

# パプアニューギニア, マヌス海盆における海底 熱水活動の化学的探査 (ManusFlux 航海)

蒲生 俊敬\*<sup>1</sup> 岡村 慶\*<sup>1</sup> ジャンリュック・シャルー\*<sup>2</sup>  
浦辺 徹郎\*<sup>3</sup> ジャンマリー・オーゼンド\*<sup>4</sup>  
ManusFlux 乗船研究者一同\*<sup>5</sup>  
石橋純一郎\*<sup>6</sup> 下島 公紀\*<sup>7</sup> 児玉 幸雄\*<sup>1</sup>

1995年10~11月に行われた「しんかい6500」のマヌス海盆潜航調査(日仏New STARMER計画)の際に、3か所の熱水活動域(Vienna Woods, PACMANUS, および DESMOS Sites)から、初めて高温熱水をまとめて採取し、化学組成を明らかにした。

3か所の熱水は、それぞれ化学的に全く異なる性質を示した。Vienna Woodsの熱水(最高温度302°C)は、玄武岩からなる海底面に林立する硬石膏-硫化物のチムニーから噴きだし、中央海嶺系の熱水と似通った性質を示した。PACMANUS siteでは、石英安山岩の海底から最高温度268°Cのブラックスモーカーが観測された。ここでの熱水は、重金属元素に富み、またKに富みCaに乏しいという、Vienna Woods熱水とは正反対の性質を示した。一方、DESMOS siteの熱水(最高温度120°C)は、低pH(2.1)、高H<sub>2</sub>S(8.9mM)、高SO<sub>4</sub>(32.8mM)という特徴を示し、マグマ起源のSO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>Sの影響をきわめて強く受けた特異な熱水であることが明らかになった。

また、高精度現場型マンガン自動分析装置(GAMOS)を「しんかい6500」にほぼ常時搭載し、熱水域直上のマンガン濃度分布、および熱水ブルームの微細構造の検出に初めて成功した。

キーワード: マヌス背弧海盆, 海底熱水活動, 熱水化学, 現場化学分析

- 
- \* 1 東京大学海洋研究所
  - \* 2 フランス国立海洋開発研究所
  - \* 3 地質調査所
  - \* 4 フランス国立海洋開発研究所ヌーメア支所
  - \* 5 カテル・アンリ, 松林 修, 松本 剛, 仲 二郎, 長屋好治, エテンヌ・ルエラン, カウル・ゲナ, レイ・ビンズ, ロジャー・モス
  - \* 6 東京大学理学部
  - \* 7 電力中央研究所
  - \* 8 Ocean Research Institute, University of Tokyo
  - \* 9 IFREMER/ Centre de Brest
  - \* 10 Geological Survey Japan
  - \* 11 ORSTOM/IFREMER (Noumea)
  - \* 12 Katell Henry, Osamu Matsubayashi, Takeshi Matsumoto, Jiro Naka, Yoshiharu Nagaya, Etienne Ruellan, Kaul Gena, Ray Binns, Roger Moss
  - \* 13 Faculty of Science, University of Tokyo
  - \* 14 Central Research Institute of Electric Power Industry

# Chemical Exploration of Hydrothermal Activity in the Manus Basin, Papua New Guinea (ManusFlux Cruise)

Toshitaka GAMO\*<sup>8</sup> Kei OKAMURA\*<sup>8</sup> Jean-Luc CHARLOU\*<sup>9</sup>  
Tetsuro URABE\*<sup>10</sup> Jean-Marie AUZENDE\*<sup>11</sup>  
Shipboard scientific party of the ManusFlux cruise\*<sup>12</sup>  
Jun-ichiro ISHIBASHI\*<sup>13</sup> Kiminori SHITASHIMA\*<sup>14</sup>  
Yukio KODAMA\*<sup>8</sup>

During the New STARMER ManusFlux Cruise in October to November 1995, 58 hydrothermal fluid samples were successfully recovered for their chemical characterization from the three hydrothermally active sites (Vienna Woods, PACMANUS and DESMOS Sites) in the Manus Basin, Papua New Guinea. The maximum temperatures of hydrothermal fluids from the above three sites were 302, 268, and 120°C, respectively. It was elucidated that the fluid characteristics are completely different among the three sites. The Vienna Woods fluids, erupting from anhydrite-sulfide chimneys on basaltic basement, have similar characteristics to those from mid-oceanic ridges so far reported. The PACMANUS fluids, erupting as black smokers from sulfide chimneys, are rich in K and depleted in Ca, reflecting interaction between the fluids and the host rock of dacite. The DESMOS fluids show unique chemistry of extremely low pH (2.1) and high  $\text{SO}_4^{2-}$  concentration (33mM) accompanied by native sulfur deposition around the vents, suggesting strong magmatic contributions. Besides the fluid sampling and analysis, spatial distribution of dissolved Mn was mapped in detail using an in situ Mn analyzer GAMOS which was attached to "Shinkai 6500" for the first time.

**Key words:** Manus back-arc basin, Submarine hydrothermal activity, Hydrothermal chemistry, In situ chemical measurement

## 1. はじめに

最近の10年たらずの間に、西太平洋の背弧海盆における海底熱水活動の探査、特に熱水の化学的研究は飛躍的に進展した。マリアナトラフ (Craig et al., 1987; Campbell et al., 1987; Gamo et al., 1993a), 沖縄トラフ (Sakai et al., 1990a, 1990b; Gamo et al., 1991; 千葉ほか, 1993; Ishibashi et al., 1995), 北フィジー海盆 (Grimaud et al., 1991; Ishibashi et al., 1994a, 1994b; Ishibashi, 1995), およびラウ海盆 (Fouquet et al., 1991a, 1991b) において200°Cを超える高温熱水が見いだされ、それらの化学組成がつきつぎに明らかになった。東太平洋海嶺や大西洋中央海嶺の熱水系との比較研究が進み、様々な地質学的セッティングにおけるバラエティーに富んだ熱水の性質が解明されつつある (e.g. Gamo,

