

超高速拡大軸である東太平洋海膨南部における海底長期観測ステーションの設置について

浦辺 徹郎*1 藤岡換太郎*2 満沢 巨彦*2
Ridge Flux '97 航海参加研究者*3

科学技術振興調整費課題「海嶺におけるエネルギー・物質フラックスに関する国際共同研究」(リッジフラックス計画)により平成9年度に行われた、「よこすか/しんかい6500」東太平洋海膨航海(YK97-05, 06)の第1の目的は、超高速拡大海嶺におけるマグマ・熱水活動、及び拡大現象を1年にわたり観測するための様々な機器を海底に設置し、海嶺の熱収支、物質収支を明らかにすることにあつた。当航海ではRM24サイト(17°25'S, 113°12'W)、RM23サイト(17°34'S, 113°15'W)及びRM28サイト(18°26'S, 113°23'W)に合計39台の機器からなる長期観測網を構築した。このような学際的かつ大規模な海底長期ステーションは世界初の試みであり、1年後の平成10年9月に計画されている機器及びデータの回収が待たれる。

キーワード：中央海嶺、東太平洋海膨、海底熱水活動、海底長期観測、リッジフラックス

Installation of Long-term Monitoring Stations at the Superfast-Spreading Southern East Pacific Rise

Tetsuro URABE*4 Kantaro FUJIOKA*5 Kyohiko MITSUZAWA*5
On-board Scientific Party of the Ridge Flux '97 Cruise*6

The Ridge Flux Group of Japan installed multi-disciplinary, long-term monitoring stations at the sea floor of superfast-spreading (>14 cm/year) southern East Pacific Rise (SEPR) during recent Shinkai 6500/ Yokosuka Ridge Flux '97 EPR Cruise which was conducted in two legs between July 10 and September 19, 1997. The sites we selected are RM28 (18°26'S) and RM23/24 (17°25'-32'S). These stations are composed of 39 instruments in total (Table 3) which will monitor thermal regimes of the ridge, mode of spreading, relationship between magmatism and hydrothermal activity, seismicity and others for a period of one year.

Keywords: Mid-ocean ridge, East Pacific Rise, Long-term Monitoring, Sea floor hydrothermal, Ridge Flux

*1 地質調査所首席研究官

*2 海洋科学技術センター深海研究部

*3 表1参照

*4 Geological Survey of Japan

*5 Deep Sea Research Department, JAMSTEC

*6 Table 1

1. はじめに

1980年半ばまでは中速～超高速拡大の中央海嶺は、基本的に2次元的な構造を持つと考えられていた。つまり海嶺の構造はトランスフォーム断層の付近を除いて軸方向にあまり変化せず、マグマの上昇は海嶺に沿って板状に起こっているとされたのである。しかしMacDonald et al. (1988)は海嶺は重複拡大軸 (OSC) やわずかな“直線からのずれ” (deval) などで区切られており、それらひとつひとつがマントル内のマグマ上昇ゾーンに対応した、セグメントと呼ばれる個々の海嶺火山体であると主張した。1990年代に入ると、セグメント毎にマグマ供給と熱水活動との間に密接なカップリングがあることが明らかにされた (Haymon, 1996)。これらを説明するには、海嶺に直交する断面上での2次元的な対流を考えた従来の海嶺の熱水循環のモデル (Wolery and Sleep, 1976など) は正確ではなく、拡大軸に平行な方向の熱水循環がより重要であるとしたほうが考えやすい (Haymon, 1996)。

最近、ファンデフーカ海嶺 (Juan de Fuca Ridge; JdFR) のCleft セグメント、東太平洋海膨 (East Pacific Rise; EPR) 9°N 及び、JdFRのCoAxial セグメントなどにおいて、新しく海底噴火が起こったことが探知された (Embley ほか, 1996 参照) が、この噴火に引き続いて、いずれの場所においても海底熱水の急激な噴出現象が見られた。海底熱水活動は定常的ではなく、激しく塩濃度や化学組成を変化させている (Von Damm, 1997)。高速ないし超高速拡大海嶺においては、この熱水の性質の変化は数ヶ月から数年単位で起こっており (Baker et al., 1998)、海底熱水系は人間が観察しうる程度の期間内では安定不変であるとするこれまでの考え方は完全に打ち砕かれた。

海嶺での熱水循環は単なる熱水噴出現象に留まらず、海洋リソスフェアの冷却に重要な働きをしており、海洋地殻の生成を左右する重要な要素である (Humphris, 1995)。このように、中速～超高速拡大海嶺においては海洋底拡大などのテクトニクス、マグマ活動、及び熱水活動が相互に密接に関連しており、しかもそれが数ヶ月から数年の単位で進化するものであるとの認識が、この2-3年の間に急速に研究者の間に広まっている。

