 1986; Sibuet et al. 1987）。海洋科学技術センターも、多くの研究機関との総合研究として、1984年の深海曳調査を皮切りに、1984, 1986, 1987年と本年度まで3次にわたり、「しんかい 2000」による潜航調査を実施してきた。これらの一連の調査によって、中部沖縄トラフに位置する伊平屋海域は、海底火山活動が活発であること（上田 他 1985）が確認され、特に「なつしま海丘」（水深1530m）において低温型熱水噴出現象と、鉄-マンガンの水酸化物・酸化物からなる熱水性のマウンド群の発見（木村 他 1987; Kimura et al. 1988）等の成果を得た。さらに広域の様子を知ることを目として、1988年6月に深海曳航調査を実施した。

その結果、新しく伊平屋小海嶺東部で海水温度異常と生物群集が確認され、それを受けて同年9月に潜航調査を実施した。本文はその時得られた伊平屋海域の深海曳航調査結果の概要と、伊平屋海嶺東部域の潜航調査の成果についての報告である。

2. 「かいよう」による事前調査

事前調査である深海曳航調査は、1988年6月に奄西海丘と伊平屋海域の2海域で実施したが（門馬 他 1989）、ここでは伊平屋海域についてのみ、その概略を記す。この海域（図1）の調査は、6月15日から6月23日までの9日間実施され、カメラ測線は15本総計43時間、ソーナー測線は5本8時間の長さにとどめた。この調査目的としては以下のことがあげられた。

- ① 伊平屋小海嶺域と「なつしま84海丘」域を中心とした、これまで最もデータが集まっている海域について広域底質マップを作成する。
- ② 沖縄トラフ内で最も活動的な地域の1つと

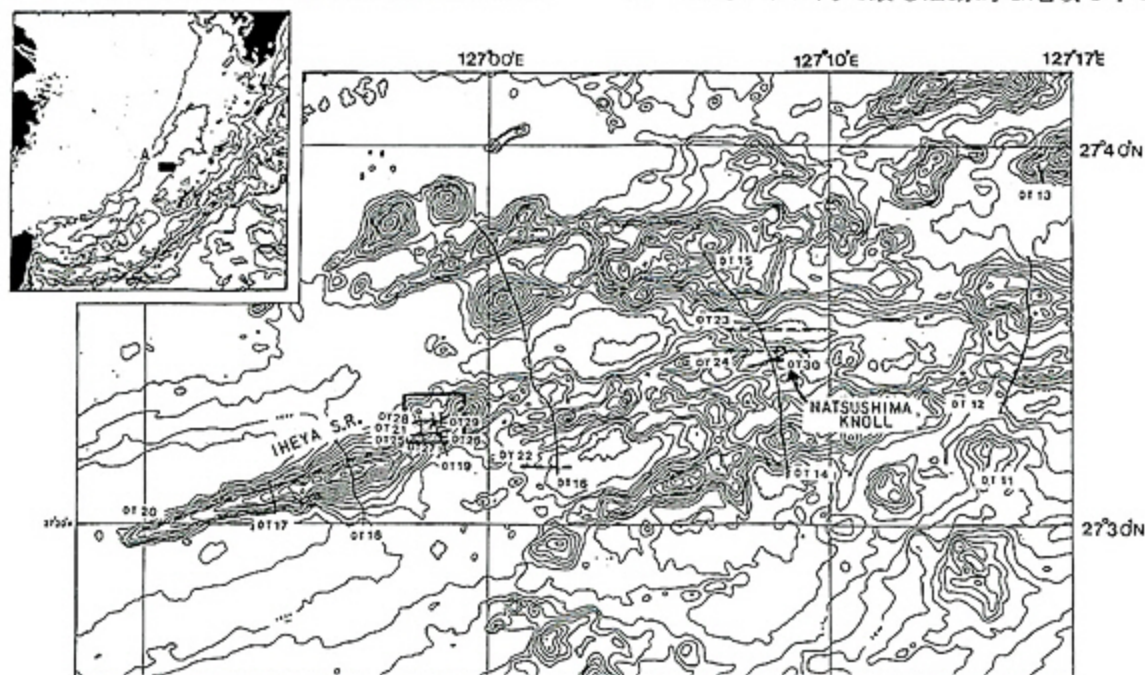


図1 中部沖縄トラフ伊平屋海域周辺の海底地形図（原図は海上保安庁水路部のシービームによる：大島 他 1988）。図には、カメラ測線（実線）とソーナー測線（破線）を重ねて示した。DTのついた数字は曳航測線番号を示す。伊平屋小海嶺（IHEYA S.R.）の東部の太線で囲んだ範囲は図2の範囲を示す。

Fig.1 Simplified Sea Beam topographic map of the Iheya in the middle part of the Okinawa Trough (prepared by the Japan Hydrographic Department). Deep towed camera lines (in solid) are overlapped. Numbered 'DT's indicate the deep tow line numbers. Rectangle of thick solid line shows the location of Fig.2.

されているこの海域の中で、「なつしま84海丘」以外にも熱水活動の存在を確認すること、さらに大規模な熱水活動地点の探査。そして、これまで中部沖縄トラフ域では存在の兆候はあるものの、分布、規模、活動度等は全く分かっていない深海生物群集を確認する。

曳航調査では、広域の地質情報を調べるために、この地域の地形構造と直交する方向である南北方向に、1測線あたり10マイル程の長いカメラ測線を数本設定した。そして、それらのTV映像記録を参考にし、地形・地質的に興味深い地域について、東西方向のソーナーによる微細地形調査を実施した。

この海域内の岩石は地形によく対応して分布しており、海嶺状地形のところでは枕状溶岩及びそれらの角礫からなっている。また、調査海域東部に多く分布する不定形をした海丘部では、ゴツゴツしたブロック状溶岩（おそらく酸性岩）やいわゆる“材木状軽石”（加藤 1986）が見られた。

それらの火山岩の表面を覆う堆積物は伊平屋小海嶺とその東方延長域が一番薄く、南北両側にいくにつれて厚くなるという一般的な傾向が見られる。また熱水活動の兆候（海底の黄褐色物質や生物群集）も中心部に集中して見られる。

これらの概査によって以下の2地点の熱水活動が特に活発であることが判明したので、トランスポンダを海底に設置し、深海TV及びソーナーによる集中した調査を実施した。

2.1 伊平屋小海嶺東部

概査の段階で、生物群集、熱水マウンド、温度異常等が確認された伊平屋小海嶺東部にトランスポンダを設置し、さらに詳細な海底観察を実施した（図2）。熱水活動の指標となり深海TV観察で最も目立つ、いわゆる“バクテリアマット”と呼ばれる海底の白変、シロウリガイ類、チューブワーム類、コシオリエビ類等の熱水性の生物等が、少なくとも1マイル四方以上にわたって分布して

