

伊平屋海凹北部海丘の海底熱水活動

千葉 仁*¹ 石橋純一郎*² 上野 宏共*³ 大森 保*⁴
内山 明紀*¹ 武田 哲一*³ 高峰朝一郎*⁴
李 受映*⁴ 糸満 彩子*⁴

伊平屋海凹北部海丘の海底熱水系の熱水、および、熱水性沈殿物が3回の「しんかい2000」の調査潜航によって採取された。測定された熱水の最高温度は、238℃であった。熱水は、塩化物イオンにして海水の50~80%程度の塩濃度しかなく、深所でいったん気液分離した蒸気相を含んでいると考えられる。溶存物質の化学組成は、伊是名海穴や南奄西海丘で見られる沖繩トラフの海底熱水系と共通の特徴を持つ。活動を停止しているが、多数の硫化物チムニーが伊平屋で初めて確認された。その鉱物組成は黒鉱に類似している。現在の熱水活動は、クリアースモーカーであり、生じている熱水性沈殿物は重晶石を主体としている。

キーワード：伊平屋海凹北部海丘、海底熱水活動、熱水化学組成、硫化物チムニー

Seafloor Hydrothermal Systems at North Knoll, Iheya Ridge, Okinawa Trough

Hitoshi CHIBA*⁵ Jun-ichiro ISHIBASHI*⁶ Hirotomo UENO*⁷
Tamotsu OOMORI*⁸ Noriaki UCHIYAMA*⁵ Tetsuichi TAKEDA*⁷
Chouichirou TAKAMINE*⁸ Juei RI*⁸ Ayako ITOMITSU*⁸

Hydrothermal fluids and rock samples were collected at the North Knoll of Iheya Ridge, Okinawa Trough by three "Shinkai 2000" dives. Measured maximum fluid temperature was 238°C. Cl concentrations of hydrothermal fluids range from 50 to 80% of the seawater, indicating that the hydrothermal fluids contain steam phase formed by phase separation at depth. The chemical compositions of hydrothermal fluids are similar to those of the fluids at Izena and South-Ensei seafloor hydrothermal systems. Many dead sulfide chimneys were first found in Iheya area. Their mineralogical composition is similar to that of the Kuroko deposit. Present clear smoker activity mainly forms barite precipitates.

* 1 九州大学理学部

* 2 東京大学理学部

* 3 鹿児島大学教養部

* 4 琉球大学理学部

* 5 Faculty of Science, Kyushu University

* 6 Faculty of Science, University of Tokyo

* 7 College of Liberal Art, Kagoshima University

* 8 College of Science, University of the Ryukyus

1. はじめに

1996年4月28日から5月3日にかけて、1996年度最初の南西諸島伊平屋海域調査潜航の第1レグ(5潜航)が行われた。伊平屋海域では、1988年に発見されたクラムサイトの海底熱水系(測定された熱水最高温度、220°C)が知られていたが、1995年の曳航調査(門馬ほか、本書)により北部の海丘で大規模な熱水性生物群集と熱水のゆらぎが深海カメラによって確認された。そこで、第1レグでは、5潜航中の3潜航が北部の海山の生物群集が確認された地点で行われた。3回の「しんかい2000」の潜航調査(第857潜航、第859潜航、第861潜航)によって、本地域の熱水活動の広がり確認され、最高温度238°Cの熱水を含む4種類の熱水試料および多くの熱水性沈殿物試料が採取された。本報告では、伊平屋海山北部海丘で発見された熱水系について、現在までに得られている知見について速報する。

南西諸島の海域図を図1に示す。新たに発見された海底熱水系は、クラムサイトの北約30kmの海丘に存在

している。この地域は、1991年に行われた2回の曳航調査によって生物群集が発見されていた地域の約1km西側の海丘斜面である(門馬ほか、本書)。

2. 地形、底質、熱水活動の分布

今年度の伊平屋海山北部海丘地域の3潜航の航跡に潜航によって観察された底質と熱水の採取地点を重ね合わせたものを図2に示す。潜航によってカバーされた調査域は、東西約1,500m、南北600mの範囲である。3回の潜航で記録された潜水艇の深度は、調査地域東側で約1,050m、西側で約950mであり、この図において、様々な微地形はあるものの、全体的にみて、水深は東から西に向かって100mほど浅くなっていることが分かる。

第857潜航(観察者:千葉仁)では、潜航調査開始後すぐに低温の小規模な熱水地帯を発見し熱水(43°C)を採取した。高温の熱水系は、この小規模な岩場の低温熱水系の西約300mで発見された。後の第859潜航によって確認されたが、小規模な岩場の低温熱水系と高温の熱

