

沖繩トラフ、クラムサイト周辺の熱水変質と 溶存気体成分組成：「しんかい2000」 第678潜航報告

中島 和夫*¹ 酒井 均*¹ 金山 晋司*¹
石橋純一郎*² 角皆 潤*²

「しんかい2000」の第678潜航では、伊平屋海嶺のクラムサイトと通称ハオリムシの丘の熱水域について、熱水域の広がりや熱水活動の変遷を調べるために、熱水の採取と岩石、沈殿物の採取を行った。クラムサイトのベビーチューブでは、熱水の温度は95℃であり、1989年以来クラムサイト全体の熱水活動が衰えていると考えられる。また、クラムサイトの周辺やハオリムシの丘では、50℃前後の熱水域が広く分布していることが判明した。

沈殿物や玄武岩表面の変質物について回折 X 線で調べた結果、14種類もの鉱物が確認され、そのうち長石、カオリナイト、モンモリロナイトの組合せは、これらの鉱物がおよそ50℃以下の低温の熱水により生じたことを示している。

ハオリムシの丘で採取した熱水中の溶存気体の化学組成及び炭素同位体組成を分析した結果、二酸化炭素量はクラムサイトとほぼ同様に富んでいたが、メタン量が少なく、その炭素同位体比が高かった ($\delta^{13}\text{C} = -14.1\text{‰}$ (PDB))。このことから、この熱水はクラムサイトに比べて、マンツルの寄与が大きいか、または海底下での海水の還元作用が進んでいると考えられる。

キーワード：沖繩トラフ、伊平屋海嶺、クラムサイト、熱水変質、溶存気体組成

Hydrothermal Alteration and Dissolved Gas Composition from Active Vent Sites in and around the CLAM Site, Okinawa Trough : Report of Research Dive 678 of “Shinkai 2000”

Kazuo NAKASHIMA*³ Hitoshi SAKAI*³ Shinji KANAYAMA*³
Jun-ichiro ISHIBASHI*⁴ Urumu TSUNOGAI*⁴

Dive 678 has been done using the submersible “Shinkai 2000” on the CLAM site and the ‘HAORIMUSHI (vestimentiferan tube worm)’ site, Iheya Ridge. Measured temperature

-
- * 1 山形大学理学部
 - * 2 東京大学理学部
 - * 3 Faculty of Science, Yamagata University
 - * 4 Faculty of Science, University of Tokyo

of vent fluids on the BABY chimneys in the CLAM site is 95°C and the hydrothermal activity seems to be weakening since 1989. Temperatures at a vent site about 30m east of the PYRAMID chimney and the HAORIMUSHI site are around 50°C.

Hydrothermally precipitated or altered minerals are examined by X-ray diffractometry and fourteen minerals are recognized. Mineral assemblage of feldspar, kaolinite and montmorillonite indicates that these minerals are deposited under about 50°C or low.

Dissolved gas in the HAORIMUSHI site vent fluids is characterized by low CH₄ content and its heavier isotopic composition ($\delta^{13}\text{C} = -14.1\%$ (PDB)) than the CLAM vent. This is because the contribution of mantle is higher than the CLAM or sulfate ion in the seawater has been reduced by methane under seafloor.

Key words: Okinawa Trough, Iheya Ridge, CLAM site, Hydrothermal alteration, Dissolved gas composition

1. はじめに

沖縄トラフでは1986年に「なつしま84-1海丘」で熱水性マウンドが発見されて以来(木村ほか, 1987), 毎年調査が続けられており, 著実に成果が蓄積されている。伊平屋海嶺の通称クラムサイトの熱水活動については, 1989年に220°Cに達する透明な熱水の湧出が確認されている(田中ほか, 1989)。熱水及び溶存気体の化学組成については, 蒲生ほか(1990)と石橋ほか(1990)により詳しく分析され, 伊是名海穴のJADEサイトに比べ, pH, アルカリニティ, NH₃及びLiの値が顕著に高く, 気体成分からは地殻物質の影響を強く受けたものであることが分かった。

また, クラムサイトの熱水性沈殿物についてはその主体がマンガンに富む炭酸塩であることが判明し(木村ほか, 1989; 田中ほか, 1989), その後の調査により, 方解石, 菱マンガン鉱, 硬石膏, 石膏, 磁硫鉄鉱, アイソキューバナイトなどからなることが分かった(蒲生ほか, 1991; 井沢ほか, 1991; 中島ほか, 1993)。