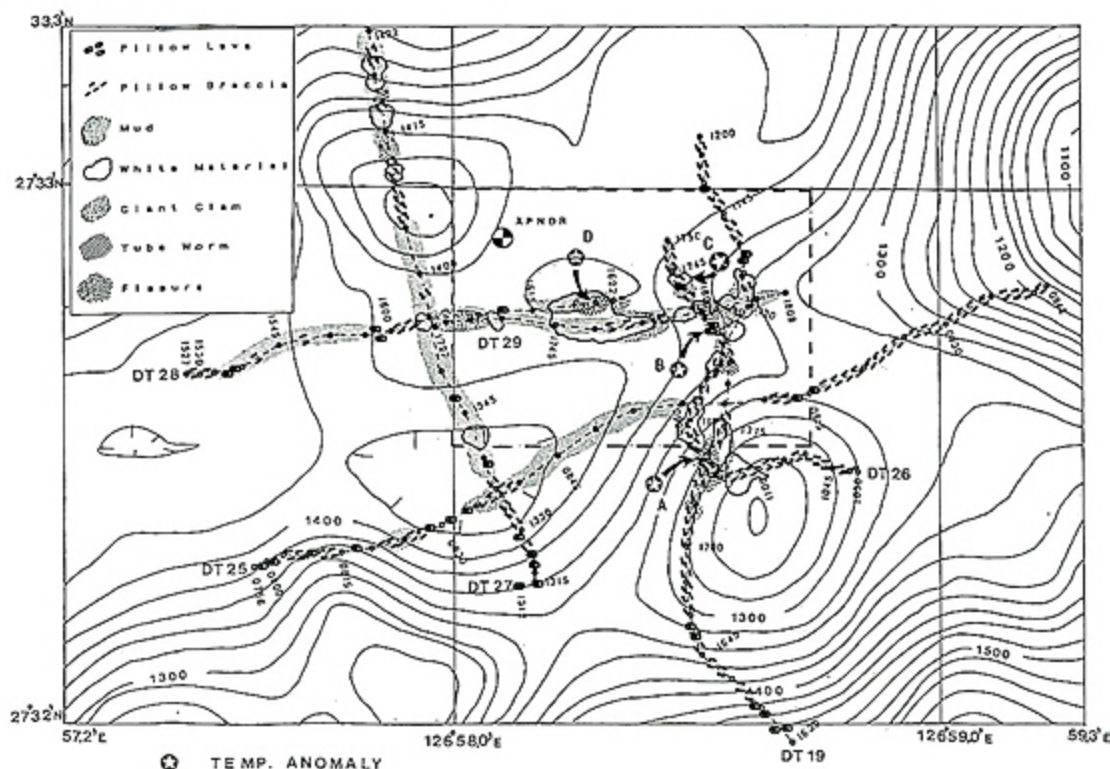


図2 伊平屋小海嶺東部の底質分布図。調査範囲は図1の太点線内である。*印はCTDの温度異常検出地点を示す。

Fig.2 Deep towed camera observation map of the Eastern end of the Iheya Small Ridge. Asterisk shows the points of water temperature anomalies.

いることが判明した。熱水活動の最も活発な兆候は、水深1400mほどの平坦部の北縁から小海丘の西側斜面域にかけて集中して分布する。ところが小海丘の頂上から南斜面域にはほとんどみられない。このように熱水現象の分布は、かなり限定された地域に集中しているようである。

伊平屋小海丘の南北両斜面にかけては、枕状溶岩とその角礫が比較的多く分布している。しかし“熱水地域”である海丘北側の平坦面にかけては、角礫状岩石が多く枕状溶岩はあまり見られない。そこは泥に覆われた比較的平坦な海底で、熱水地域の中心付近には無数の割れ目が見られる。

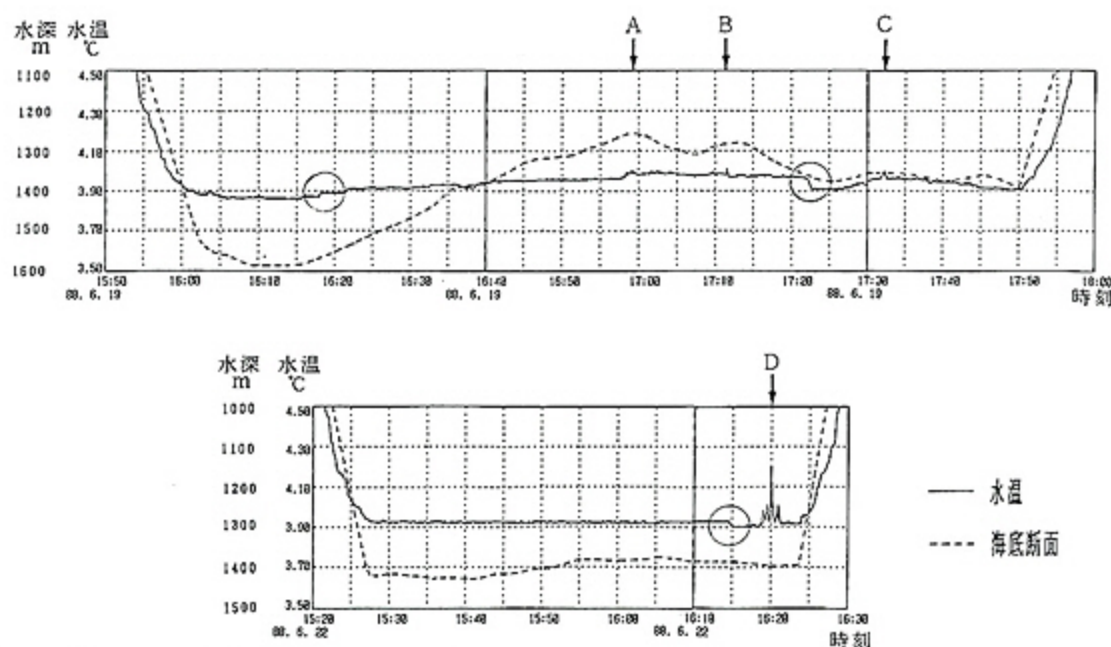


図3 伊平屋小海丘東部で測定されたスパイク状の温度異常。

Fig. 3 Records of the temperature anomalies by a precision thermometer equipped on the deep towed camera in the eastern end of Iheya small Ridge.

曳航式カメラに搭載されたCTD及び精密水温計により、水温の異常が観測された。水温異常が観測された2測線上の水温及び深度変化の例を図3に示す。熱水湧出に伴う水温異常は、曳航体のCTD等にはスパイク状に現れ、水温躍層とは区別できる。また、○印で囲んだように海底上2～3mに水温躍層が局所的に存在しており、これら躍層が熱水湧出と関連している可能性もあると考えられる。各々矢印で示した地点で、海底の白変色、生物群集が観察され同時に水温が高くなっている。生物群集の分布と水温異常の分布とはよく一致している。貝の死殻のみが散在しているが海底の白変はないところもあったが、そのような所は現在活動的とはいえないようであり、温度の異常も検知されなかった。

また熱水性の鉄の水酸化物からなると思われる

海底の黄変は、海域東南の海丘の頂上部付近で見られた。これらの産状は「なつしま海丘」の熱水マウンドとよく似ており、そこでは生物群集は見られなかった。

2.2 「なつしま海丘」について

1986年に熱水マウンドが確認された「なつしま海丘」周辺では、東京大学海洋研究所による採水結果によって、さらに大規模な熱水噴出域のある可能性が示唆された(Ishibashi et al. 1988)。そこでこの海丘を含む周辺をカメラで観察し、さらなる熱水域の探索を実施した。「なつしま海丘」周辺の海盆部は枕状溶岩とその角礫が分布している。特にその北側の若潮小海盆の西部では、堆積物にあまり覆われていない新しそうな溶岩流が海盆を埋めるように分布している。「なつしま海丘」