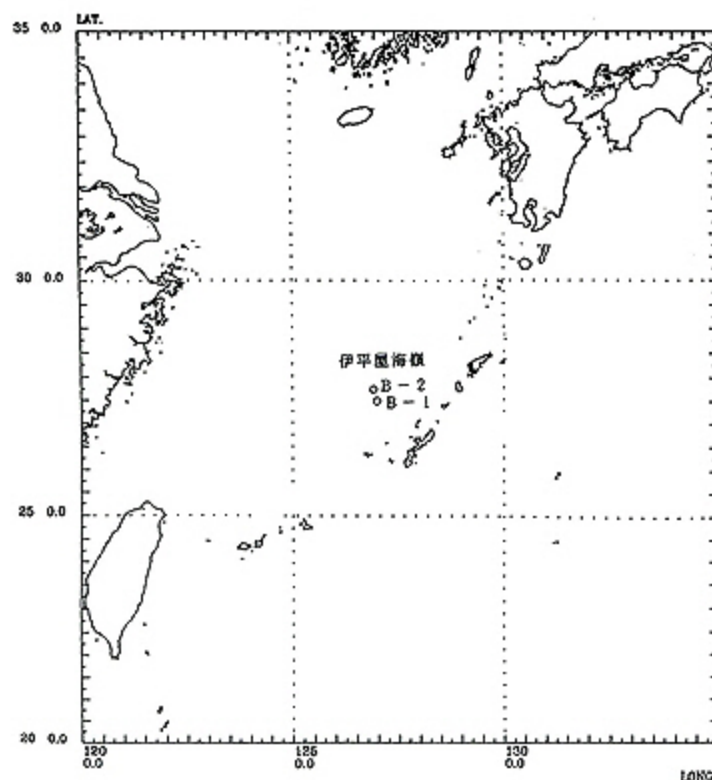


図1 伊平屋海嶺の海底熱水系の位置。図中のB-1がクラムサイト、B-2が北部海丘の海底熱水系の位置を示す
Fig.1 Locations of the seafloor hydrothermal systems at Iheya Ridge, Okinawa Trough. B-1 and B-2 indicate the locations of the CLAM site and the North Knoll, respectively.

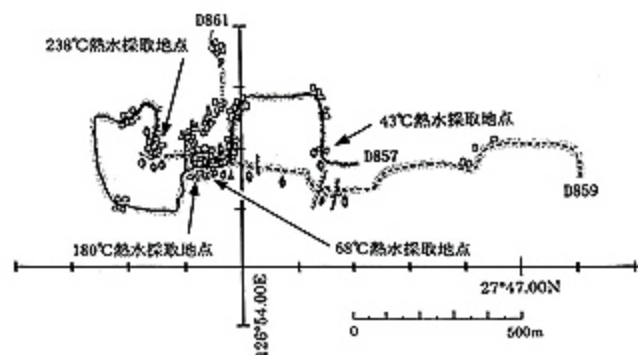


図 2 「しんかい 2000」第 857, 859, 861 潜航の航跡図と観察結果

Fig. 2 Track lines and the results of observations of "Shinkai 2000" Dives 857, 859 and 861.

水系の間は、砂質の海底で、現在熱水活動は見られない。シンカイヒバリガイとコシオリエビの大規模な群集を伴う熱水のゆらぎが視認される熱水活動は、 $27^{\circ}47.20'N$, $126^{\circ}53.90'E$ を中心とする大きな岩場（直径約 300m）で発見された。この熱水系では、現在は活動を停止している硫化物のチムニーが多数観察された。これまで、クラムサイトでは硫化物のチムニーの存在が確認されていないので、伊平屋において初めて硫化物チムニーが確認された。大きな岩場の西約 100m に小規模な岩場があり、ここでは $238^{\circ}C$ の熱水が採取された。この高温の熱水は、ゆらぎが見える程度のゆっくりとした噴出のしかたをしていて、温度計測した段階では $200^{\circ}C$ 以下の温度しかなかったが、噴出口に採水口を突っ込んで熱水を吸引することによって温度が上昇した。この熱水系ではチムニーを作るような激しい熱水の噴出のしかたではなく、じわじわと熱水が海底に向かってしみ出すような熱水活動が現在行われていることを示唆している。この西側の高温の熱水活動のある小さな岩場の西側では、砂質の海底となり熱水活動は全く見られなかった。

第 859 潜航（観察者：大森保）では、第 857 潜航の結果、熱水活動に東西の方向性があることが分かったので第 857 潜航のさらに東側から潜航調査を開始した。しかし、第 857 潜航で見つかった大きな岩場の熱水系の東側では、砂質の海底が続き、大きな岩場の 300m ほど手前から砂質の海底に白い変色域は見られるものの、現在活発な熱水活動は見られなかった。

第 861 潜航では南北方向の熱水活動の広がりを確認するために、大きな岩場の北側から潜航調査を開始した。北側でも、白い変色域は見られるものの、大きな岩場にいたるまでは熱水活動は、観察されなかった。大きな岩

場の 2 か所で熱水を採取し、その温度は、 $68^{\circ}C$ と $180^{\circ}C$ であった。

以上の 3 潜航の観察結果をまとめると、本地域の高温の熱水活動は直径約 300m ほどの領域にある岩場に限定されていることが分かる。本地域の底質は、熱水活動が観察された調査地域を除くと全体として砂質である。砂質の海底上には、随所でリップルマークが観察される。砂質の海底では、高温の熱水活動の兆候は見られないが、高温の熱水活動のある岩場の周辺数百 m の範囲で白い変色域やシロウリガイの大規模なコロニーが観察される。高温の熱水活動が見られる岩場は、熱水のゆらぎが確認できない所でもおびただしい数のシンカイヒバリガイが岩に密集しており、コシオリエビが遠くから観察すると白い変色域かと思いがうほどの密度で群生していることが特徴である。熱水活動のある岩場の狭いくぼみに砂質の堆積物がたまった場所では、シロウリガイのコロニーが観察された。また、曳航調査では発見されなかったハオリムシも高温の熱水活動から少し離れた岩場で存在が確認された。