第678潜航では, 伊平屋海嶺クラムサイトにおいて次のことを目的として行った。

- ① まだ確定されていない熱水エンドメンバーを知るために, 海水の影響の少ないなるべく高温の熱水を採取する。
- ② 熱水活動の経年変化を知るために, 従来と同じ湧出孔から熱水を採取する。
- ③ クラムサイト周辺の熱水域を調査し, その広がりの特徴を知る。
- ④ 上記の目的を達成するために, 熱水だけでなく岩石, 沈殿物, 生物も同時に採取する。

クラムサイト北東に位置する通称ハオリムシの丘の東

側では第488潜航(オブザーバー: 酒井均)の最後に大きなチムニー様のものとともに熱水域を視認している。本潜航ではここの調査も主目的の1つとして行なった。

2. 第678潜航調査概要

クラムサイトにおいて, 同年の南西諸島調査航海の第2レグで, 通称ピラミッドチムニーで熱水の採取が行なわれていたため, ピラミッドチムニー以外の熱水を採取することを目的に行なった。まず, ピラミッドチムニーの東約30mの熱水湧出孔において温度計測の結果, 最高温度50°Cであったため, 採水は行なわず, ベビーチムニーに移動して, 温度計測と採水を行なった(4本)。その結果, 温度は95°Cであり, 前年の621潜航で得た110°Cよりも少し下回った。また, ここでの熱水は採水方法の不備により回収できなかった。その後クラムサイト北側の通称ハオリムシの丘に移動し(図1), 第488潜航で視認した熱水域において, 温度計測と採水を行なった。この地点で測定した最高温度は60°Cであったが, 採水中の最高温度は50°Cであった。

これらの結果, クラムサイトの熱水活動は低下しているが, その周辺には50°C前後の熱水域が広く分布していることが判明した。これらの50°C前後の熱水噴出孔では白色沈殿物とゴカイのコロニーで特徴付けられている。

2. 1 潜航記録

1993年5月25日

潜水船船長 : 桜井利明

船長補佐 : 廣瀬重之

オブザーバー : 中島和夫

9:25 ハッチ閉鎖

9:42 潜航開始

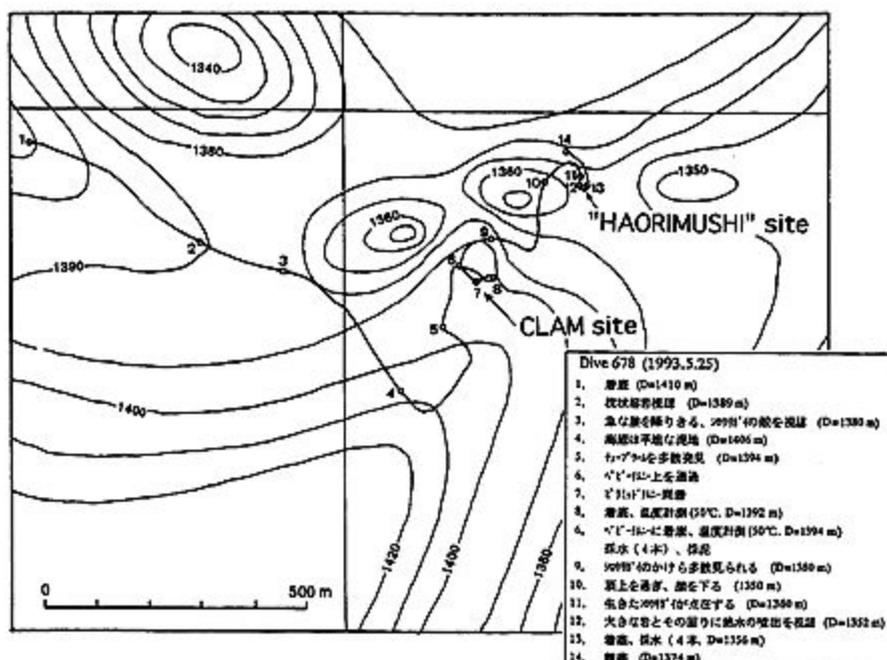


図1 第678潜航の航跡図
Fig. 1 Track line of No. 678 dive of the "Shinkai 2000".