にさしかかるあたりで、ゴツゴツした形状をした火山岩（石英安山岩？）に漸移するが、その境界は、カメラでもソーナーでもはっきりしない。

今回の調査で熱水マウンドは、「なつしま海丘」と若潮小海盆内の一部に分布していることが確認できたが、その範囲は極めて狭く各々数10m四方ほどの局所的分布を示すのみである。また生物群集は、この海域では熱水マウンドの周囲ばかりでなく全体的にも全く認められなかった。少なくともこの地域は、TV観察では伊平屋小海嶺域と比べて熱水活動的にはあまり活発ではないようである。

3. 「しんかい 2000」による潜航観察

深海曳航調査の情報をもとに3回（#366, #367, #368）の潜航調査が、伊平屋海域の伊平屋小海嶺東部で集中的に実施された。その目的は、広い範囲にわたって熱水現象に関連する映像情報を得ることと、各種試料の採取、多数点での温度計測等からこの地域の熱水活動の大枠を掴むことにあった。

その結果、伊平屋海嶺東部では、本年度に一連の潜航調査が実施された伊是名海穴域（中村、木村 他：本特集号）と共に、我が国近海で初めての200℃以上の高温の熱水噴出現象や、熱水依存

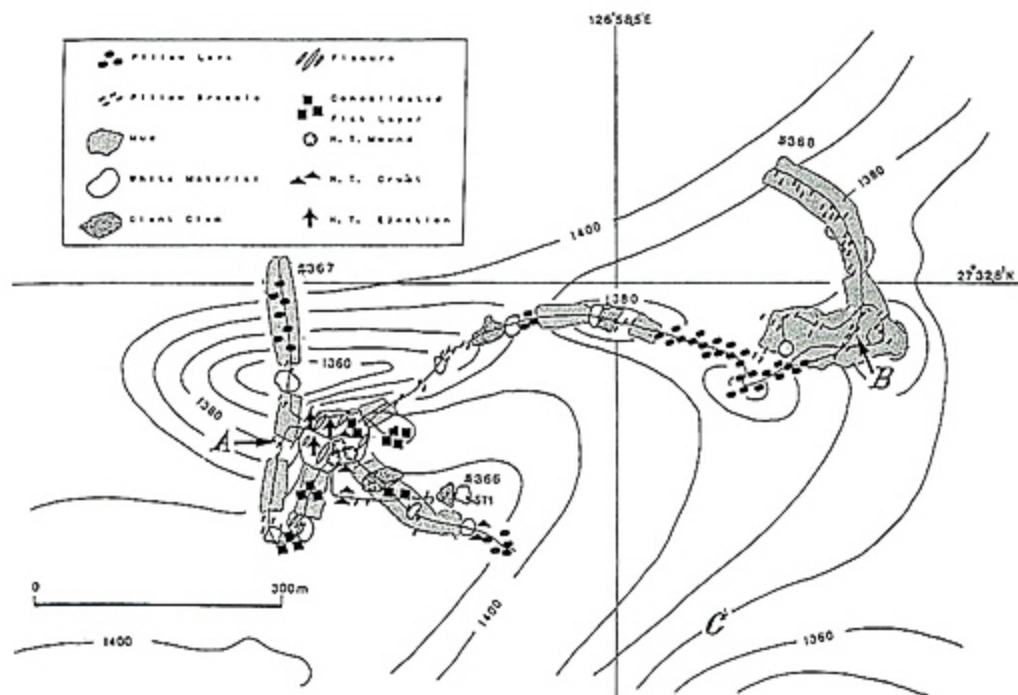


図4 「しんかい 2000」の潜航調査で観察した底質分布図。調査範囲は図2の太点線内である。

Fig. 4 "SHINKAI 2000" observation map. Location of this map is shown by thick dotted rectangle in the Fig. 2.

性の深海生物群集の存在の確認ができた。以下これらの調査について記す。また図4に観察した底質図を示した。

#366 潜航（観察者：田中）

事前調査で温度異常と生物群集の存在が確認されていたA、B、Cの各点（図2）について調査する目的で、まずA地点を目標に潜航したが着底点が東方に少しずれた。着底点付近の海底は平坦

で底質は砂であり、「バクテリアマット」がその上をかなり広く覆っていた。海水中には浮遊物が少なく、視程は10m以上と極めて良い。伊是名海穴のチムニー地帯においては、浮遊物が多く海水も濁っていたことに比べると対照的であった。

柱状採泥器を海底に突き刺したが柔らかな表層堆積物は表面5cm以内であり、その下は非常に固く、採泥器はそれ以上中に入らなかった。砂地には生きたシロウリガイ類が、そして岩石上にはシ

ンカイヒバリガイ類が付着して群集を作っているのが見られた（#366-ST1）。A地点に行くため西方に進むと、所々に表面が滑らかでやや丸みをおびた岩石が点在していたが、それらが火山岩であるか熱水性の沈積物質であるかの区別は付けにくい。しばらく進むうちに岩石の表面が次第に白っぽくなり、生物が増え始めた。白い色は細くて細かい糸状のものが、コケのように岩石の表面に付着していることによる。コシオリエビ類、エビ類、細いチューブワーム類、シンカイヒバリガイ類の群れが、岩の割れ目に群がっている場所がいくつか見え始めた（写真1）。そのうちの一つから熱水が吹き出ているのが確認された（水温計測で32℃）（#366-ST2）。さらに北西に進むと平坦な海底になったが、その表面は細かな割れ目がたくさん入り、割れ目にそって白い物質が付着していた。これらは海底一面に見られ、少なくとも50m四方以上の広がりを持っている。また一部には海底がその白い物質によって覆われてしまっている所もある。いくつかの地点ではそれらの割れ目から熱水が勢いよく噴出しており、そこには生物が小さなコロニーを作っている。しかし、ここではチムニーのような熱水沈積物による構造は作らず、割れ目から直接熱水（約70°）を噴出していた。

海底全体はなだらかにうねっていて、窪んでいるところは泥がたまっており、またなだらかに盛り上がったところは平板状に固結した面を作っている。段差のところでは、それらは厚さ数cmの平板が何層も重なっているようにも見え、一部では海底面との間に大きな空隙を作っている。またそのような岩石は所々円形に陥没していたり、表層とその下部の間に空洞がある（写真2）。これらの平板状岩石はこの周辺一帯に広く分布している。

そのような海底表面をしばらく進むと、高さ1.5m程のややゴツゴツした高まりがあり、その根元に直径1m位の穴があって、そこから勢いよく熱水が噴出しているのが確認された（#366-ST3）（写真3）。噴出する熱水の温度は200度であり、熱水の噴き出し口の所には白色の塊（13×10×8cm）があった（後述）。このような熱水マウンドはその周囲にさらにいくつか分布しているようであった。しかし伊是名海穴でみられたような円筒