3. 熱水の噴出形式・化学組成

3. 1 熱水の噴出形式と測定温度

伊平屋凹地北部海丘で発見された熱水噴出域で 4 つの熱水噴出口から熱水試料が採取された。いずれの熱水噴出口でもゆらぎが観察されるのみで、硫化鉱物の生成が見られないクリアースモーカーである。熱水の化学組成等を表 1 に示す（この表にはニスキン採水器で採取された底層水と表面海水の分析値も載せてある）。熱水採取時に記録された各熱水噴出口の最高測定温度は備考欄に書かれているとおりで、 $43^{\circ}C$ から $238^{\circ}C$ である。前節でも述べたように、熱水の測定温度が試料を採水器によって吸引することにより上昇する現象が見られた。チムニーを形成している他の熱水系で見られる勢いのよい熱水噴出は熱水噴出口周辺の熱水沈殿物を除去しても見られなかった。したがって、現在のこの熱水系の熱水噴出の形式は、全体としては、熱水噴出域の広い範囲から熱水がじわじわとしみ出すタイプの "diffuse flow" に近い。

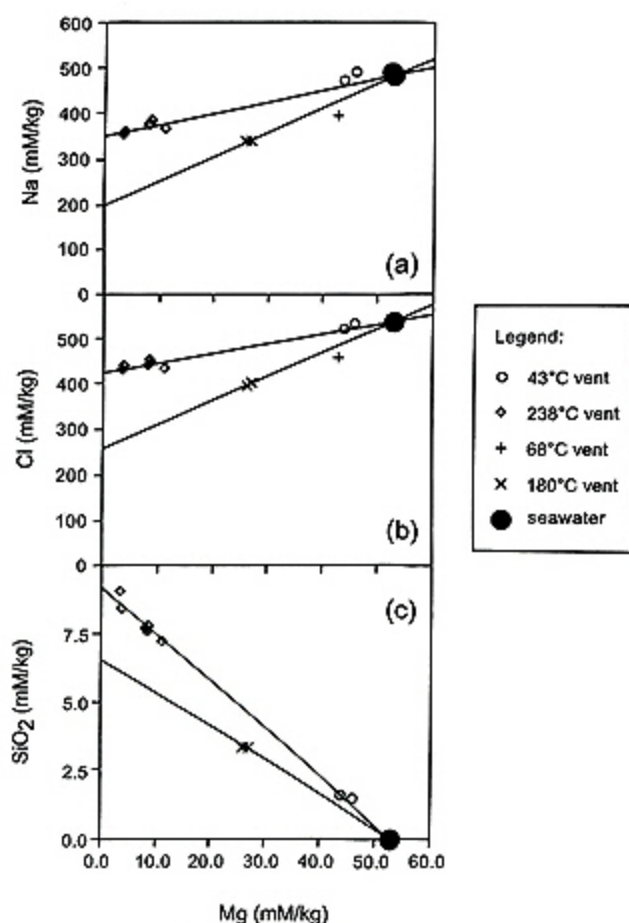
3. 2 熱水の塩濃度と溶存シリカ濃度から推定される温度

図 3 に Mg 濃度を横軸に、Na と Cl 濃度を縦軸にとった図を示す（図 3 (a) と図 3 (b)）。2 本の直線は、底層水と $238^{\circ}C$ の熱水噴出口で採取された熱水、および底層水と $180^{\circ}C$ の熱水噴出口で採取された熱水の組成を用い

表 1 沖縄トラフ伊平屋海丘北部海丘の海底熱水、および底層水の化学組成

Table 1 Chemical compositions of vent and ambient waters at the North Knoll, Iheya Ridge, Okinawa Trough.

Sample	pH	Mg (mM/kg)	Ca (mM/kg)	Li (mM/kg)	Na (mM/kg)	K (mM/kg)	NH ₄ (mM/kg)	Sr (μM/kg)	Ba (μM/kg)	Mn (μM/kg)	Cl (mM/kg)	SO ₄ (mM/kg)	Alk (mM/kg)	Si (mM/kg)	Remarks
D857RV2	5.35	43.9	11	0.182	473	18.8	0.45	82.3	0	85	523	22.2	2.23	1.54	43°C vent
D857RV3	5.29	45.9	11.6	0.185	493	17.3	0.57	88.4	0	89	538	22.7	2.21	1.46	43°C vent
D857RV5		8.2	15.3	0.842	377	50.1	2.18	62.1	11.6	447	441	3.8		7.88	233°C vent
D857RV6	4.81	8.5	13.8	0.792	377	49.9	1.87	57.4	10	440	453	0.5	1.26	7.53	233°C vent
D857RV7	4.59	8.8	13.9	0.809	385	49.2	2.58	56.3	11	441	448	2	1.23	7.76	233°C vent
D857N	6.66	52.9	10.2	0.038	481	9.5		89	0	0	545	27		0	Niskin
D857Surf		53.3	10.2	0.024	482	9.7		86.2	0	0	538	28.1		0	Surface
D859RV2	4.65	11.2	14.9	0.748	385	46.3	1.86	63.3	0.7	409	433	4.4	1.17	7.16	233°C vent
D859RV4	4.50	3.9	16.3	0.891	360	53.2	2.21	60.7	23.2	497	440	1.5	0.98	8.41	233°C vent
D859RV5		3.8	16.1	0.898	354	54.1	2.23	62.4	19.7	491	429	1.4		9.03	233°C vent
D857N	6.99	52.6	10.1	0.012	498	9.5		89.4	0	0	546	26.7	2.40	0	Niskin
D861RV4	4.88	42.8	8.9	0.068	398	11	0.58	74.6	0	0	460	21.2	2.88	0	68°C vent
D861RV6	4.83	26.9	10.5	0.317	341	22.3	1.32	62.7	4.3	183	400	13.4	2.01	3.28	180°C vent
D861RV7	4.85	28	10.4	0.396	342	22.9	1.49	61.1	4.3	190	396	12.9	2.03	3.28	180°C vent
D861N	7.39	53	10.2	0.038	475	9.4		89	0	0	531	27.5	2.40	0	Niskin