10:55 (1,410m; 図1 point 1)

着底。ゆるやかな斜面。枕状溶岩が所々に露出し、それを泥質堆積物が埋める。カイメンが枕状溶岩上に点在。

11:13 (1,370m)

溶岩の崖を上る。

11:18 (1,360m)

崖を登り切り、尾根にでる。

11:22 (1,380m; 図1 point 3)

泥質の海底からごっこごとした岩が露出しており、シロウリガイの殻が点在する。

11:26 (1,383m)

岩場にさしかかり、しだいに崖を下る (~11:30, 1,400m)。

11:33 (1,406m; 図1 point 4)

泥質の海底上にゴカイの巣穴のような生痕がみられる。カイメンが点在。

11:42 (1,402m)

溶岩の岩塊が多くなる。

11:43 (1,394m)

平らな泥質の海底が続くが、数十cmの段差が走っており、その周辺が白く変色している。

11:47 (1,394m; 図1 point 5)

平たい板状の岩石または沈殿物が広がり、その上

を薄く堆積物が覆っているようだ。

チューブワームを多数発見。

11:53 (1,390m; 図1 point 6)

クラムサイト、ピラミッドチムニー上を通過し、東へ移動。

海底は泥質であるが、白い割れ目が走っているので、その下には炭酸塩の沈殿物が広くテーブル状に広がっているものと考えられる。

11:57~12:05 (1,391m; 図1 point 8)

ピラミッドの東約30m付近の熱水湧出孔脇に着底。バクテリアマットはあまり発達していない。割れ目から熱水が湧出。温度計を割れ目に突っ込むと中から白い沈殿物状のものが吹き出る。温度計測 (48°C)。

12:09 (1,392m)

先ほどの温度計測地点の周辺は、平らに広がったひさし状の固いクラストで覆われる。割れ目が続いており、厚さ5cm以上の断面が観察される (写真1, 2)。

12:13 (1,393m)

湧出孔周辺の岩石を採取(D678-A)。

12:30 (1,393m)

キコチムニー付近を通過。熱水の湧出はほとんど認められない。

- 12: 37~13: 27 (1,394m; 図1 point 6)
ベビーチムニー横に着底。ゴカイコロニーが広がる。温度計測及び採水作業(最高65°C)。柱状採泥器(赤)とM式採泥器(黄色)で沈殿物を採取(D678-T; M)。採泥器を差し込むと黒い泥状の沈殿物が舞い上がる。
- 13: 27 (1,394m)
浮上して“ハオリムシの丘”へ向かう。
- 13: 40 (1,340m)
尾根にでて浮力ブイ(第488潜航のもの?)を発見。
- 13: 45
溶岩の岩塊を泥質物が埋めた海底。生きたシロウリガイが多数。また、白く小さい変質域が点在している。
- 13: 50 (1,342m)
かなり急な岩塊の露出した坂を一気に上り、尾根にでる。
- 13: 52 (1,350m; 図1 point 10)
頂上を過ぎ、崖を下る。
- 14: 04 (1,360m; 図1 point 11)
シロウリガイ・コロニーを発見。砂礫質の海底が広がり、所々で白く変色。チューブワームも点在している。
- 14: 07 (1,352m; 図1 point 12)
高さ3m程度のごつごつとした岩(edifice)に多数のコシオリエビが群がる(写真3)。周囲に何か所か白色変質。この岩はバゴダ状に切り立っており、遠くから見ればチムニーのようであり、第488潜航(オブザーバー: 酒井 均)で最後に見たものと同じと考えられる。
- 14: 15 (1,357m)
その岩(edifice)の根本付近に熱水湧出孔を発見(写真4)。温度計測(60.5°C)10~30cm位の岩石が互層状に積みあがる。周囲の岩石は黒っぽいが、湧出孔付近は白色に変質。ただし沈殿物は多くない。湧出孔脇の岩石採取(D678-B, C, D, E)。
- 14: 41 (1,357m)
約15m離れた別の湧出孔へ向かう。
- 14: 47 (1,356m)
湧出孔に近づき(写真5)、岩石を採取する(D678-F, G)。その後艇が流される。
- 15: 06 (1,357m; 図1 point 13)
再び熱水湧出孔横に着底。角礫質海底が広がる。熱水の採水(4本; 写真6)。湧出孔の断面は、厚さ3cm以下の白い層が数枚以上積み重なっている。その下は空隙が広がっている。沈殿物を採取(D678-H)。
- 15: 30
湧出孔を離れ、離底する場所を探す。
- 15: 35 (1,366m)
砂泥の海底にシロウリガイコロニーが広がっており、ショットを捨てられない。
- 15: 38 (1,374m; 図1 point 14)
ほぼ平らな海底で、溶岩の岩塊が点在し、泥質物が埋めている。ショットを捨てて、浮上開始。
- 16: 52 海面に浮上
- 17: 21 ハッチ開放
2. 2 採取試料
- 678-A: 30×20×20cm。(写真7)暗灰色の発泡した材状玄武岩。一部白色~褐色に変色、白色部周辺に細いチューブワームが多数(約30本)付着。
- 678-B: 15×12×12cm。暗灰色、発泡した枕状玄武岩、一部黄色い変質物が付着、白色部周辺に細いチューブワームが多数(約20本)付着。
- 678-C: 25×20×15cm。暗灰色、発泡した枕状玄武岩、枕状の形がよく残っている。その内側が白く変質し、チューブワームが10本程度付着。表側は優黒色で1cm大の二枚貝が付着。
- 678-D: 20×20×12cm。(写真8)暗灰色、発泡した材状玄武岩、枕状の形がよく出ている。内側が白く変質している。内部の細い管に沿って黄色い沈殿物(恐らく硫黄)。
- 678-E: 12×8×8cm。優黒色、発泡した枕状玄武岩で、穴が多数あいている。全体的に角のとれた丸い形状をしており、外から飛来したものか?
- 678-F: 16×13×11cm。灰色、発泡した玄武岩溶岩、堆積物に埋まっていた下面是変色している。
- 678-G: 12×10×8cm。灰色、発泡した玄武岩。表面に茶色い変質物が付着。
- 678-H: 6×6×3cm。(写真9)礫を埋めた黄色い沈殿物。
- 678-T1: ベビーチムニーの熱水性沈殿物。優黒色の砂泥状沈殿物。白色物が点在している。硫黄の臭いが強い。恐らく黒色部は細粒の黄鉄鉱と硫黄であり、白色物は有機物または炭酸塩鉱物であろう。
- 678-T2: 黒色と白色の砂。黒色部は玄武岩の砕屑粒子