状のチムニーは見られなかった（中村等 1989）。

#367（観察者：田中）

この潜航では次のようなことを目的に調査した。前回の潜航の不足を補う目的で、熱水噴出地点の平板状岩石や熱水の噴出していないところの岩石採取を行い、海底全体のどれだけが熱水物質か確認する。さらに熱水噴出口近くの採水を行う。そのうち東方のC地点方面に向かって航走し、海底情報を増加する。

まず#366潜航の離底点付近に着底しようとしたが、潮流が強く潜航降下中に北方にかなり流されてしまった。着底点の周囲には玄武岩の溶岩及び角礫が分布していた（#367-ST1）。そこから前回潜航（#366）で発見した熱水噴出域に向かったが、北向きの底流層が強く（0.1から0.3knt）船速がでなかった。中間地点あたりに比高50m程の東西に伸びた小海丘があった。その北側の麓は枕状溶岩であったが、丘を上がるに従い生物が多くなり、頂上部の広い範囲に生物群集が存在していた。しかし、前回観察したような熱水の激しい噴き出しは見られず、丘全体からしみ出しているようであった。その小海丘を越えると水深1400m程のはほぼ平坦面になり、ややまるみをおびた岩石及び角礫が散在している泥の海底になる。しばらくすると表層の岩石が平板状に割れたなだらかな高まりが現れた。しかしそこでは前潜航のような熱水噴出現象は見られず、海底も白変はしておらず、ただシロウリガイの死殻が散乱していただけであった。この地点（#367-ST2）で平板状の岩石（厚さ3cm）を採取したが、それらは火山砂や小角礫を非晶質物質がセメントしているものであった。

その周囲をしばらく航走すると、海底が次第に白変し、白い線状模様と割れ目構造が見られるようになった（#367-ST3）。その割れ目の一角から熱水が極めて激しく噴出していた。その熱水の温度は220℃であった。この地点で採水を行った。熱水が勢いよく噴出している地点から10数m離れた場所では、海水が海底面上でゆっくり渦を作って回っているのが観察された。そこでは海底面は一面に白色の物質で覆われていた。これらの現象は狭い範囲で海水の循環が起こっていること

を示唆していると考えられる。

その後、東方面に向かい途中シロウリガイ類の生きた大きなコロニーとそれに群がる無数のイバラガニ類を観察した。いくつか熱水の湧出地点と生物群集を確認し、C地点への途中の枕状溶岩露出域（#367-ST4）で時間となり、採水後離底した。

#368（観察者：満澤）

本潜航は曳航調査により温度異常が確認された小海嶺の北西側斜面から、B地点周辺の小海丘をとおり前回の熱水域に向かった。着底地点付近においては熱水湧出は確認できず、一部で白い変色域と黄色斑点を確認した程度である。海底は斜面にそって20～30mの起伏が多く、かなり複雑である。大部分は角礫と荒い砂の底質であるが、尾根上部には枕状溶岩の露岩が広く分布している所もある。

B地点とA地点のほぼ中間付近（水深1380m）において、白色の変色帯やシロウリガイのコロニー群を視認した。シロウリガイ類は砂の海底にもぐり込み水管をだしていた。熱水噴出地点では、

#366、#367で確認された湧出部とは異なる地点に着底した（#368-ST1）。この地点で染料を流しての流れの観測を実施した。熱水は割れ目より湧出しており、周囲には平板状の岩が広く見られた。熱水に群がる多数のエビ類が観察された。

これらの調査地域では、少なくとも1マイル四方以上にわたって熱水現象の徴候が見られるが、全体的に一面に分布しているのではなく、およそ20～30m四方の噴出域が丘の頂上部や急崖の麓などに点在しているようである。200℃の熱水を噴出していたところの広がりも50m四方以上はないようである。

4. 採取試料

これら3回の潜航調査で、表1に示した試料を採取した。試料の写真の一部は写真4に示される。海底は表面に薄く堆積物が覆っていても、その下はすぐに固結した層になっており、柱状採泥器等は歯が立たない。コアキャッチャー内にわずかに淘汰の悪い火山砂が採取されるにすぎなかった。

表1 各潜航で採取した試料

Table 1 Sample list of #366, #367, #368.

#	ST	Sample No.	SAMPLE	SIZE cm	REMARKS
366	1	366-1-1	CORE		Only Core Catcher
		366-1-2	Large shell fragments		Calypptogena sp
	2	366-2-1	Hydrothermal Carbonate	27×15×14 cm	
	3	366-3-1	Hydrothermal Carbonate	13×10×8 cm	white hard
		366-3-2	Hydrothermal Carbonate	25×15×15	Mn-calcite
		366-3-3	Hydrothermal Carbonate	30×35×6	
367	1	367-1-1	Basalt	9×7×3	
		367-1-2	Basalt	9×7×4	
		367-1-3	Basalt	9×8×6	
	2	367-2-1	Cemented Volcanic Sand	21×23×3	
	3	367-3-1	Water		Hydrothermal Points
		367-3-2	Water		
368	1	367-4-1	Water		Normal Point
		368-1-1	Core		Only Core Catcher
		368-1-2	Cemented Volcanic Sand		

#367のST1周辺には枕状溶岩が分布しており、そこで採取した玄武岩の角礫は表面のガラス質がはげ落ちていた。マンガンの皮膜も厚いが変質は受けていない。火山岩を採取する目的で、火山角礫によく似た366-2-1や366-3-2等を採取したが、船上へ揚げたところ、すべて熱水沈澱物であった。海底ではそれらの肉眼的な区別はほとんどつかない。熱水域では海底表層上にある多くの岩石状物質は熱水沈澱物であるようだ。

熱水マウンドを形成している主体となる物質は、外側がMnの薄いクラスト（バーネサイト）で覆われている。その内側は空隙が多く、大部分は微晶質のMn-Ca炭酸塩及び少量の白く固い結晶質の部分からなり、少量のZnS(Mn calcite wurtite)及びFeS(pyrite)も含まれている。光学顕微鏡によると炭酸塩は、中央部に空隙のある直径0.5mmほどの筒状あるいは粒状の集合からなっている(写真5-A)。

熱水マウンドの頂部の熱水噴出口には、白く輝いた物質があった(写真4-B)。それは熱水噴出口で熱水を直接表面に受けて立っており、表面は溶けたような形状をしている。その内部には海底面に平行な薄い不連続層が見られる。大部分は結晶質のMn-calciteからなり、不連続層はMn-Ca炭酸塩を主とする細粒層からなっていることが判明した。その不連続層内には空隙が所々にあり、黄鉄鉱も少量ある。

表2にこの炭酸塩チムニーの化学組成を示した。2つの試料とも熱水マウンドの周囲から採取したものである。X線回折によっても明らかのように、炭酸塩を主体としているが、Mn calcite, kutnahorite, 菱マンガン鉱からなる。またこれら沈澱物はPb及びZnにやや富んでいるが、伊是名海穴のチムニーと比較すると1桁から2桁ほどその含有量は少ない。

周囲の平板状に固結した岩石は、淘汰の悪い火山岩片や火山ガラスが非晶質の細粒物質によってセメントされたものであり、マンガン酸化物や炭酸塩はセメント物質にはなっていない。なかには有孔虫の化石も含まれている(写真5-B)。

第367回潜航時に10連式の採水器を用いて、熱水噴出域での海水採取を行った。採取した試

表2 熱水沈澱物の化学組成。分析は(株)化学分析コンサルタントによる。

Table 2 Chemical compositions of hydrothermal carbonate crust.