図 3 伊平屋海丘北部海丘の熱水試料の Mg 濃度と Na, Cl, SiO₂ (aq) 濃度の関係Fig. 3 Relationships of Mg concentration vs Na, Cl, SiO₂ (aq) concentrations in hydrothermal fluids collected at the North Knoll, Iheya Ridge, Okinawa Trough.

て、最小二乗法によって求めた直線である。海水中に噴出する前の熱水の Mg 濃度がゼロであると仮定すると 2 つの高温の熱水ともその Na 濃度と Cl 濃度が海水より

も小さいことが分かる。

238°C の熱水では、Mg 濃度がゼロに近い試料が採取されており、高温の熱水の端成分が海水より低い Na と Cl 濃度を持っていることが確実である。熱水の端成分の Cl 濃度は海水の 79%、Na 濃度は海水の 73% である。測定値が直線にきれいにのらないことと熱水中の Na 濃度は熱水と岩石との相互作用によって海水の濃度から変化し得ることを考慮すると、少なくともこの熱水は海水の 80% 程度の Cl 濃度しかないといえる。このような海水からの大きな Cl 濃度の低下は、熱水が海底で気液分離を起こし、生じた気相が凝縮して再び熱水に混入した結果と考えられる。

180°C の熱水噴出口では、Mg 濃度が海水の約半分の濃度の熱水しか採取されていない。そのため、熱水の端成分が本当に Mg 濃度がゼロに近いものであるかどうかは不明であるが、後述の温度の議論から、端成分が Mg 濃度ゼロの熱水であると推定される。Mg 濃度がゼロであると仮定して、端成分の Na と Cl 濃度を求めると、Na 濃度は海水の 41%、Cl 濃度は海水の 48% となる。238°C の熱水と同様に気液分離した後の気相が再び凝縮して加わっていると考えると約 50% もの蒸気凝縮水が混ざっていることになる。

この海域の水深では、海水は、310°C を超えないと沸騰しない。この海域の海底下深所には、310°C を超える温度の領域が存在し、そこで気液分離が起きているものと思われる。蒸気相が気液分離後、密度差によって上昇し、冷えて凝縮したものが海底に噴出してきている熱水に付け加わっているものと考えられる。

図 3 (c) に Mg 濃度に対して溶存シリカ濃度がプロットしてある。この図から 238°C の熱水端成分のシリカ濃度は 9.2 mM/kg、180°C の熱水端成分のシリカ濃度は 6.6

mM/kg と推定される。高温・高圧の海水中への石英の溶解度の実験的研究 (Von Damm et al., 1991) によって与えられた石英の溶解度の温度依存性の実験式を用いると、238°Cの熱水の端成分に対して石英と230°Cを少し超える温度で飽和に達していたと計算される(圧力は水深に等しく、密度が海水より少し低いと仮定した)。この推定温度は実測温度とよく一致しており、238°Cの熱水噴出口の熱水が海底に噴出してくる前にほぼ実測温度で海底下に存在し、石英と化学平衡に到達していたことを示唆する。熱水の海底からしみ出してくるような噴出形式から、海底下の浅い部分で溶存シリカとの間の化学平衡が成立しているものと推察される。このことは、また、Mg 濃度のゼロを仮定して推定された238°Cの熱水の端成分の組成が実際の熱水の値に近いであろうことを支持するものでもある。さらに、気液分離した蒸気の凝縮水が熱水に混入したのが、最終的に熱水が石英と化学平衡になる前であったことが推定される。

もう1つの180°Cの熱水に対しては、石英と化学平衡にあったと仮定して求められる温度は約210°Cとなり、実測温度より30°Cほど高い。180°Cという実測最高温度は、採水器4本の採水を行ったうちの最後の採水中に記録された値である。一方、表1に示してある試料は2本目と3本目の試料の分析値であり、5秒毎に記録されている採水中の採水管先端にある白金抵抗温度計による温度の記録を見ると、これらの試料の採水中は温度がほぼ120°Cで一定であった。測定された温度と試料中のMg 濃度が210°Cの熱水と4°Cの底層水の混合によって決まっていると考えれば、試料のMg 濃度と採水中に記録された温度(120°C)は、底層水が熱水に約半分ほど混ざっていると考えれば整合的である。したがって、この熱水噴出口の熱水の端成分はMg 濃度がゼロであり、約210°Cであると考えられる。