であり、白色部は炭酸塩の粒子であると思われる。

678-M: D678-T1と同じベビーチムニーの熱水性沈殿物。

3. 熱水域の地形的及び鉱物学的特徴

3.1 クラムサイト及び周辺

クラムサイトの通称ベビーチムニーで温度計測を行った結果、採水中の最高温度が95°Cであった。これは1992年の第621潜航における110°Cよりも少し低い。チムニーは1992年までは顕著な湧出孔を何か所も伴っていたが、本潜航の観察では、強い熱水の湧出孔はまれであり、全体がもやもやした白く弾力のあるマットに覆われていた。これは詳しく観察すると多数のゴカイのコロニーであることが判明した。すなわち、熱水活動の低下に伴い、50°C前後で一定の温度が保てるようなマットをゴカイが作り、その糞(みの)の中で生活しているようである。

クラムサイトのピラミッドチムニーを中心として広がっていた、炭酸塩のひさし状のクラストは、クラムサイトの周辺でも広く分布している。ピラミッドチムニーの東約30m地点の熱水湧出孔付近で観察したところ、厚さ10cm以下の白い板状の沈殿物が覆っており、割れ目に沿って数か所から温度50°C程度の熱水が湧出していた(写真2)。ビデオ観察の結果、これらの板状の海底はクラムサイトの周辺では100m近くにわたって、断続的に広がっており、熱水活動の大きさをうかがわせる。

ここで採取した岩石(D678-A, B)の表面の沈殿物と変質鉱物の鉱物組成は表1のとおりである。D678-Aの試料は玄武岩溶岩の気孔に詰まっていた粘土状の沈殿物で、カルセドニー、長石、カオリナイトと、少量のモンモリロナイト、雲母粘土鉱物、黄鉄鉱等が検出された。長石についてはその結晶学的な同定はできなかったが、熱水でできた曹長石であるとすれば、 $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-SiO}_2$ 系でカオリナイト—モンモリロナイト—曹長石が安定に生じるには、25°Cで、 $\log a(\text{Na}^+)/a(\text{H}^+)$ はおよそ3.0~6.0程度となる(Helgeson et al., 1969)。クラムサイトの熱水のNa濃度は約450mM/kg、pHは約5.4であり(蒲生ほか, 1990)、Debye-Hückel式から計算したそのおよその活動度比は $\log a(\text{Na}^+)/a(\text{H}^+) \approx 5.0$ となる。理想式からの単純な推定であるが、熱水から計算した活動度比は上記の鉱物組合せで得られた値の範囲におさまっている。したがって、ここにみられる変質鉱物の組合せは、およそ50°C以下の低温の熱水により生じたと考えられることができる。

3.2 ハオリムシサイト

通称ハオリムシの丘には図2のような熱水系が広がっていた。NE-SW系に伸びた尾根の頂部には玄武岩の溶岩が尾根と同じ方向に連なっている。その周囲には円礫を含む礫混じりの砂質の海底があり、南北へ数十m離れたしだいに泥質となる。熱水の湧出は3か所から確認でき、いずれも50°C前後の低温の熱水であった。第488潜航でその最後に視認したチムニー状の突起物は(図2中のA)、高さ3m程度のごつごつとした玄武岩溶岩の

表1 第678潜航で採取された試料の変質物の鉱物組成

Table 1 Mineral composition of hydrothermally altered part in samples collected by No. 678 dive.