	# 366 St 2	# 366 St 3 D
SiO ₂	8.84	5.99
TiO ₂	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.47	0.25
Fe ₂ O ₃	2.42	1.36
FeO	0.00	0.00
CaO	22.44	36.11
MgO	0.42	0.48
MnO	26.47	15.18
Na ₂ O	0.67	0.36
K ₂ O	0.16	0.14
H ₂ O (+)	4.16	3.39
H ₂ O (-)	1.54	1.65
P ₂ O ₅	0.05	0.05
S	1.16	0.58
CO ₂	30.2	34.2
TOTAL	99.00	99.74

(単位: %)

試料	Na	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Co
#366 St 2	3.1	2,980	495	3,780	8	<5	
#366 St 3 D	2.1	1,850	188	2,250	12	<5	

(単位: ppm)

料は東大海洋研の蒲生氏及び石橋氏に送られ、メタン含有量の測定が行われた。それによると、#367-ST3地点の熱水域からメタンの高濃度が検出されたが、#367-ST4地点では通常海水程度であったとのことである(蒲生、石橋私信)。

5. 流れ及び水温変動について

この海域では、湧出した熱水と周囲海水との物理的挙動を明らかにするために、流れ及び水温について観測した。観測は事前調査及び主として第368回(満潮)の潜航調査において実施された。実施の方法は満潮(準備中)による。

5.1 流れの観測

伊平屋小海嶺東端周辺の長期的な流れの特性を把握するために、事前調査時にアンダーラ流速計(RCM-4)を、トランスポンダと共に、水

深1394m, 係留高度104 mに係留した(係留地点は図2)。図5に20日間の測流結果を示す。これによると流速は、0~20cm/secの範囲で変化しており、流向もかなり頻繁に変化している。また、日周期の変動については、南北成分の方が東西成分より振幅が大きく、南北の流れが卓越している。

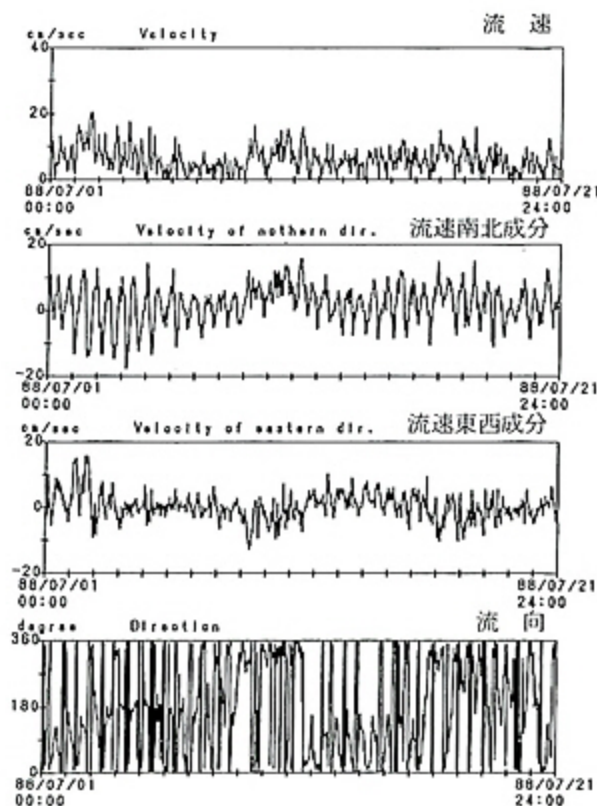
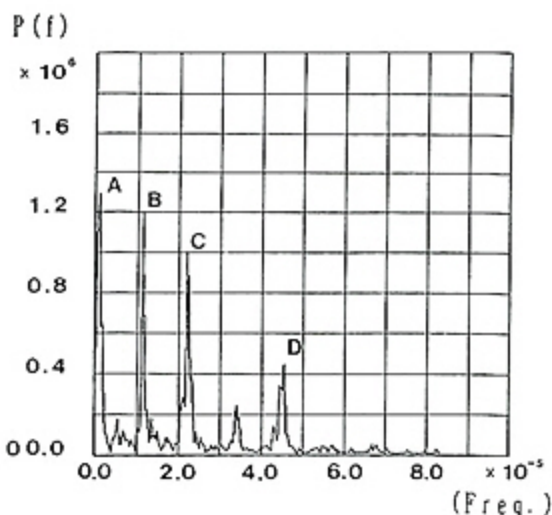


図5 トランスポンダと共に係留された流向流速計により得られた流速変動データ(1988年7月1日~21日)。

Fig.5 Current velocities and current directions measured in the Iheya small Ridge (1 July ~ 21 July in 1988).

この流速変動の周波数特性を調べるために、FFT法によるスペクトル解析を行った。その結果を図6に示す。同図の下表にまとめたように、潮汐起源である半日、1日周期の変動(B, C)と、それより短い周期の変動(D)、あるいは約11日周期の変動(A)が卓越している。この11日周期の変動については、表層から中層を流れる黒潮の下部境界において生じる中規模剪断渦に起因する可能性もあり、今後は中層との関係について



周期	
A	10.5 日
B	24.8 時間
C	12.6 時間
D	6.1 時間

図6 FFT法による流速変動のパワースペクトル。
Fig.6 Power spectrum of current data by FFT analysis.

も調べる必要がある。

第368回潜航では、熱水湧出域周辺における海底直上の流れを観測することも一つの目的として実施された。現在、深海域の海底付近において、微流速を容易にかつ高精度で測定できる流速計はない。そこで、染料(ウランin)を流して船外カラーTVカメラにより録画し、後に解析するという方法を試みた。図7は染料の動きをTV画面よ

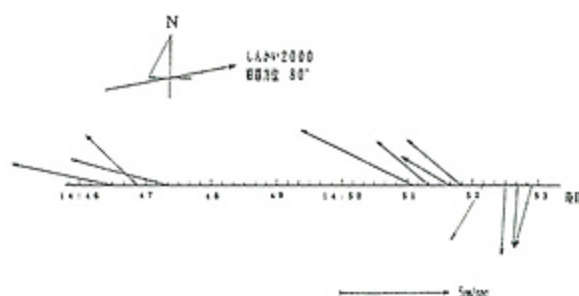


図7 染料の動きから測定された底層流の流れの変化。
Fig.7 Records of bottom current fluctuations observed by the dye method.