3.3 その他の溶存成分

その他の6つの溶存成分の濃度とMg 濃度の関係を図4に示す。底層水から試料を示す点を通る直線のMg 濃度ゼロの切片によって推定される熱水端成分のCa, K, Liの濃度(図4(a)~(c))は、熱水の塩濃度が海水よりも低いにもかかわらず、海水よりも高い。これは、海水起源の熱水が海底下の火山岩と十分に相互作用を行った結果と考えられる。特に、熱水端成分のK 濃度は35~60mM/kgと推定され、中央海嶺の玄武岩を母岩とする海底熱水系に比べて高い(Von Damm, 1995)。高い熱水中のK 濃度は、沖縄トラフやLau Basin等の背弧海盆の熱水系において見られる共通の特徴である。第

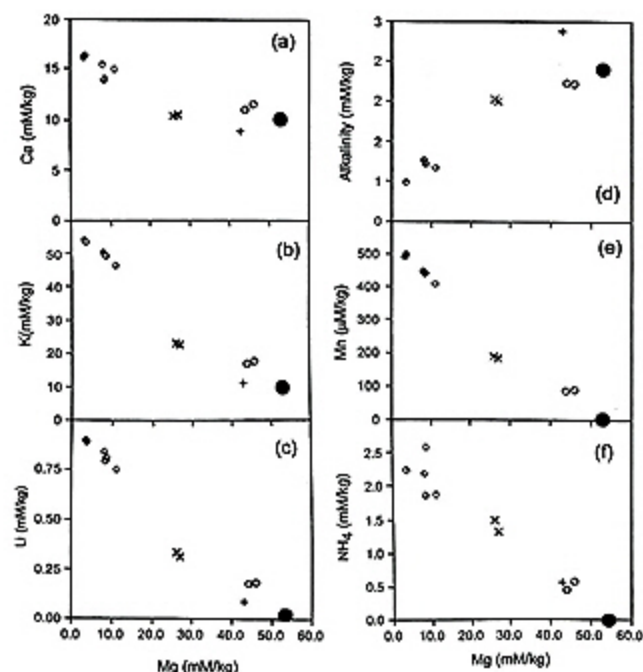


図4 伊平屋海凹北部海丘の熱水試料のMg 濃度とCa, K, Li 濃度, アルカリ度, Mn, NH₄ 濃度の関係
Fig. 4 Relationships of Mg concentration vs Ca, K, Li, Mn, NH₄ concentrations and alkalinity in hydrothermal fluids collected at the North Knoll, Iheya Ridge, Okinawa Trough.

857 潜航で採取された火山岩の予察的な化学分析結果は、SiO₂が70%以上と高く、TiO₂が0.1%程度と低い。この分析結果は、一部ケイ化しているものの原岩が流紋岩〜デイサイト質の岩石であることを示す。さらに、第859 潜航で採取された岩石試料も、肉眼的に流紋岩〜デイサイト質と観察されている。熱水系の現場で採取された岩石がこのような酸性の岩石であることから、これまでも沖縄トラフの海底熱水系で議論されてきたように高い熱水中のK 濃度は玄武岩ではなく酸性の岩石と海水が反応した結果と考えられる。

熱水のアルカリ度(図4(d))は、68°Cの熱水噴出口を除き、1~2mM/kgと推定される。同じ伊平屋のクラムサイトの熱水は、硫酸イオンの還元と有機物の分解を伴うローカルな浅い熱水循環によって非常に高いアルカリ度を持っている(Gamo et al., 1991)。クラムサイトに見られるようなローカルな浅い熱水循環に伴う現象は、決して伊平屋全域におよぶものでないことが明らかになった。今回採取された熱水のアルカリ度の値は、沖縄トラフの伊是名海穴の熱水の値とほぼ同じで、南奄西海丘の熱水の値より少し小さい。しかし、堆積物の存在しない他の海底熱水系のアルカリ度の値に比べると明らかに高

い値である。伊是名海穴、南奄西海丘、伊平屋北部海丘の熱水のアルカリ度、数 mM/kg という値は、堆積物が厚く存在する沖縄トラフの海底熱水系の特徴的な値なのかもしれない。

Mn 濃度 [図 4 (e)] は、伊是名海穴や南奄西海丘と比べて非常に高い。同じ伊平屋のクラムサイトでは、熱水端成分の濃度を見積もることが難しいが、この値は推定されている端成分の Mn 濃度とほぼ等しい値である。Mn 濃度が高いことは、沖縄トラフの中でも伊平屋地域の特徴なのかもしれない。

熱水と堆積物との反応を示す指標の 1 つと考えられる NH_4 濃度 [図 4 (f)] は、約 3mM/kg と推定される。この値は、伊是名海穴 (Sakai et al., 1991) や南奄西海丘 (千葉ほか, 1993) の値より少し小さいが、塩濃度が低いことを考えると、沖縄トラフの特徴的な値の範囲に入ると考えられる。

3. 4 溶存ガス成分

熱水噴出口周辺では、 CO_2 とと思われる液泡が海底から海水中に浮き上がっていくのが観察された。潜水艇浮上後、採水器の中では液相から気相が分離していたので、多量の気体成分が熱水に溶解していると考えられる。気相は、現在分析中であるが、その量は同じ伊平屋海丘にあるクラムサイトに比べて多いことが船上での体積計測の結果から明らかになっている。