1995; Ishibashi and Urabe, 1995)。背弧海盆の熱水系による化学フラックスが全球的にみてどの程度の役割を果たしているのか、今後の重要な研究課題である (e.g. 楠生, 1996)。

マヌス海盆は、やはり西太平洋の背弧海盆のひとつで、ニューブリテン島弧-海溝系に属している (図1)。マヌス海盆における海底拡大は、図1に示したように、トランスフォーム断層で区切られた3つのセグメント (Western Manus Spreading Center: WMSC, Manus Spreading Center: MSC, Southeastern Ridges: SER) で起こっていると考えられ、特にMSC南部は、背弧海盆としては最大の拡大速度 ( $10\text{cm y}^{-1}$ ) を持つことが知られている (Taylor, 1979; Taylor et al., 1994; Martinez and Taylor, 1996)。一方SERは、雁行するい

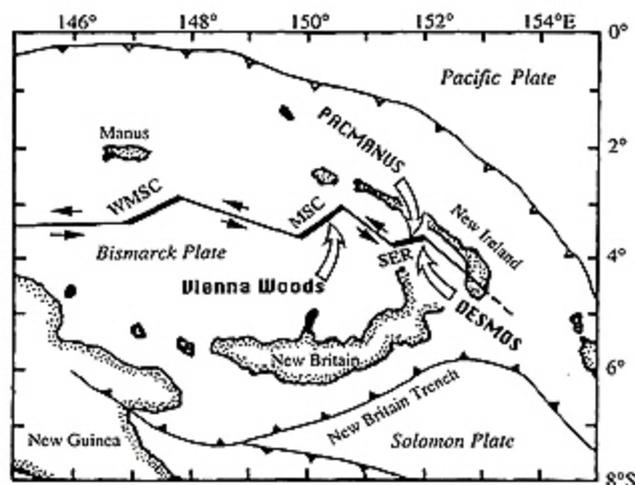


図1 マヌス海盆における3か所の海底熱水系 (Vienna Woods, PACMANUS, DESMOS) の位置

Fig.1 A map showing the location of the three hydrothermal active sites (Vienna Woods, PACMANUS, DESMOS) in the Manus Basin.

くつかの小規模セグメントからなり、まだ海底拡大に至らないストレッチング (stretching) の段階にあると言われる (Taylor et al., 1994; Martinez and Taylor, 1996)。

## 2. マヌス海盆における従来の海底熱水探査

海底熱水活動は、MSCとSERで見つかっている。MSCにおける海底熱水活動は、1986年にドイツのゾンネ号による海底写真観測に捉えられた熱水チムニー、塊状硫化物、熱水性巻貝の大群集などによって初めて明らかにされた (Both et al., 1986; Tufar, 1990)。1990年には、ソ連 (当時) の潜水船「ミール号」が、最高温度275°Cの熱水噴出域 (Vienna Woods Site) を確認した (Lisitsyn et al., 1993)。

一方、SER海域においては、1986年のPAPATUA航海 (米国スクリップス海洋研) の際に、海底上にメタンとヘリウム-3異常 (熱水ブルーム) が見いだされた (Craig and Poreda, 1987)。1990年には東大海洋研究所白鳳丸によるKH-90-3航海によって集中的な観測が行われ (Sakai et al., 1991)、海水中のメタン、マンガ、アルミニウム、およびpH異常に基づいて描かれた詳細な熱水ブルームの分布から、SER海域には少なくとも2か所の熱水噴出域のあることが指摘された (Gamo et al., 1993b)。

このうちの1か所 (DESMOS海穴またはDESMOSカルデラ) は、白鳳丸のシービーム地形探査で見いだされた直径1~2kmのカルデラ状の凹地である (図1)。

CTD付き深海ビデオカメラ探査装置 (DESMOS) (Ohta et al., 1990) を曳航して海底直上を詳しく調査した結果、カルデラ北部斜面において最大0.26°Cの温度異常が検出され、海底面にはハオリムシ群集、およびバクテリアマットのような白色の斑点が確認された。また、同海域からは、きわめて新鮮なガラス層を含む溶岩や、硫化鉄・天然硫黄を含む熱水変質岩などがドレッジ採取された (Ishii et al., 1991)。

一方、SERのもう1か所の熱水系は、1991年にバプアニューギニア、オーストラリアおよびカナダの研究グループによって見いだされ、PACMANUSサイトと名づけられた (図1) (Binns and Scott, 1993; Binns et al., 1995)。

このように、ManusFlux航海前に、マヌス海盆では3か所 (MSCに1か所、SERに2か所) の海底熱水域が確認されていた。しかし、噴出する熱水の化学組成は、MSCのVienna Woods siteのデータ (「ミール号」のわずか1回の潜航で得られた試料) に限られていた (Lisitsyn et al., 1993)。

## 3. 「しんかい6500」による潜航調査と熱水採取

1995年10月から11月にかけて、日仏共同New STARMER計画の一環として、ManusFlux航海が実施され、「しんかい6500」 (海洋科学技術センター) が、上記の3か所の活動域のすべてに潜航した (浦辺・オーゼンドほか, 1996; Auzende et al., 1996)。

いずれの熱水活動域においても、100°Cを超える高温の熱水噴出が観察された。Vienna Woods Site (水深約2,500m) では、玄武岩の海底面に高さ10~15mの硬石膏-硫化物チムニーが林立し、それらの表面 (斜面) から透明ないしわずかに灰色がかった熱水 (観測された最高温度は302°C) が激しく湧出していた (写真1)。PACMANUS Site (水深約1,710m) では、石英安山岩からなる海底面の硫化物チムニーから、最高温度268°Cのブラックスモーカーが観察された。また、DESMOS Site (水深約1,930m) では、最高温度120°Cの白濁した熱水が、海底の割れ目から湧出していた。ここでは、熱水噴出域付近の岩石 (玄武岩) は一部溶脱を受けており、その表面は自然硫黄で覆われていた。