り読み取り、ベクトル表示にしたものである。今回は染料の動きを真上から観察したため、水平方向の2次元的な流れを観察したことになる。観測は、着底した潜水船船体を流れを乱さない方向に向け、ゆらぎの見られた海底の直上約10cmの位置で染料を流した。はじめ、290~310°方向に4~5 cm/secあった流れが、14時52分を境に180°方向に変化した。海底直上における流れの存在が確認されたが、さらに流向も一定ではなく、急に変化することが確かめられた。しかしながら、流向が急に変化するにもかかわらず、染料の拡がりには少なく乱れも小さく、層流に近い流れであると考えられる。

5.2 水温変化の観測

第368回潜航においては、湧出した熱水が周囲水温分布にどのような影響を与えるかを調べるために、湧出口から鉛直方向に段階的に水温の測定を行った。この時の観測結果と湧出口の概略を図8に示す。観測した熱水湧出は、第367潜航で測定された200℃以上のものと比べて、小規模ではあったが岩の割れ目から直接湧出していた。湧出口の直上においては最高170℃を記録した。しかしながら、湧出口より10cm以上離れると、周囲の海水温とはほぼ一致してしまうほど急激に冷却する。

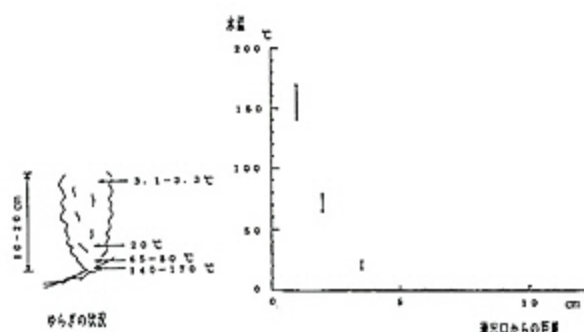


図8 熱水噴出口周辺の温度分布構造

Fig.8 Vertical distribution of water temperature above the hydrothermal vent.

当然のことながら、この水温異常の観測される範囲は、湧出する熱水の温度、量により異なる。今回のこの地点での観測は、比較的海底に近い所で、すでに熱水の持つ水温に依存した浮力効果が失われてしまうことを示している。

以上述べたように、湧出した熱水はまず最初に海底直上の流れの影響を受ける。この流れの持つ乱れの大きさは後の拡散の様式に強く影響することが考えられる。このことを図9に模式的に表す。図にあらわしたように、熱水の拡散は大きく、次の3つのタイプに分類される。一つは海底直上の流れの乱れが大きく水平、鉛直方向に混合が進み、

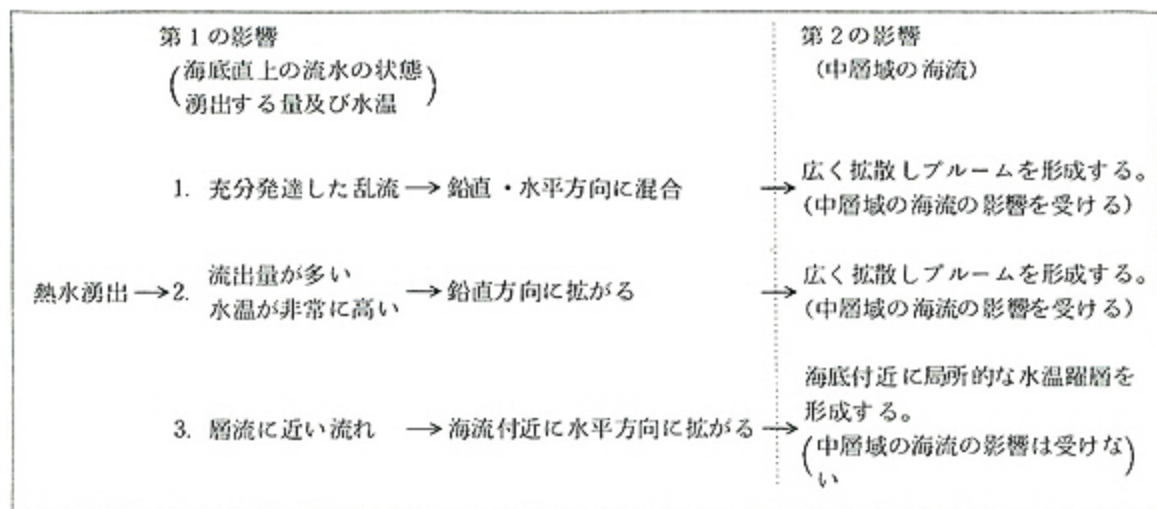


図9 湧出した熱水の拡散パターン

Fig.9 Diffusion of hydrothermal water considered current effect.

中層域において海流などの影響を受け広く拡散し、ブルームを形成する。また、水温が非常に高く湧

出量が多い場合も、湧出した熱水が密度的に安定するまで上昇し、ブルームを形成し、その後中層

域における流れに支配され拡散する(深澤, 蒲生 1988)。これら二つのタイプに対して、海底に比較的近い所で密度的に安定し、熱水の持つ浮力が失われ、海底直上の流れの乱れが少ない場合には、浮力が失われた場所(高さ)で水平方向に拡がり局所的な水温躍層を海底直上に形成する。この場合、中層域の流れの影響を受けることはない。

これまでの観測により、伊平屋小海嶺東部で今回観測された水温躍層は、熱水湧出に起因する第三のタイプに属すると推察される。

今後、湧出した熱水の周囲海水に及ぼす影響や拡がり方を定量的に示すために、より詳細に流れの特性や水温分布を調べ、そのメカニズムを明らかにすることは、重要な課題の一つであると考えられる。

6. ま と め

本報告では、沖縄トラフ伊平屋小海嶺東部域において活発な海底熱水現象が発見された経緯について、事前調査から潜航調査までの概要を記した。以下の如くまとめることができる。

- ① 伊平屋海域を深海曳航システムを用いて広域的に調査したことにより、岩石の分布、熱水現象に伴う諸現象の分布等が判明した。

海域中西部に分布する小海嶺、円錐型小海丘は枕状溶岩及びそれらの角礫から主に構成される。

東部の不規則な海丘は、ブロック状溶岩もしくは材木状怪石から主に構成される。

- ② 熱水現象は、伊平屋小海嶺東部、「なつしま海丘」上ほか数箇所で確認された。しかし、それらはいずれも伊平屋小海嶺と「なつしま海丘」を結ぶ東西方向の構造上に位置している。すなわちその線上が海底火山活動の活動軸となっているようである。

- ③ 「なつしま海丘」上の熱水マウンド付近には、熱水現象に伴う生物群集は発見されていなかったが、伊平屋小海嶺東部においてシロウリガイ類、シンカイヒバリガイ類、チューブワーム類等からなる生物のコロニーの分布が確認された。沖縄トラフのような地質学的に比較的新しく、周囲を海溝及び島弧のような地形的なバリアーで囲まれている海域でも、それらを乗り越えてよく似た生物がおり、太

平洋の各所の深海の熱水地域と関係があることを示している。

- ④ 伊平屋小海嶺の東部で、220℃の日本周辺で発見されたものとしてはこれまでで最高温の熱水噴出現象を確認した。

熱水は平板状に固結した表層堆積物の割れ目から、チムニー等を作らずに透明な熱水を直接噴出している。また高さ1mほどのなだらかなマウンドを形成してそこから噴出している。

- ⑤ 熱水沈殿物は Rhodochrosite 及び Mn calcite を主体とした炭酸塩であり、Wur-tite, pyrite 等の硫化物を少量含む。Pb 及び Zn にやや富むが、伊是名海穴のチムニーと比較すると1桁から2桁の含有量の違いがある。

- ⑥ 事前調査等によると、熱水噴出現象は伊平屋小海嶺東部の1マイル四方以上で確認されるが、活発な熱水噴出の地域は小海嶺の北側の斜面上に形成された小海丘の麓付近に限られている。そして1か所の噴出域の広さは数m四方から数10m四方以内である。