SAMPLE	A	B	D	E	F	G	H	M	T
Chalcedony	+++								
Feldspar*	++		+++	+++		+	+++	++	+++
Kaolinite	++								
Mica-clay	+								
Halloysite	+								
Clinochlore*	+								
Imogolite*			++						
Montmorillonite	+				+				
Sepiolite				++					
Jarosite*						+			
Pyrite	+							++	++
Native Sulfur		+++	+++				+++	+++	+++
Gypsum	+		++	+	++	+++			
Brucite	+			+	+				

+++ : ABUNDANT ; ++ : COMMON ; + : RARE

* : More detailed investigations are required.

岩塊 (edifice) であり、節理ないし割れ目が発達して崩れかかった、一見積み石のようなものであった。これには多数のコシオリエビが群がっており、ハオリムシも多く見られた。その麓にある湧出孔 (図 2 中の B) ではこのサイトでの最高温度 60.5°C の熱水が観測された。湧出孔の周辺は岩石が白く変色しわずかながら沈殿物が薄く沈殿しているようである。一方、C の地点では礫質の海底から熱水が湧出していた。湧出孔の外見上の特徴として、湧出孔には柔らかいバクテリアマットからなるゴカイのコロニーがみられ、周囲の岩石はわずかに白く変色している程度であった (写真 5)。この湧出孔に採水装置の採水口を差し入れたところ、すっと落ち込み (写真 6) 中には大きめの空洞があった。湧出孔の割れ目から中をのぞくと、礫質の海底面の下には厚さ 3 cm 以下の薄く白っぽい層が数枚重なっているのが観察された。その白っぽい層は X 線回折の結果、ほとんど自然硫黄から成ることが判明した (表 1; H)。

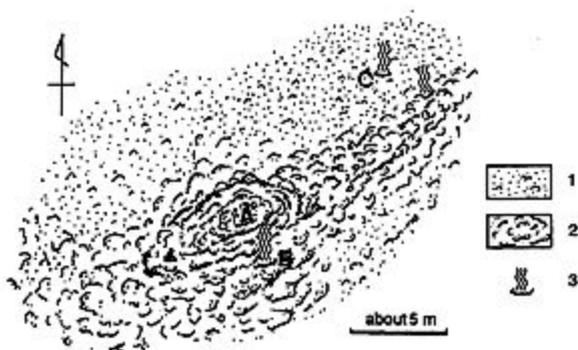


図 2 ハオリムシの丘の熱水域の模式図

1. 礫混じりの砂質, 2. 玄武岩溶岩, 3. 熱水湧出孔

Fig. 2 A view of hydrothermal field in the 'HAORIMUSHI-NO-OKA' (Hill of vestimentiferan tube worm). 1. Sand with pebble, 2. Basaltic lava, 3. Hydrothermal vent.

4. 溶存気体成分の化学的特徴

表 2 に今回の第 678 潜航でえられたハオリムシサイトの熱水試料中の溶存気体成分の組成と 1992 年のクラムサイトのピラミッドチムニーとベビーチムニーの溶存気体組成を示す。このハオリムシサイトの湧出熱水は、マグネシウム濃度から判断すれば、クラムサイトと巨にエンドメンバーに近い熱水ではないことが分かる。678 潜航のデータが気相だけのものであるため溶存気体成分の全量、CO₂、H₂S の量やその同位体比に関して詳細な議論は困難であるが、それぞれの成分の割合を見るとクラムサイトのものとそれほど大きな違いは認められない。唯一の顕著な違いは CH₄ である。その量クラムサイトの熱水の 1/6—1/8 であり、溶存気体全に対する割合も約半分になっている。またその炭素同位比も δ¹³C = -14.1‰ (PDB) という値を示し、これで沖縄トラフで観測された約 -30‰ の値よりも明らかに高い。後者が有機堆積物の熱分解から生じるものに近値であるのに対して、前者はむしろ中央海嶺などで観測されたマントル起源 (-15‰) のものに近い。この CH₄ の量がクラムサイトの熱水に対して明らかに少ないということと合わせて、堆積物起源の CH₄ の付がそれよりも少なく、CH₄ に関してはマントル成分支配的であることを示すものかもしれない。あるいはクラムサイトと同様に熱水の噴出以前に海水が浅部で合していると考え、海水中の硫酸イオンが CH₄ より還元される反応によって説明されるかもしれない。こうした可能性については現在液相成分の分析を急いでおり、それらのデータを加えて検討する予定である。

5. クラムサイト炭酸塩マウンド形成の要因

熱水中での方解石の溶解度は、温度と二酸化炭素濃度に大きく影響される。沖縄トラフの熱水系では熱水中

表 2 伊平屋凹地熱水の溶存気体成分の化学組成と同位体組成

Table 2 Chemical and isotopic compositions of gas components in vent fluids of the Iheya Depression.