熱水のサンプリングは、東大海洋研のポンプ式熱水採水器 (酒井ほか, 1990; Ishibashi et al., 1995) によって行った (写真2)。熱水吸入口 (外径10φ, 内径8φのチタン管) を「しんかい6500」のマニピュレーターに固定し、マニピュレーターを操作することによって、吸入口を熱

水噴出口の内側にできるだけ差し込むようにして、純粋な熱水の採取に努めた。また、熱水吸入口には、「しんかい 6500」常備の高温用温度計を極力近接して取付け、吸入する熱水の温度を常時「しんかい 6500」船内でモニターした。1回の潜航で、最大 8 本の熱水試料を採取した。

筆頭著者の潜航 (#303) の時のみ、補助的に米国の「アルビン号」で常時用いられているチタン製の注射器型採水器 (Von Damm et al., 1985) を 2 本使用したが、質のよい熱水試料は採取できなかった。また同潜航では、熱水ブルーム試料の採取のために、ニスケン型採水器 (2.7 リットル) を 3 本使用した。

#### 4. 熱水の化学分析

熱水の採取は、合計 8 回の潜航で実施され、バックグラウンド海水やブルーム試料も含め、合計 58 試料が採取された。「よこすか」船上で、pH、アルカリ度、硫化水素 (電位差滴定法)、シリカ、アンモニア (比色分析法)、主要陽イオン:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 、および主要陰イオン:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Br}^-$  (イオンクロマトグラフィー) を分析した。括弧内に示したのは、それぞれの分析方法である。

また、試料の一部を陸上分析のため分取保存した。ヘリウム同位体比測定試料を、鉛ガラス製の容器 (両端にストップコックつき) に分取した。メタンおよび全炭酸分析用試料は、塩化第二水銀の飽和溶液を試料量の 1% 加え、バイアル瓶に密栓して冷暗所に保存した。全炭酸は、クーロメーターで分析した (下島ほか, 1996)。重金属分析試料は、0.45 $\mu\text{m}$  のフィルターでろ過した後、超純硝酸 (TAMAPURE, AA-100) を試料量の 1% 添加して保存した。硫化水素の硫黄同位体比測定のため、試料 30 ml に 2N 酢酸亜鉛水溶液 2ml 添加し、硫化水素を ZnS として持ち帰った。アミノ酸分析用の試料は凍結保存した。その他、処理を加えずに密栓しただけの試料をいくつかの元素の同位体比分析用に持ち帰った。

得られた化学データの一部を図 2 に示す。これまでに得られたデータはまだ取りまとめの途中であるが、マヌス海盆の熱水の化学的特徴として、以下の点が明らかになった (Gamo et al., 1996a-c; 蒲生ほか, 1996f)。

(1) 3 つの活動域で採取した熱水に含まれるヘリウムの同位体比 ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) は、いずれも大気ヘリウムの 7 倍以上というマンツルの同位体比を示し、マンツル物質の存在を明示している (Ishibashi et al., 1996)。しかし、熱水の化学的性質は、以下に述べるように 3 か所で全く異

なっており (図 2)、それぞれ海底下での熱水循環系の形態が異なっていることを示している。

(2) Vienna Woods Site の熱水は、pH: 4~4.5 で、中央海嶺系の熱水と類似した化学的性質を示す。1990 年に潜水船「ミール号」によって採取された熱水の化学組成と比較して大きな違いはなく、この 5 年間はほぼ定常的な熱水活動が継続したと推定される。

(3) PACMANUS Site の熱水は、Vienna Woods Site の熱水に比べて pH が低く (~2.5)、重金属 (Fe, Mn, Zn) や全炭酸の濃度が高い。前述したように、Vienna Woods Site で採取された溶岩は玄武岩質であるのに対し、PACMANUS Site は石英安山岩質である。PACMANUS の熱水が、Vienna Woods 熱水に比べて、K 濃度は高く、一方 Ca 濃度は低い性質を示す (図 2) のは、このような海底岩石の種類の違いを反映していると考えられる (Chiba, 1995)。

(4) DESMOS Site の熱水は、著しく低い pH (2.1) とアルカリ度 (-9.2 mM)、高い  $\text{H}_2\text{S}$  (8.9 mM) および  $\text{SO}_4^{2-}$  (32.8 mM) という、きわめてユニークな性質を持つことが明らかになった。熱水噴出口の周辺には、自然硫黄が沈積している。これらのことから、DESMOS Site の熱水は、陸上で観察される強酸性温泉水 (小坂ほか, 1977; Shinohara et al., 1993; Hedenquist et al., 1994; Hedenquist, 1995) のように、マグマの影響を強く受けていると考えられる。

#### 5. 現場化学分析装置 GAMOS によるマンガン の現場分析

マヌス海盆の潜航調査では、上述したような通常の熱水採取・分析作業に加え、現場化学分析装置によるマンガンの連続自動測定を、全潜航の半数以上の 8 回の潜航で行い、熱水探査のための新しい観測手法として確立させることに成功した。

熱水活動の調査に現場化学分析を適用することは、米国においていくつかの研究例がある (Johnson et al., 1986; Coale et al., 1991)。我が国においても、海水中のシリカや硫化水素をフロースルー方式を用いて比色分析する現場計が開発され (Gamo et al., 1994)、1994 年 8 月に行われた「しんかい 6500」の大西洋中央海嶺 TAG 熱水域潜航調査の際に、熱水起源のシリカを現場測定することに成功した (Gamo et al., 1995)。

今回「しんかい 6500」に搭載したのは、その後新たに開発された現場型マンガン分析装置 (通称 GAMOS: Geochemical Anomalies Monitoring System) (中山ほか