4. 熱水沈殿物の鉱物学組成

3 つの潜航によって多くの熱水性沈殿物が採取された。それらは、現在透明な熱水をゆるやかに噴出している噴出口構成物、過去の熱水活動によって生成されたと考えられる硫化物チムニー、および変質した火山岩に大別される。表 2 に第 857 潜航によって採取された岩石試料中に見られる鉱物を示した。

現在ゆるやかに熱水を噴出している噴出口 (写真 1 の矢印) より採取した試料 (857R-05) (238°C の熱水を採取した熱水噴出口) は、主として、重晶石からなる。重晶

石中には微細な流体包有物が見られ、その充填温度を測定した。流体包有物が微細で試料が限られているため 3 点しか測定されていないが、その温度は、205, 215, 239°C である。これらの値は、測定された熱水の温度に近く、現在の熱水活動によって、この重晶石が生成していることを示す。熱水端成分中の Ba 濃度は、採水時に海水が熱水に少量混入しただけでも BaSO_4 の沈殿が生じるため推定することが難しいが、測定値の最大値 (23.2 $\mu\text{M/kg}$) 以上と推定できる。この Ba 濃度は、これまでに測定されている海底熱水中でも高い部類に入り (Von Damm, 1995), 熱水が海水と混合している界面で重晶石が現在成長していると考えられる。

過去の熱水活動によって生じたと考えられる硫化物チムニーの多くは、写真 2 や 3 に示すように、シンカイヒバリガイが付着したり、コシオリエビが群がっていたりする。これらのチムニーからの熱水の噴出は、潜水船内からの観察では確認できなかった。表 2 に主に X 線回折によって同定された構成鉱物を、鉱石顕微鏡によるチムニーの顕微鏡写真を写真 4~7 に示す。X 線回折と顕微鏡観察によって、チムニーの構成鉱物が比較的単純であることが分かる。これまでに確認されている鉱石鉱物は、黄銅鉱、ウルツ鉱、方鉛鉱、黄鉄鉱、白鉄鉱、四面銅鉱、閃亜鉛鉱、銅藍などである。脈石鉱物としては、多量の重晶石のほかに、石英、方解石、マグネサイト、天青石、自然硫黄などが存在する。チムニーの鉱物組み合わせは、黒鉱に類似していると言えるであろう。

変質した火山岩の試料が幾つか採取されている。既に述べたように予察的な分析から、この地域の火山岩は玄武岩でなく流紋岩~デイサイト質の岩石であると推定される。

5. ま と め

伊平屋凹地北部海嶺の熱水系の 3 回の調査潜航によって、最高測定温度 238°C の海底からの熱水の噴出が確認された。熱水の塩化物イオン濃度は、海水の塩化物イオ

表 2 第 857 潜航で採取された岩石試料の鉱物組成
Table 2 Mineralogical composition of Dive 857 rock samples.

Sample name	Type	pyrite	marcasite	sphalerite	wurtzite	galena	chalco-pyrite	covellite	barite	anhydrite	celestine	cinnabar
857R-01	altered rock											*
857R-02	sulfides ore/altered rock	+++	++	++			++				++	
857R-03	sulfides ore/altered rock	+++	++	+++			++	+	+++		++	
857R-04	dead chimney	++	++	+++	+	++	++					
857R-05	active chimney	+							+++	+		

+++ : abundant, ++ : common, + : rare

ン濃度の50~80%で、海底下で気液分離を行った蒸気相が混入していると推定される。溶存シリカ濃度から推定される地下温度は、最高測定温度に近く、蒸気相の凝縮水が混入した熱水は海底へ噴出する前に二百数十度であったことが示唆される。しかし、気液分離が起きていることから、地下深所には310°Cを超える高温の領域が存在すると考えられる。熱水の化学組成は、NaCl濃度が低いことを除くと、伊是名海穴や南奄西海丘で採取された熱水の化学組成に類似しており、沖縄トラフに特徴的な海底熱水の化学組成を持っている。

この熱水系では、現在活動を停止している硫化物チムニーが多数観察された。伊平屋海域においては、初めて発見された硫化物チムニーである。硫化物チムニーの鉱物組成は黒鉱的な組成である。現在の熱水活動はクリアースモーカー+diffuse flowであり、熱水は硫化物鉱物を沈殿させるような化学組成を持っていない。過去の硫化物チムニーを作るような活動から、現在のクリアースモーカー的な活動に、いつ、どのようにして移り変わったかは、今後の研究をすすめるにあたって、解かなければならない大きな地球科学的問題である。

謝 辞

本調査潜航にあたって、未公表の平成7年度「深海調査研究」南西諸島深海曳航調査のクルーズレポート（門馬ほか、本書）を見せていただいた。潜航調査を進める上で非常に参考になった。上記航海の乗船者の方々に感謝します。また、潜航調査にあたっては、依田司令をはじめ潜航チームの方々、「なつしま」船長および船員の方々にお世話になったことを感謝します。

引用文献

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

熱水系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.

Gamo, T., H. Sakai, E-S. Kim, K. Shitashima and J. Ishibashi (1991): High alkalinity due to sulfate reduction in the CLAM hydrothermal field, Okinawa Trough. *E.P.S.L.* 107, 328-338.

門馬大和・岩瀬良一・満澤巨彦・海宝由佳・藤原義弘・網谷泰孝・青木美澄 (1996): 南西諸島深海曳航調査 (K95-07-NSS). *JAMSTEC 深海研究*, 12, 195-210.