	Total (mM/kg)	Mg (mM/kg)	CO ₂ (mM/kg)	H ₂ S (mM/kg)	CH ₄ (mM/kg)	N ₂ (mM/kg)	H ₂ (μM/kg)	Ar (μM/kg)	He (μM/kg)	δ ¹³ C (CO ₂)	δ ¹³ C (CH ₄)	N ₂ /A
D678-6	42.77	37.1	32.40	1.97	1.37	2.14	1.20	29.94	0.15	-7.14	-14.42	71.43
D678-7	43.62	40.8	36.40	2.31	1.44	1.00	1.40	16.14	0.16	-5.72	-14.11	62.16
D678-8	45.40	40.1	36.40	1.82	1.50	0.91	0.27	14.07	0.16	-2.03	-13.77	64.52
Pyramid(92)	70.10	36.1	89.42	6.73	6.70	1.12	5.05	21.04	0.71	-2.93	-30.9	53.17
Baby(92)	135.30	27.2	149.82	9.66	10.35	1.13	280.27	16.25	0.24	-2.77	-30.7	69.78

※ D678 のデータは船上において気相分離した試料の気相側のみの分析値である。

二酸化炭素は、伊是名海穴の JADE サイトでは209 mM/kg (蒲生ほか, 1990), 伊平屋海嶺のクラムサイトでは89~150mM/kg (石橋ほか, 1990; 表2), 南奄西海丘では64~96mM/kg (千葉ほか, 1993) となっている。また、今回の分析では伊平屋のハオリムシサイトでは36mM/kg 程度であった。これらの濃度範囲では、温度が一定であれば、二酸化炭素濃度の増加に伴い方解石の溶解度は上昇し、二酸化炭素濃度が一定であれば温度の低下に伴い方解石の溶解度は上昇する (例えば, Holland and Malinin, 1979)。湧出熱水の温度は Jade サイトでは320°C (田中ほか, 1990), 南奄西海丘では278°C (千葉ほか, 1993) であり、両温度ともそれぞれの水深における海水の沸点に近い。一方、クラムサイトでは1988年に220°C (木村ほか, 1989), 1989年に216°C であったが、1992年には130°Cまで低下している。炭酸塩の溶解度は150°Cの熱水中では300°Cの熱水に比べ、十倍から数十倍大きくなる。したがって、JADE サイトや南奄西海丘に比べ、クラムサイトで多量の炭酸塩のクラストが生じている理由は、熱水の温度が他に比べて低いことに主因があろう。海底で噴出する熱水の沸点は水深によって変化するので、熱水作用の強弱を単純に温度だけで比較することはできない。その熱水作用の強弱は、陸上の熱水系で用いられている活動度指数 (A.I.; Hayashi et al, 1981) を定義し直すことによって簡単に示すことが可能となる。すなわち、熱水温度 (°C) を a, その水深での海水の沸点 (°C) を b, 周辺海水の温度を s とすると、

$$A.I. = (a-s)/(b-s) \times 100$$

ここで、s は実際には 3~4°C 程度なので無視しても差し支えない。計算の結果、JADE サイトで95, 南奄西海丘では98と両海域とも沸点に非常に近い高温の熱水であるのに比べ、クラムサイトでは220°Cとしても65であり、現在湧出している最高温度の約100°Cでは30となって熱水の熱的活動度は非常に低いことが分かる。沖縄トラフの熱水はEPRなどに比べて二酸化炭素に富むことが知られているが (石橋ほか, 1990; Sakai et al, 1990), そのような性質に加えて比較的溫度が低く、十分に炭酸塩を溶解したクラムサイトの熱水が、二酸化炭素濃度の低い海水に触れることにより、大量の炭酸塩を沈殿させたと考えられる。