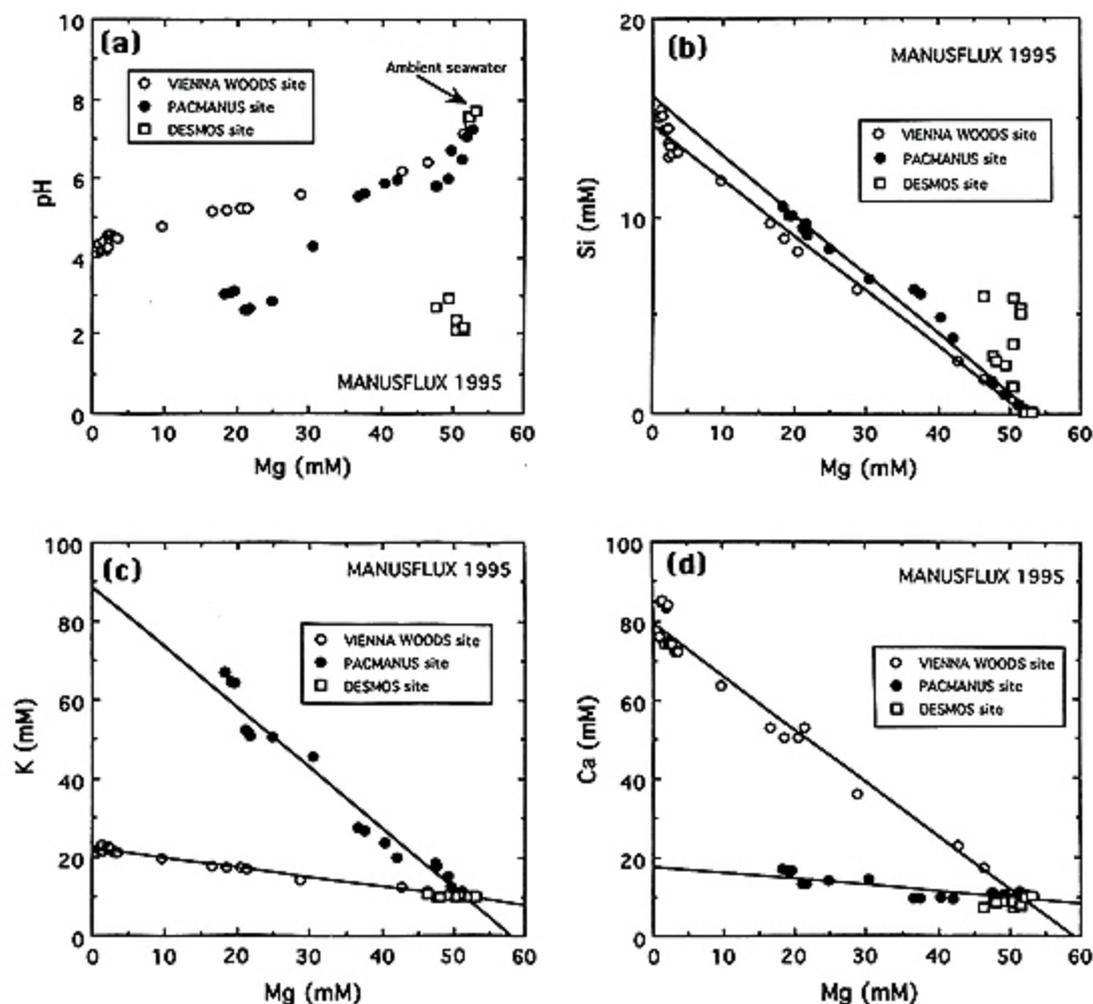


図2 マナス海盆の各熱水域から採取した熱水試料の (a) Mg-pH, (b) Mg-Si, (c) Mg-K, および (d) Mg-Ca の関係  
 Fig. 2 (a) Mg-pH, (b) Mg-Si, (c) Mg-K, and (d) Mg-Ca relationships for the hydrothermal fluid samples taken from the three hydrothermal active sites in the Manus Basin.

か、1995; 岡村ほか, 1996b; Gamo et al., 1996c) である。

マンガンは熱水のトレーサーとして特に有効で、これまでもマナス海盆やインド洋中央海嶺の熱水ブルームの検出に活用されている (Gamo et al., 1993b; Gamo et al., 1996e)。しかし、熱水を採取してそのマンガン濃度を船上で測定する方式では、マンガンの詳細な時空間変動を検出することはできない。マンガンは、ルミノール過酸化水素系の化学発光法を用いることによって、きわめて高精度に分析できる (Nakayama et al., 1989) が、この方法は金属元素に対する選択性が乏しいため、分析前にマンガンの分離濃縮を必要とした。しかし最近、このような前処理を必要としない手法が開発され (岡村ほか, 1995)、現場型マンガン分析装置の製作が可能となった。米国では、すでに現場型マンガン分析装置が実用化

していたが、検出部に比色法を採用しているため、その検出限界は 20 nM 程度と高い (Coale et al., 1991)。しかし本装置は、検出限界が 1nM 以下で、海中のバックグラウンドレベルのマンガンまで検出できる高感度を有している。

本装置を、「しんかい 6500」のサンプルバスケットに固定し (写真 3)、「しんかい 6500」の沈降時、浮上時、および海底面での行動中のすべてを通じて、海水中に溶解するマンガンの濃度を連続自動分析した。

得られたデータの一部を図 3 に示す。図 3 (a) は、PACMANUS Site 付近を「しんかい 6500」が通過したときの、海底直上水のマンガン濃度の変化を連続してプロットしたものである (岡村ほか, 1996a,b)。熱水ベントに接近するにつれ、マンガン濃度は次第に増加する。このような現場データは、「しんかい 6500」船内で常時