Sakai, H., T. Gamo, E-S. Kim, K. Shitashima, F. Yanagisawa, M. Tsutsumi, J. Ishibashi, Y. Sano, H. Wakita, T. Tanaka, T. Matsumoto, T. Naganuma and K. Mitsuzawa (1990): Unique chemistry of the hydrothermal solution in the mid-Okinawa Trough back arc basin. *Geophys. Res. Lett.*, 17, 2133-2136.

Von Damm, K.L., J.L. Bishoff and R.J. Rosenbauer (1991): Quartz solubility in hydrothermal seawater: an experimental study and equation describing quartz solubility for up to 0.5M NaCl solutions. *Amer. Jour. Sci.*, 291, 977-1007.

Von Damm, K.L. (1995): "Controls on the chemistry and temporal variability of seafloor hydrothermal fluids." p222-247. In: *Seafloor Hydrothermal Systems: Physical, Chemical, Biological, and Geological Interactions*. Edited by S.E. Humphris et al., *Geophysical Monograph* 91, American Geophysical Union, 466pp.

(原稿受理: 1996年7月12日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

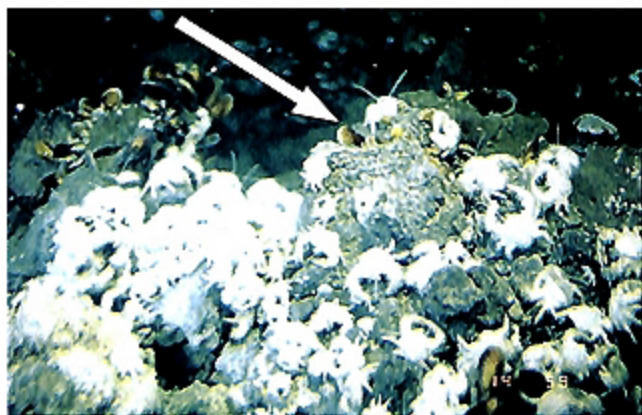


写真 1 伊平屋海嶺北部海丘の海底熱水系で 283°C の熱水を噴出している熱水噴出口。ゆるやかな噴き出しのクリアースモーカーが白い矢印の先。噴出口は、主に重晶石からなる

Photo 1 Clear smoker at the North Knoll, Iheya Ridge, Okinawa Trough (indicated by white arrow). Measured maximum fluid temperature was 238°C. Vent consists of mainly barite.

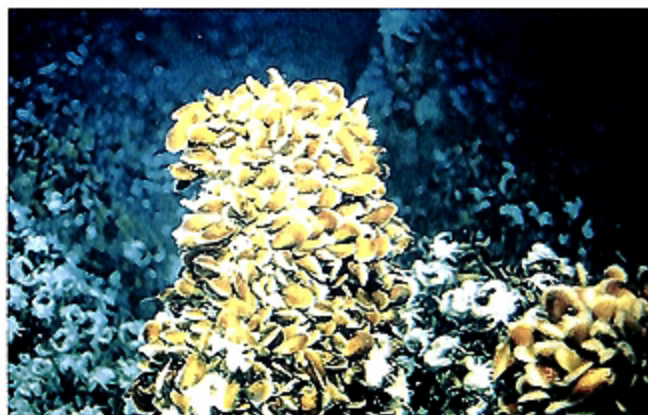


写真 2 伊平屋海嶺北部海丘のシンカイヒバリガイによって覆われた活動を停止した硫化物チムニー

Photo 2 Dead sulfide chimney covered by dense bivalves community at the North Knoll, Iheya Ridge.

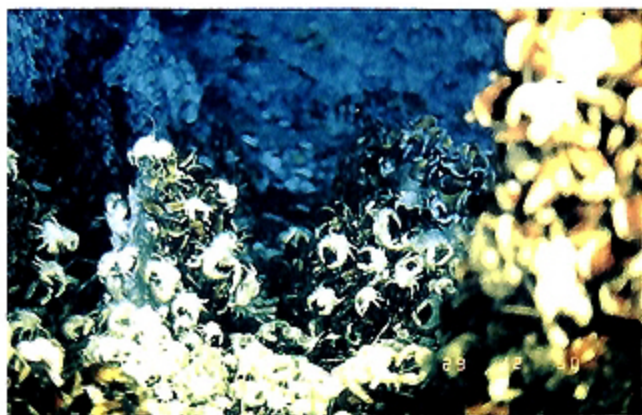


写真 3 シンカイヒバリガイやコシオリエビによって覆われた活動を停止した硫化物チムニー。後ろにも数本のチムニーが存在する

Photo 3 Dead sulfide chimneys covered by dense biological communities at the North Knoll, Iheya Ridge. Several dead chimneys are visible in this photo.