- ⑦ 熱水噴出域で染料を流したり、精密温度計によって海底直上付近の流れや温度分布を調べた。その結果、この地点では噴出した熱水は海底付近で熱的に安定しており、局所的な水温躍層を形成しているようである。

これまでの深海調査により、沖縄トラフ内において数地域(「なつしま海丘」、伊平屋小海嶺東部、伊是名海穴、奄西海丘等)で熱水噴出現象が確認された。同じトラフ内であるが、熱水の噴出温度、噴出様式及び熱水沈殿物の組成や構造物の形態等が、いかにも多様であることがわかった。これは熱水噴出に關係する海底火山活動の違いあるいは換言すれば、背弧の形成に伴う地殻変動の色々なステージを表すものを反映しているともいえる。これら一連の発見は、主として大陸性地殻を持つといわれた海域の海底火山活動の機構や、それに伴う鉱物の濃集の過程等を地球科学的に解明するために重要である。また、これに伴う熱水性生物群集は、動物地理学、生理生態学、系統分類学の上でも重要なデータと考えられる。今後も

上述の課題等を解明するために、「しんかい2000」による重点海域の一つとしての研究を進めていきたい。

謝 辞

琉球大学の木村政昭博士、京都大の安藤雅孝博士及び海洋科学技術センターの岡野真治博士と辻義人主幹、許正憲研究員は潜航行動に同船し様々の議論をして戴いた。琉球大の大森保博士には試料のX線分析で御世話になるとともに多くの御教示を戴いた。東京大学海洋研究所の酒井均博士、蒲生俊敬博士、石橋純一郎氏には熱水現象や沖縄海域の様々な情報について教えて戴くと共に、採水試料についてとくに御世話になった。熱水試料の化学分析は、(株)分析化学コンサルタントとの共同研究で行われた。

この潜航調査には海洋科学技術センターの他、琉球大学、京都大学、東京大学海洋研究所、東京大学地震研究所、広島大学、地質調査所、海上保安庁水路部の研究者が参加し、計画の立案から現場及び陸上において様々な議論をして戴いた。

琉球大学の木村政昭博士と加藤祐三博士は曳航調査時に、「かいよう」に研究協力者として乗船され、多くの御教示を得た。

なお「かいよう」による事前調査と時を同じくして、日独共同調査として西独の調査船「ゾネ」による海底観察及び底質試料のサンプリング調査等が実施されていた。この時「ゾネ」に乗船していた地質調査所の中村光一博士や、東京大学海洋研究所の酒井均博士からは、船上で有益な情報の交換をすることができた。以上の方々に謝意を表します。

参 考 文 献

- 深沢理郎、蒲生俊敬、1988、熱水プールの挙動、地球化学22、114-122。
 Ishibashi, J., Gamo, T., Sakai, H., Nojiri, Y., Igarashi, G., Shitashima, K., and Tsubota, H. 1988, Geochemical evidence for hydrothermal activity in the Okinawa Trough. *Geophys. Res. Lett.*
 Japanese DELP Research Group on Backarc Basin 1986. Report of DELP

1984 Cruise in the middle Okinawa Trough. *Bull. Earthquake Res. Inst., Univ. Tokyo*, 61, 159-310.

桂忠彦、大島章一、萩野卓司、池田清、永野真男、内田摩利夫、林田正和、小山薫、春日茂、1986、沖縄トラフ南西部海域の地質・地球物理学的諸性質。水路部研報、22、21-47。

Kimura, M., Kaneoka, I., Kato, Y., Yamamoto, S., Kushiro, I., Tokuyama, H., Kinoshita, H., Isezaki, N., Masaki, H., Oshida, A., Uyeda, S. and Hilde, T. W. C. 1986, Report on DELP 1984 Cruises in the middle Okinawa Trough Part V: Topography and geology of the central grabens and their vicinity. *Bull. Earthquake Res. Inst., Univ. Tokyo*, 61, 269-310.

木村政昭、加藤祐三、田中武男、仲二郎、蒲生俊敬、山野誠、安藤雅孝、上田誠也、酒井均、大森保、井沢英二、兼永勝、小野朋典、押田淳、1987、沖縄トラフ中央地溝の研究。海洋科学技術センター試験研究報告、第3回「しんかい2000」研究シンポジウム、165-196。

Kimura, M., Uyeda, S., Kato, Y., Tanaka, T., Yamano, M., Gamo, T., Sakai, H., Kato, S., Izawa, E. and Oomori, T. 1988, Active hydrothermal mounds in the Okinawa Trough backarc basin, Japan. *Tectonophysics*, 145, 319-324.

門馬大和、橋本惇、田中武男、深海調査グループ 1989、沖縄トラフ深海曳航調査。海洋科学技術センター試験研究報告21、203-221。

大島章一、高梨政雄、加藤茂、内田摩利夫、岡崎勇、春日茂、川尻智敏、金子康江、小川正泰、河合晃司、瀬田英憲、加藤幸弘、1988、沖縄トラフ及び南西諸島海域の地質・地球物理学的調査結果、水路部研究報告、24、19-43。

Sibuet, J. C., Letouzey, J., Barbier, F., Fouchet, J. P., Hilde, T. W. C., Kimura, M., Ling-Yun, C., Marsset, B., Muller, C. and Stephen, J. F. 1987, Back arc extension in the Okinawa Trough. *J. Geophys. Res.* 92, 14, 041-14, 063.

上田誠也，木村政昭，田中武男，兼岡一朗，加藤
祐三，久城育夫，1985，沖縄トラフ拡大軸の
研究．海洋科学技術センター試験研究報告，
「しんかい 2000」研究シンポジウム特集，
123 - 142．

（原稿受理 1989年 6 月 2 日）

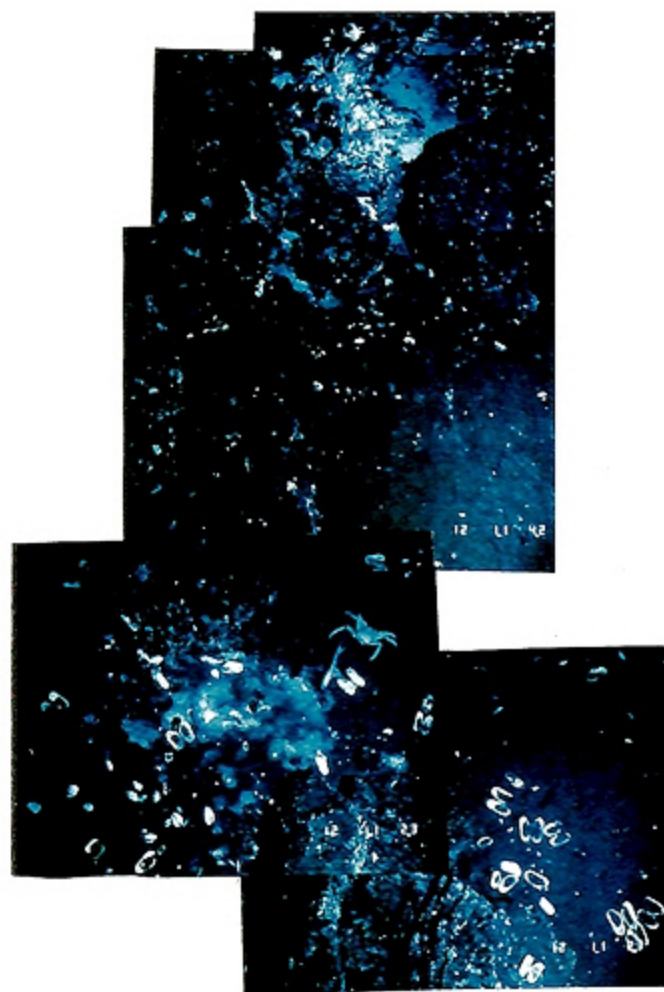


写真1 # 366-ST2 付近の海底写真。

photo. 1 photos of the biological community around the point of #366-ST2.