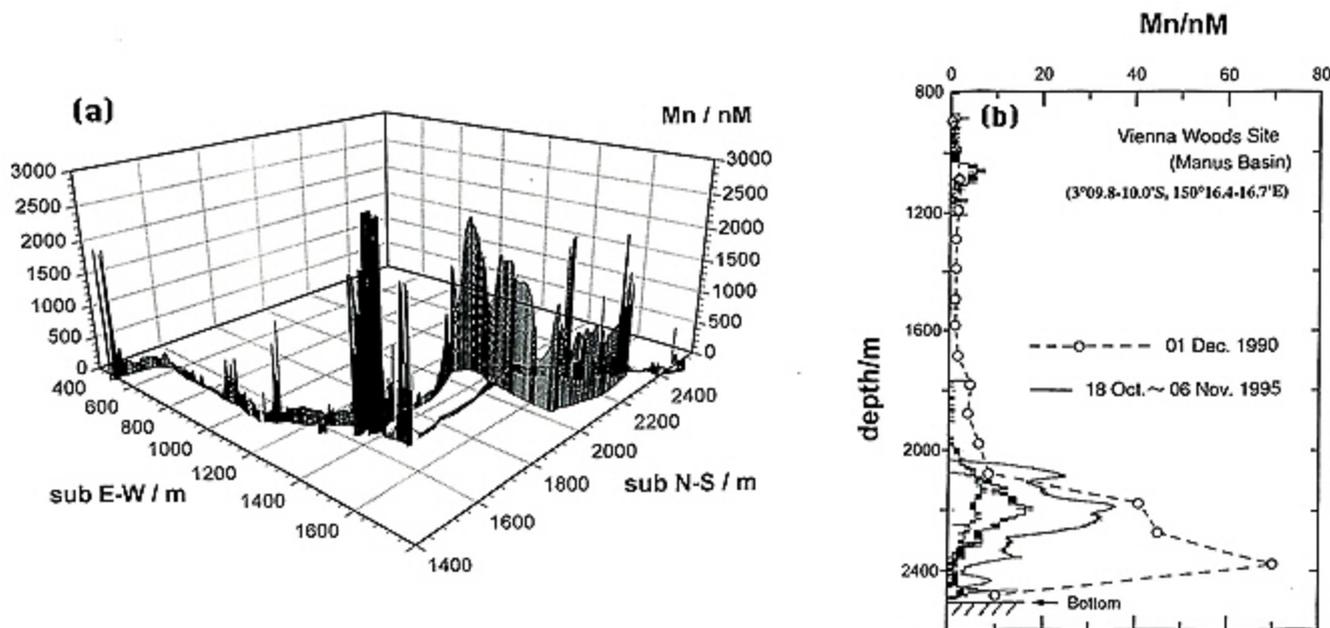


図3 GAMOSによるマンガンの現場分析例。(a) PACMANUS 海域で「しんかい 6500」の航跡に沿って得られた海底直上のマンガン濃度分布、(b) Vienna Woods 海域の熱水ブルームを 1990 年のデータと比較したもの  
 Fig. 3 Examples of in situ Mn measurements with GAMOS. (a) Mn distribution along the tracks of "Shinkai 6500" just above the bottom of the PACMANUS site, (b) hydrothermal plumes above the Vienna Woods site in comparison with the published data in 1990.

モニターすることができ、本装置は、熱水活動を鋭敏に嗅ぎつける有能な「鼻」の役割を演じた。

現場分析装置は、熱水ブルームの検出にも有効である。図3 (b) は、Vienna Woods Site 付近において、1990 年の白鳳丸航海で得たマンガンの濃度分布 (Gamo et al., 1993b) を、今回 GAMOS で得た濃度分布と比較したものである (蒲生ほか, 1996g)。1990 年のデータは採水器で採水した層に限られるので、大まかな濃度分布でしかないが、現場データは、はるかに微細なマンガンの濃度分布を与えている。熱水ブルームの深度や強度が、1990 年と今回の 1995 年との間で、明らかに異なっていることがわかる。また、今回の観測期間中でも、数日の経過で、熱水ブルームの形態に変化が認められる。熱水ブルームの変動は、熱水活動の変動や海底直上の物理的な水の動きを反映している。今後、これらの時間変動を詳細に検知する手段として、現場分析装置が大きく貢献すると期待される。

## 6. おわりに

1995 年の ManusFlux 航海によって、マヌス海盆の 3 か所の熱水活動域から噴出する高温熱水が初めてまとめて採取され、それらの化学的性質の解明および相互比較を初めて行った。Vienna Woods Site のように、中央海

嶺系の熱水とよく似た性質を示す熱水がある一方で、DESMOS Site のように、マグマの影響を強く受けた強酸性の熱水が発見されるなど、狭い海盆内にもかかわらず、熱水の化学は 3 か所の熱水系で全く別々である。今後さらに継続して調査を行い、熱水の性質をさらに詳細に解明するとともに、現場化学分析装置の活用により、熱水活動の時間変動についても明らかにする必要がある。

## 謝 辞

本航海では、「しんかい 6500」の井田司令・今井副司令をはじめとする運航チームの皆様の卓越したアイデアとすぐれた技術力に何回となく助けていただき、ここに深く感謝の意を表します。また、母船「よこすか」の湯川船長以下乗組員の皆様のご協力も、本研究にとって不可欠のものでした。なお本研究は、科学技術庁振興調整費「リッジフラックス計画」、および文部省科研費・試験研究 B の補助を受けて行われました。

## 引用文献

Auzende, J.-M., T. Urabe and Scientific Party (1996): Cruise explores hydrothermal vents of the Manus Basin. EOS, 77 (26), p.244.