6. おわりに

本研究の結果、次のことが明らかとなった。

1) クラムサイトのベビーチムニーでは、熱水の温度

は95°Cであり、前年の第621潜航で得た110°Cよりも少し下回り、1989年以来クラムサイト全体の熱水活動が衰えつつある傾向が続いていると考えられる。

2) クラムサイトの周辺や通称ハオリムシの丘では、50°C前後の熱水域が広く分布していることが判明した。これらの50°C前後の熱水噴出孔では白色沈殿物とゴカイのコロニーで特徴付けられる。

3) ピラミッドチムニーの東約30m地点の熱水湧出孔や、ハオリムシの丘で採取した岩石の表面の沈殿物と変質物を回折 X 線で分析した結果、14種類もの多数の鉱物が検出された。安定関係から計算した結果、これらの変質鉱物は、およそ50°C以下の低温の熱水により生じたと考えられることができる。

4) ハオリムシサイトの湧出熱水は、クラムサイトと同様にエンドメンバーから離れた、いわば海水と混合した熱水であった。また、CH₄の量は、クラムサイトの熱水の1/6~1/8であり、溶存気体全体に対する割合も約半分であった。またその炭素同位対比も $\delta^{13}C = -14.1\%$ (PDB) という値を示し、これまで沖縄トラフで観測された約-30%の値よりも明らかに高い。

クラムサイトで大量の炭酸塩が沈殿している原因は、熱水中に二酸化炭素が多く溶存し、比較的溫度が低いことにより、炭酸塩を十分に溶解した熱水が、二酸化炭素濃度の低い海水に触れることにより生じたと考えられる。これらの炭酸塩沈殿物の一部は溶解している (中島ほか, 1993)。これは温度の低下に伴い溶解度の増した熱水と接した表面が溶解したのだろう (後退熱水変質作用)。世界的にも類のない海底熱水作用における炭酸塩クラストの沈殿作用について明確にするために、沈殿物の精査や広がりを知るとともに、クラムサイトの熱水活動の変遷について今後も見続ける必要がある。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、「なつしま」の越智船長をはじめ乗組員の皆様、段野司令と運航チームの方々、1992年の南西諸島調査航海の第2レグ第3レグの乗船研究員の方々には大変お世話になりました。特に田中武男氏には熱水の採取に当たって、研究者間の協力の段取りをとっていただき、天候の不順にもかかわらず十分な試料採取ができたことに感謝申し上げます。また、X線分析にあたっては山形大学理学部の瀬間由恵嬢に手伝っていただいた。本研究の一部は文部省科学研究費・重点領域研究「海洋フラックス」No. 05216202 (代表者: 中島和夫) の援助を受けて行われた。

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. しんかいシンポジウム報告書, 9, 271-282.
- 蒲生俊敬・酒井 均・金 銀洙・下島公紀・柳澤文孝・石橋純一郎・大森 保・山野 誠・野尻幸宏・田中武男・松本 剛・満澤巨彦・長沼 毅 (1990): 中部沖縄トラフ海底熱水系の地球化学的研究: 「しんかい2000」第416回潜航報告及び熱水の主要化学成分濃度からみた熱水活動の特徴. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 6, 51-62.
- 蒲生俊敬・酒井 均・石橋純一郎・大森 保・千葉仁・下島公紀・中島和夫・田中善孝・益田晴恵 (1991): 中部沖縄トラフ, 伊平屋凹地 (クラムサイト) における熱水性マウンドの構造的, 鉱物学的及び化学的特徴からみ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. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 7, 163-184.
- Hayashi, M., S. Taguchi and T. Yamasaki (1981): Activity index and thermal history of geothermal systems. GRC Transaction, 5, 705-708.
- Helgeson, H.C., T.H. Brown and R.H. Leeper (1969): Handbook of theoretical activity diagrams depicting chemical equilibria in geologic systems involving an aqueous phase at one atm and 0° to 300°C. Freeman, Cooper & Company, San Francisco, 253 pp.
- Holland, H.D. and S.D. Malinin (1979): "The solubility and occurrence of non-ore minerals." p 461-508. In: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. Edited by H.L. Barnes, John Wiley & Sons, New York, 798 pp.
- 石橋純一郎・佐野有司・脇田 宏・蒲生俊敬・堤眞・酒井 均 (1990): 中部沖縄トラフ海底熱水活動の地球化学的研究: 溶存気体成分からみた熱水活動の特徴. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 6, 63-68.
- 井沢英二・本村慶信・田中武男・木村政昭 (1991): 沖縄トラフ伊平屋海嶺の熱水性炭酸塩チムニー. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 7, 185-192.
- 木村政明・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. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 165-196.
- 木村政明・田中武男・許 正憲・安藤雅孝・大森 保・井沢英二・嘉川郁朗 (1989): 「しんかい2000」による沖縄トラフ中部熱水域の地形・鉱床・生物の観察. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 5, 223-244.
- 中島和夫・酒井 均・吉田広樹・千葉 仁・田中善孝・蒲生俊敬・石橋純一郎・角皆潤 (1993): 沖縄トラフ伊平屋凹地と南奄西海丘の熱水性沈殿物の鉱物組成と流体包有物: 「しんかい2000」第621潜航報告及び第487潜航と第622潜航の熱水性沈殿物について. しんかいシンポジウム報告書, 9, 267-281.
- Sakai, H., T. Gamo, E-S. Kim, K. Shitashima, F. Yanagisawa and M. Tsutsumi (1990): Unique chemistry of the hydrothermal solution in the Mid-Okinawa Trough Backarc Basin. Geophys. Res. Lett., 17 (12), 2133-2136.
- 田中武男・満澤巨彦・堀田 宏 (1989): 沖縄トラフ伊平屋小海嶺東部の1988年潜航調査について: 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 5, 267-281.
- 田中武男・堀田 宏・酒井 均・石橋純一郎・大森保・井沢英二・小田 望 (1990): 伊是名海穴の熱水現象とその分布. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 6, 11-26.