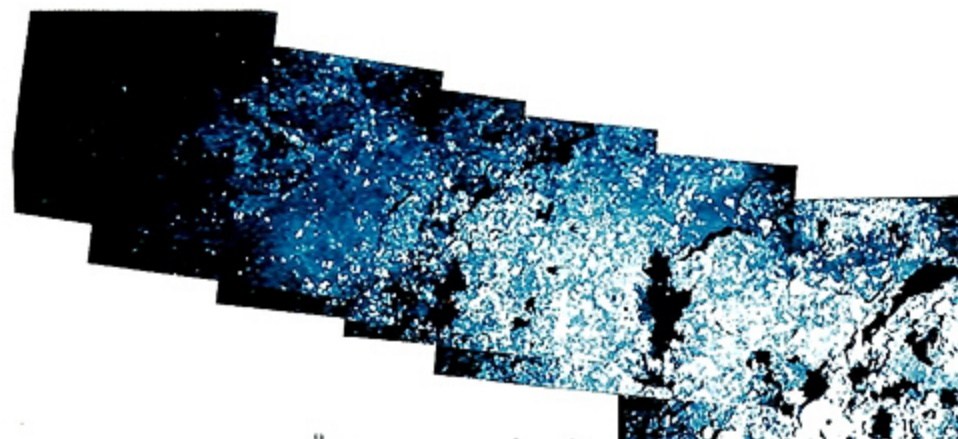


写真2 平板状の熱水性沈着物 (#366-ST3 の近傍)。

photos of the hydrothermal crust near the site of #366-ST.



写真3 # 366-ST3 で発見された熱水マウンドとその周辺の海底写真。

photo. 3 photos of the hydrothermal mound, vent and deep sea biological communities.

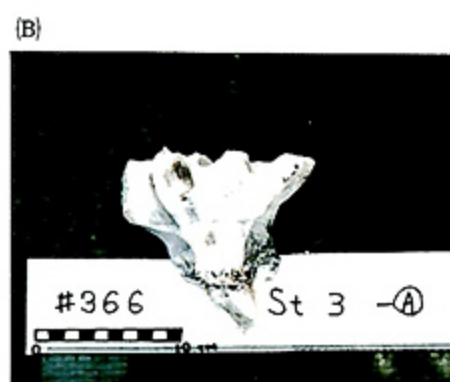
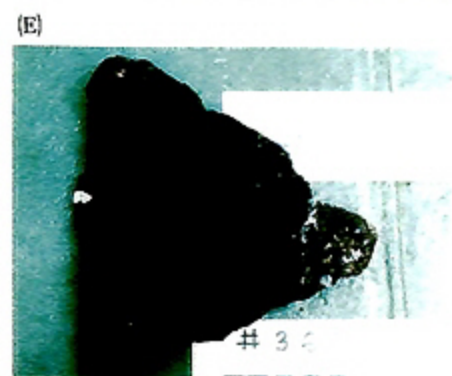
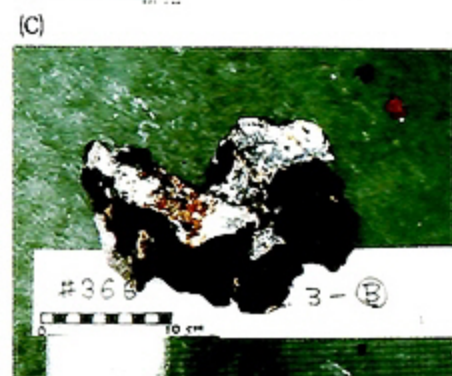
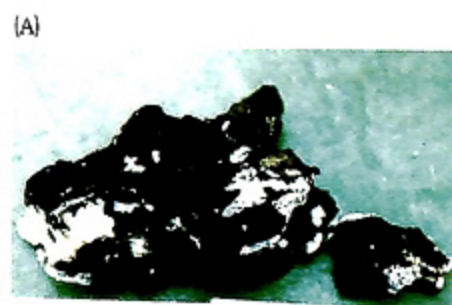


写真4 採取岩石の一部

(A).....# 366-2-1

(B).....# 366-3-1

(C).....# 366-3-2

(D).....# 366-3-3

(E).....# 367-2-1

photo. 4 photos of rock samples.

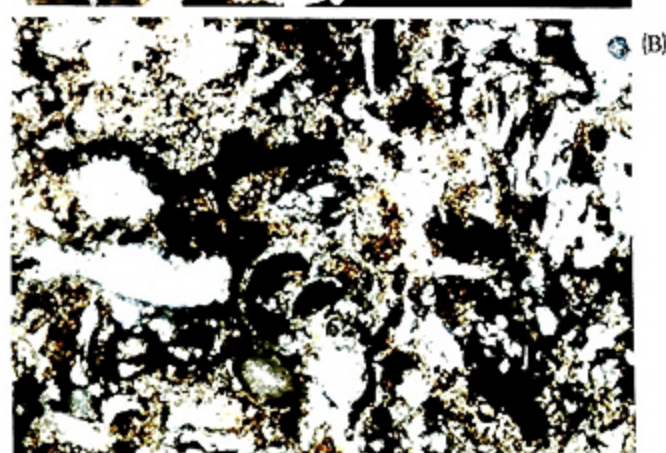
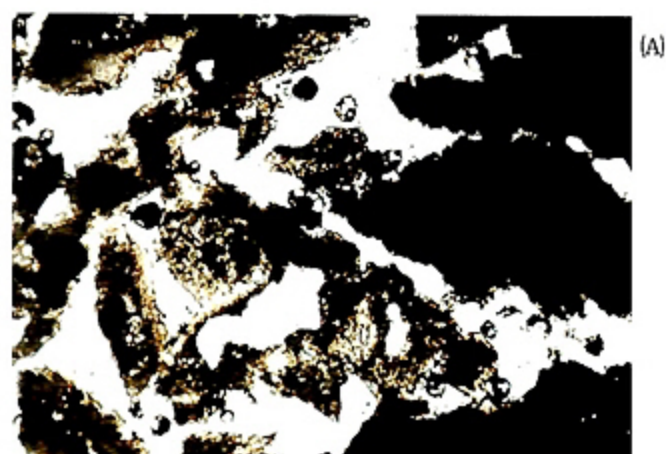


写真5 試料の薄へん写真

photo. 5 photos of the thin sections of hydrothermal carbonate(A:#366-2-1) and cemented volcanic sand(B:#368-1-2).