- Binns, R.A. and S.D. Scott (1993) : Activity forming polymetallic sulfide deposits associated with felsic volcanic rocks in the eastern Manus back-arc basin, Papua New Guinea. *Econ. Geol.*, **88**, 2226-2236.
- Binns, R.A., J.M. Parr, S.D. Scott, J.B. Gemmell and P. M. Herzig (1995) : PACMANUS : an active seafloor hydrothermal field on siliceous volcanic rocks in the eastern Manus Basin, Papua New Guinea. *Proceedings PACRIM '95*, Auckland NZ.
- Both, R., K. Crook, B. Taylor, S. Broga, B. Chappell, Ed Frankel, L.Liu, J. Sinton and D. Tiffin (1986) : Hydrothermal Chimneys and Associated Fauna in the Manus Back-Arc Basin, Papua New Guinea. *EOS*, **67**, 489-490.
- Campbell, A.C., J.M. Edmond, D. Colodner, M.R. Palmer and K.K. Falkner (1987) : Chemistry of hydrothermal fluids from the Mariana Trough back arc basin in comparison to mid-ocean ridge fluids. *EOS*, **68**, p.1531.
- Chiba, H. (1995) : "Chemical modeling of seawater-rock interaction : effect of rock-type on the fluid chemistry and mineral assemblage." p469-486. In : *Biogeochemical Processes and Ocean Flux in the Western Pacific*. Edited by H. Sakai and Y. Nozaki, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 627pp.
- 千葉 仁・中島和夫・蒲生俊敬・石橋純一郎・角皆潤・酒井 均 (1993) : 沖繩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.
- Coale, K.H., C.S. Chin, G.J. Massoth, K.S. Johnson and E.T. Baker (1991) : In situ chemical mapping of dissolved iron and manganese in hydrothermal plumes. *Nature*, **352**, 325-328.
- Craig, H. and R. Poreda (1987) : Studies of methane and helium in hydrothermal vent plumes, spreading-axis basalts, and volcanic island lavas and gases in southwest Pacific marginal basins. *SIO Reference 87-14*, Scripps Institution of Oceanography, 60pp.
- Craig, H., Y. Horibe and K.A. Farley (1987) : Hydrothermal vents in the Mariana Trough : results of the first Alvin dives. *EOS*, **68**, p.1531.
- Fouquet, Y., U. von Stackelberg, J.L. Charlou, J.P. Donval, J.P. Foucher, J. Erzinger, P. Herzig, R. Muhe, M. Wiedecke, S. Soakai, H. Whitechurch (1991a) : Hydrothermal activity in the Lau back-arc basin : sulfides and water chemistry. *Geology*, **19**, 303-306.
- Fouquet, Y., U. von Stackelberg, J.L. Charlou, J.P. Donval, J.P. Foucher, J. Erzinger, P. Herzig, R. Muhe, M. Wiedecke, S. Soakai and H. Whitechurch (1991b) : Hydrothermal activity and metallogenesis in the Lau back-arc basin. *Nature*, **349**, 778-781.
- Gamo, T. (1995) : "Wide variation of chemical characteristics of submarine hydrothermal fluids due to secondary modification processes after high temperature water-rock interaction : a review." p425-451. In : *Biogeochemical Processes and Ocean Flux in the Western Pacific*. Edited by H. Sakai and Y. Nozaki, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 627pp.
- 蒲生俊敬 (1996) : 海底熱水活動による化学元素の循環. *科学*, **66** (7), 485-491.
- 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. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **107**, 328-338.
- Gamo, T. and the shipboard scientific party of the Y-9204 cruise (1993a) : Revisits to the mid-Mariana Trough hydrothermal site and discovery of new venting in the southern Mariana region by the Japanese submersible Shinkai 6500. *InterRidge News*, **2**, 11-14.
- Gamo, T., H. Sakai, J. Ishibashi, E. Nakayama, K. Isshiki, H. Matsuura, K. Shitashima, K. Takeuchi, and S. Ohta (1993b) : Hydrothermal plumes in the eastern Manus Basin, Bismarck Sea : CH<sub>4</sub>, Mn, Al and pH anomalies. *Deep-Sea Res.*, **40**, 2335-2349.
- Gamo, T., H. Sakai, E. Nakayama, K. Ishida and H. Kimoto (1994) : A submersible flow through analyzer for in situ colorimetric measurement down to 2000m depth in the ocean. *Anal. Sci.*, **10**, 843-848.
- Gamo, T., H. Masuda, H. Chiba and K. Fujioka (1995) :