(原稿受理: 1994年6月30日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載



写真 1 テーブル状の炭酸塩からなる‘ひさし’（ピラミッドチムニーの東約30mの地点）

Photo 1 Flat eaves of carbonates (30m east of the Pyramid chimney).

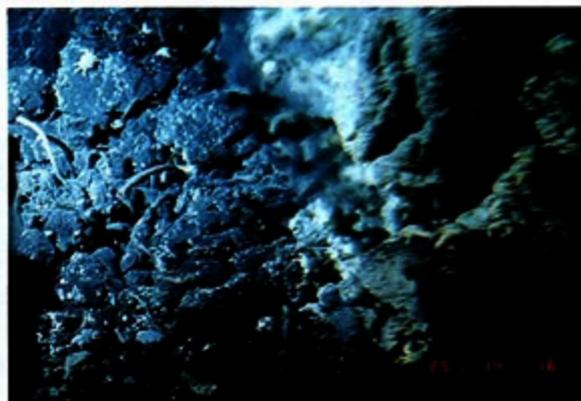


写真 4 尖塔状の岩の麓にある熱水湧出孔

Photo 4 An vent on the foot of the basalt edifice.



写真 2 平らな炭酸塩クラストが広がる海底と熱水の湧出する割れ目（場所は写真1の近く）

Photo 2 Flat carbonate crust and a fissure venting hydrothermal fluid (in the vicinity of Photo 1).



写真 5 図2のC点の熱水湧出孔とバクテリアマット

Photo 5 An vent and bacteria mat on the point C in Fig. 2.

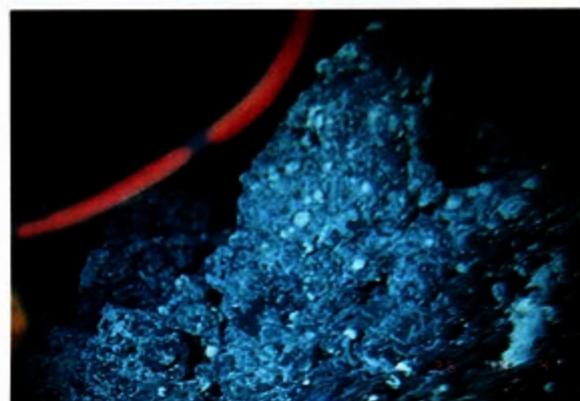


写真 3 通称ハオリムシの丘の玄武岩からなる尖塔状の岩塊（一見バゴダ状のチムニーに見える）

Photo 3 An edifice made of basalt on the 'HAORIMUSHI-NO-OKA' (It is mistaken for a pagoda-like hydrothermal chimney).



写真 6 写真5の湧出孔から熱水採取しているところ

Photo 6 Hydrothermal fluid sampling at the point C in Fig. 2.



写真 7 発泡した玄武岩溶岩。岩石表面や気泡中に多量に変質鉱物が生じている。
 Photo 7 Vesicle-developed basalt lava. A large quantity of hydrothermally altered mineral occurs on the rock surface and in vesicles.



写真 8 玄武岩の表面に沈殿している硫黄
 Photo 8 Native sulfur precipitated on the surface of basalt.



写真 9 図2のC点の湧出孔から採取した、礫とそれを充填する硫黄
 Photo 9 Pebbles of basalt and filling native sulfur which are corrected at the vent site of point C.