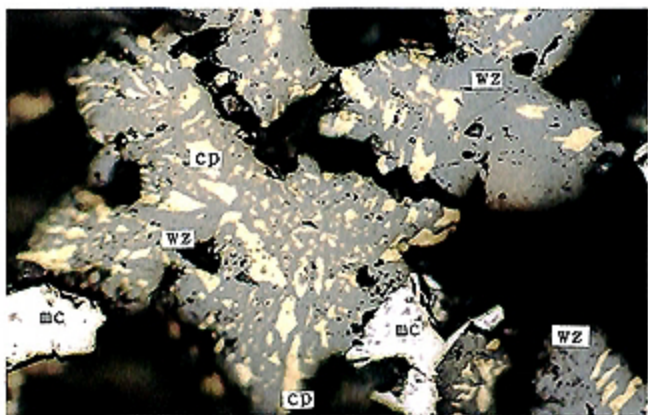


写真 4 伊平屋海嶺北部海丘の活動を停止したチムニー構成鉱石鉱物の鉱石顕微鏡写真。ウルツ鉱 (wz) 中の樹枝状黄銅鉱 (cp)。mc: 白鉄鉱。写真の横幅, 0.25mm

Photo 4 Photomicrograph of ore minerals in a dead chimney from the North Knoll, Iheya Ridge. Dendritic chalcopryrite (cp) in wurtzite (wz). Mc: marcasite. Reflected light. Width 0.25mm.

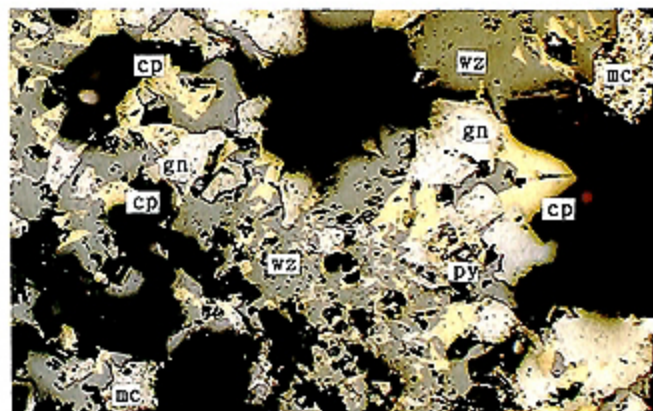


写真 5 伊平屋海嶺北部海丘の活動を停止したチムニー構成鉱石鉱物の鉱石顕微鏡写真。ウルツ鉱 (wz) 中の方鉛鉱 (gn) と黄銅鉱 (cp) の密接な共生。py: 黄鉄鉱, mc: 白鉄鉱。写真の横幅, 0.25mm

Photo 5 Photomicrograph of ore minerals in a dead chimney from the North Knoll, Iheya Ridge. Intimate intergrowth of chalcopyrite (cp) and galena (gn) in wurtzite (wz). py: pyrite, mc: marcasite. Reflected light. Width 0.25mm.

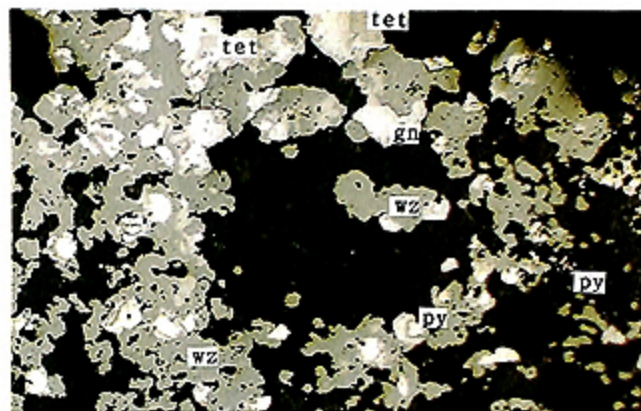


写真 6 伊平屋海嶺北部海丘の活動を停止したチムニー構成鉱石鉱物の鉱石顕微鏡写真。フランボイズウルツ鉱 (wz) と方鉛鉱 (gn)。方鉛鉱の中には四面銅鉱 (tet)。py: 黄鉄鉱。写真の横幅, 0.50mm

Photo 6 Photomicrograph of ore minerals in a dead chimney from the North Knoll, Iheya Ridge. Framboise wurtzite (wz) and galena (gn). Tetrahedrite(tet) in galena. Py: pyrite. Reflected light. Width 0.50mm.

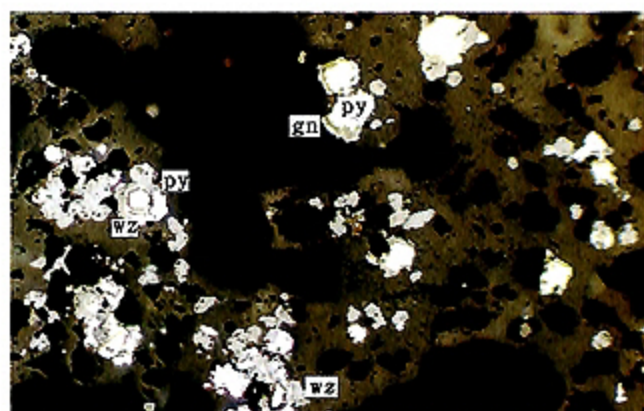


写真 7 伊平屋海嶺北部海丘の活動を停止したチムニー構成鉱石鉱物の鉱石顕微鏡写真。方鉛鉱 (gn) ないしウルツ鉱 (wz) と方鉛鉱の外縁を持つコロフォーム黄鉄鉱 (py)。写真の横幅, 0.50mm

Photo 7 Photomicrograph of ore minerals in a dead chimney from the North Knoll, Iheya Ridge. Colloform pyrite (py) rimmed by galena (gn) or wurtzite (wz) and galena. Reflected light. Width 0.50mm.