- In situ flow-through analysis of dissolved silica over the TAG hydrothermal mound, Mid-Atlantic Ridge. *JAMSTEC J. Deep Sea Res.*, 11, 103-110.
- Gamo, T., K. Okamura, J-L. Charlou, T. Urabe, J-M. Auzende, and shipboard scientific party of the ManusFlux Cruise (1996a): Sulfuric acid-rich hydrothermal fluid from the Manus back-arc basin, Papua New Guinea. *Geology*, in press.
- Gamo, T., J. Ishibashi and K. Shitashima (1996b): Reply to Resing and Sansone: Unique hydrothermal fluid from the DESMOS caldera, Manus Basin. *Deep-Sea Res.*, in press.
- Gamo, T., K. Okamura, J. Ishibashi, H. Kimoto and E. Nakayama (1996c): In situ Mn analyzer GAMOS for oceanographic works, particularly for studies on hydrothermal venting and cold seepage. *EOS*, 76 (3), OS102.
- Gamo, T., K. Okamura, Y. Kodama, J-L. Charlou, T. Urabe, J-M. Auzende, Shipboard scientific party of the ManusFlux cruise and J. Ishibashi (1996d) Chemical characteristics of hydrothermal fluids from the Manus back-arc basin, Papua New Guinea, I. Major chemical components. *EOS*, 77 (22), W116.
- Gamo, T., E. Nakayama, K. Shitashima, K. Isshiki, H. Obata, K. Okamura, S. Kanayama, T. Oomori, T. Koizumi, S. Matsumoto and H. Hasumoto (1996e): Hydrothermal plumes at the Rodriguez Triple Junction, Indian Ridge. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 142, 261-275.
- 蒲生俊敬・岡村 慶・J-L. シャルルー・K. アンリ・R. モス・浦辺徹郎・J-M. オーゼンド・ManusFlux 航海乗船研究者一同・石橋純一郎・児玉幸雄(1996f): バブアニューギニア, マヌス背弧海盆における高温熱水の化学的性質. 地球惑星科学関連学会 1996 年合同大会予稿集, p.525.
- 蒲生俊敬・岡村 慶・石橋純一郎 (1996g): 熱水プルームの分布からみた海底熱水活動の時空間変動について. 1996 年度日本地球化学会年会講演要旨集.
- Grimaud, D., J. Ishibashi, Y. Lagabrielle, J-M. Auzende and T. Urabe (1991): Chemistry of hydrothermal fluids from the 17°S active site on the North Fiji Basin Ridge (SW Pacific). *Chem. Geol.*, 93, 209-218.
- Hedenquist, J.W., M. Aoki and H. Shinohara (1994): Flux of volatiles and ore-forming metals from the magmatic-hydrothermal system of Satsuma Iwojima volcano. *Geology*, 22, 585-588.
- Hedenquist, J.W. (1995): "The ascent of magmatic fluid: discharge versus mineralization." p263-289. In: *Magmas, Fluids, and Ore Deposits: Mineralogical Association of Canada, Short Course, Vol. 23*. Edited by J.F.H. Thompson.
- Ishibashi, J. (1995): "Geochemistry of phase-separated hydrothermal fluids of the North Fiji Basin, Southwest Pacific." p453-467. In: *Biogeochemical Processes and Ocean Flux in the Western Pacific*. Edited by H. Sakai and Y. Nozaki, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 627 pp.
- Ishibashi, J. and T. Urabe (1995): "Hydrothermal activity related to arc-backarc magmatism in the western Pacific." p451-495. In: *Backarc Basins (Tectonics and Magmatism)*. Edited by B. Taylor, Plenum Press, New York, 524pp.
- Ishibashi, J., D. Grimaud, Y. Nojiri, J-M. Auzende and T. Urabe (1994a): Fluctuation of chemical components of the phase-separated hydrothermal fluid from the North Fiji Basin Ridge. *Mar. Geol.*, 116, 215-226.
- Ishibashi, J., H. Wakita, Y. Nojiri, D. Grimaud, P. Jean-Baptiste, T. Gamo, J-M. Auzende and T. Urabe (1994b): Helium and carbon geochemistry of hydrothermal fluids from the North Fiji Basin spreading ridge (southwest Pacific). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 128, 183-197.
- Ishibashi, J., Y. Sano, H. Wakita, T. Gamo, M. Tsutsumi and H. Sakai (1995): Helium and carbon geochemistry of hydrothermal fluids from the Mid-Okinawa Trough back arc basin, southwest of Japan. *Chem. Geol.*, 123, 1-15.
- Ishibashi, J., H. Wakita, K. Okamura, T. Gamo, K. Shitashima, J-L. Charlou, J.P. Donval, P. Jean-Baptiste and Shipboard Scientific party of the ManusFlux cruise (1996): Chemical characteristics of hydrothermal fluids from the Manus back-arc basin, Papua New Guinea, II. Gas components. *EOS*, 77 (22), W116.

- Ishii, T., T. Oomori, I. Bugave, T. Sakamoto, H. Masuda, H. Sakai and S. Ohta (1991): Dredged rocks from the East Manus Basin during KH90-3. Leg II. Abstracts for the 1991 Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting, p.188.
- Johnson, K.S., C.L. Beehler, C.M. Sakamoto-Arnold and J.J. Childress (1986): In situ measurements of chemical distributions in a deep-sea hydrothermal vent field. *Science*, 231, 1139-1141.
- Lisitsyn, A.P., K.A.W. Crook, Yu. A. Bogdanov, L.P. Zonenshayn, K.G. Murav'yev, W. Tufar, Ye.G. Gurvich, V.V. Gordeyev and G.V. Ivanov (1993): A hydrothermal field in the rift zone of the Manus Basin, Bismarck Sea. *Internat. Geol. Rev.*, 35, 105-126.
- Martinez, F. and B. Taylor (1996): "Fast backarc spreading, rifting and microplate rotation between transform faults in the Manus Basin, Bismarck Sea." p 1-3. In: *Mar. Geophys. Res., Spec. Iss.*, 18. Edited by J-M. Auzende and J-Y. Collot.
- Nakayama, E., K. Isshiki, Y. Sohrin and H. Karatani (1989): Automated determination of manganese in seawater by electrolytic concentration and chemiluminescence detection. *Anal. Chem.*, 61, 1392-1396.
- 中山英一郎・岡村 慶・蒲生俊敬・野崎義行・石橋純一郎・小畑 元・柄谷 肇・能勢義昭・浦 環・紀本英志・紀本岳志 (1995): 深海曳航型鉄 (II), 鉄 (III), マンガン (II) 自動分析装置の開発. 日本分析化学会第 44 回年会講演予稿集.
- Ohta, S., M. Watanabe, T. Gamo and D. Kim (1990): "DESMOS (Deep-Sea Multi-monitoring System) operations in the eastern and central Manus backarc basin." p31-40. In: Preliminary report of the Hakuho Maru Cruise KH-90-3. Edited by H. Sakai, Ocean Research Institute, 92 pp. (Unpublished)
- 岡村 慶・蒲生俊敬・野崎義行・小畑 元・柄谷 肇・丸尾雅啓・中山英一郎 (1995): ルミノール・過酸化水素系の化学発光法を用いた, 淡水・海水中的鉄 (II), 鉄 (III), マンガン (II) の直接定量法の開発. 日本分析化学会第 44 回年会講演予稿集.
- 岡村 慶・蒲生俊敬・J-M. オーゼンド・浦辺徹郎・ManusFlux 乗船研究者一同 (1996a): 現場型化学成分分析装置: GAMOS (Geochemical Anomalies Monitoring System) を用いた, マナス海盆熱水域における溶存態マンガンの現場分析について. 地球惑星科学関連学会 1996 年合同大会予稿集, p.524.
- 岡村 慶・蒲生俊敬・石橋純一郎・紀本英志・中山英一郎 (1996b): 現場型化学成分分析装置 GAMOS (Geochemical Anomalies Monitoring System) の開発とその熱水, 冷湧水活動域調査への応用. 日本海洋学会 1996 春季大会講演予稿集.
- 小坂丈予・大平洋子・平林順一・森 彰 (1977): 海中で生成したシリカーアルミナ含水低結晶物質と沈殿アロフェンとの比較. *鉱物学雑誌 (特別号)*, 13, 178-186.
- Sakai, H., T. Gamo, E-S. Kim, M. Tsutsumi, T. Tanaka, J. Ishibashi, H. Wakita, M. Yamano and T. Oomori (1990a): Venting of carbon dioxide-rich fluid and hydrate formation in mid-Okinawa Trough backarc basin. *Science*, 248, 1093-1096.
- 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 (1990b): Unique chemistry of the hydrothermal solution in the mid-Okinawa Trough backarc basin. *Geophys. Res. Lett.*, 17, 2133-2136.
- Sakai, H., T. Gamo and the KH90-3 scientific crew (1991): Hydrothermal activity in the eastern Manus Basin, Bismarck Sea: A brief report of the Hakuho-Maru Cruise KH90-3, Leg 2. *Ridge Events*, 2, p.39.
- 酒井 均・山野 誠・田中武男・蒲生俊敬・金 銀洙・石橋純一郎・下島公紀・松本 剛・大森 保・柳澤文孝・堤 眞 (1990): 「しんかい 2000」による伊是名海穴熱水系の地球化学的研究—第 413 回及び第 415 回潜航報告, 及び第 424 回潜航で採取した二酸化炭素液泡と包接化合物について. 「しんかい 2000」研究シンポジウム報告書, 6, 6-85.
- Shinohara, H., W.R. Giggenbach, K. Kazahaya and J. W. Hedenquist (1993): Geochemistry of volcanic gases and hot springs of Satsuma-Iwojima, Japan: Following Matsuo. *Geochem. J.*, 27, 271-285.

- 下島公紀・蒲生俊敬・岡村 慶・ManusFlux 乗船研究者 (1996) : マヌス海盆の熱水の全炭酸. 1996 年度日本地球化学会年会講演要旨集.
- Taylor, B. (1979) : Bismarck Sea : Evolution of a back-arc basin. *Geology*, 7, 171-174.
- Taylor, B., K. Crook and J. Sinton (1994) : Extensional transform zone and oblique spreading centers. *J. Geophys. Res.*, 99, 19707-19718.
- Tufar, W. (1990) : Modern hydrothermal activity, formation of complex massive sulfide deposits and associated vent communities in the Manus back-arc basin (Bismarck Sea, Papua New Guinea). *Mitt. osterr. geol. Ges.*, 22, 183-210.
- 浦辺徹郎・J-M. オーゼンド・ManusFlux 航海乗船研究者一同 (1996) : 高イオウ型浅熱水性および黒鉍型熱水系の発見—しんかい 6500/よこすかマヌス海盆潜航結果速報. 地球惑星科学関連学会 1996 年合同大会予稿集, p.522.
- Von Damm, K.L., J.M. Edmond, B. Grant, C.I. Measures, B. Walden and R.F. Weiss (1985) : Chemistry of submarine hydrothermal solutions at 21°N, East Pacific Rise. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 2197-2220.

(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 Vienna Woods Site における高温熱水の噴出 (潜航 #303)

Photo 1 Hot fluid venting at the Vienna Woods site ("Shinkai 6500" dive #303).

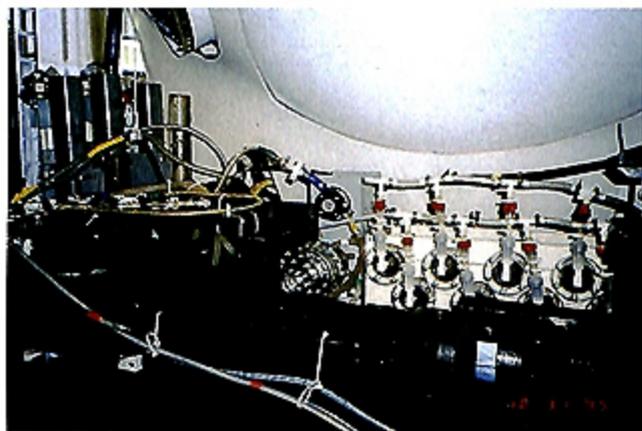


写真 2 「しんかい 6500」耐圧殻下側に取付けた東大海洋研式熱水採水システム

Photo 2 The ORI pump-manifold sampling system installed under the pressure hull of "Shinkai 6500".

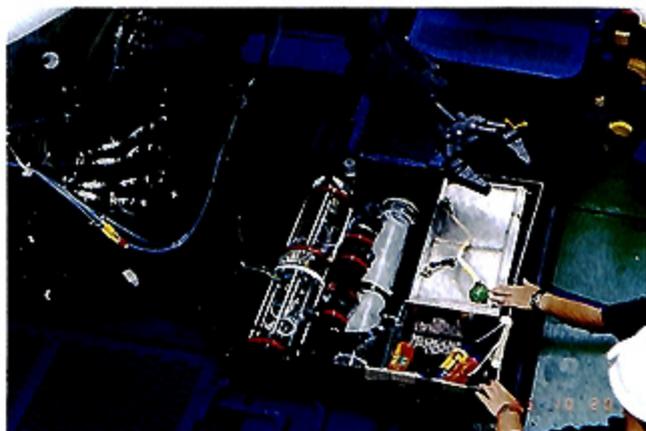


写真 3 「しんかい 6500」サンプルバスケットに取付けた現場型マンガン分析装置 GAMOS

Photo 3 The in situ Mn analyzer GAMOS attached inside the sample basket of "Shinkai 6500".