しかし様々な制約から、上記の新しい噴火地点においても、本格的な連続観測や長期観測は行われておらず、何度も調査船を出して繰り返し観測をするに留まっている。そこで、我々はこのような海嶺におけるダイナミクスの変化を実際に現場で長期観測しようと計画した。これが科学技術振興調整費課題「海嶺におけるエネルギー・物質フラックスに関する国際共同研究」(リッジフ

ラックス計画:平成5-平成10年度)の第2期の主な目標である。このような考えは1990年頃から米国のRIDGE計画、世界の22カ国が参加するInterRidge計画 (国際海嶺共同研究計画)でも出されていたが、我が国が先鞭を切るかたちとなった (Urabe et al., 1998, 藤岡ほか, 1998)。つまりこのような総合的・学際的な海底連続観測は世界で初めての試みであり、我々のグループが取り組んできた機器開発の成果が問われている。本報ではそれらの機器の設置について概要を報告する。

この設置に当たっては、しんかい6500チームの井田指令、今井副司令及びチーム員の方々、よこすかの石田船長、石渡一等航海士、及び機関部・甲板部の方々に、ひとかたならぬお世話になった。「かいこう」が撤去された後のよこすかの広い格納庫いっぱいに積み込まれたさまざまな観測機器を、毎日異なった方法で投入して行くという困難な作業を肅々とこなされた皆さまの努力と技術と経験に心から尊敬の念を表したい。

2. これまでの航海

リッジフラックス計画では、これまでに南部東太平洋海膨 (図1) において4回の調査航海を実施してきた (表2)。1993年のメルビル号航海では、南部東太平洋海膨における熱水活動の頻度と規模を知るために、南緯13度30分から18度40分までの海膨中軸部に沿って、熱水による異常水塊 (熱水ブルーム) の分布を検知した (Urabe et al., 1995)。またブルーム中の海水を採水し、ろ過された浮遊粒子状物質に対する蛍光X線分析装置による分析を行った。ブルーム中の粒子状物質の化学組成は揮発性成分に富むものと、非揮発性成分に富むものとに大別される (Feely et al., 1996)。前者はマグマからの脱ガスが付加されているもので、この海域での活発なマグマ活動が判明した。熱水ブルーム中に含まれている微細粒子の多くはバクテリアないし水酸化鉄と硫黄である。これらのバリエーションはあるものの、総合すると南部東太平洋海膨 (EPR) からは世界最大の熱及び物質フラックスが放出されていることが判明した (Baker and Urabe, 1996)。

1994年に同海域において「しんかい6500」による30回の潜航を行った結果、熱水ブルームの直下にブラックスモーカーで代表される高温の熱水活動3ヶ所と、低温の広範な熱水活動1ヶ所が発見された (浦辺, 1996)。熱水活動はマグマ活動の指標である海嶺の膨張 (幅が広がること) が見られる所にのみ存在し (図1)、マグマ活動と熱水活動との密接な関係が明らかになった。熱水は

表1 RidgeFlux'97航海参加研究者及びその所属。＊首席研究員

第1 レグ	浦辺徹郎＊(1)、満沢巨彦(2)、藤本博巳(3)、松林 修(1)、西村清和(1)、 中村光一(1)、長屋好治(4)、津竹大輔(5)、佐柳敬造(1)、望月将志(6)、 岡村 慶(3)、菅原敏勝(7)、Thierry TONNERRE(1)、Martin WALKER(8)
第2 レグ	藤岡換太郎＊(2)、満沢巨彦(2)、柴田次夫(9)、上嶋正人(1)、木下正高(10)、 丸山明彦(11)、伊藤 希(12)、石橋純一郎(13)、下島公紀(5)、James COWEN(14)、Kevin ROE(15)、坂本 泉(2)、岡村 慶(3)、小寺 透(7)、
所属	1.地質調査所、2.海洋科学技術センター深海研究部、3.東京大学海洋研究所、4.海 上保安庁水路部、5.電力中央研究所、6.東京大学地震研究所、7.日本海事、 8.Univ.of Cambridge、9.岡山大学理学部、10.東海大学海洋学部、11.生命工学工業 技術研究所、12.筑波大学生物科学系、13.東京大学理学部、14.Univ.of Hawaii、 15.NOAA/PMEL

表2 リッジフラックス計画により南部東太平洋海嶺で行われた航海(本年度の航海は予定)

航海年月日	船 名	主な目的
1993年11月23日～12月30日	メルビル号	熱水活動の広域分布調査
1994年 9月14日～10月19日	よこすか／しんかい6500	熱水域の探索・潜航調査
1994年10月25日～11月29日	よこすか／しんかい6500	熱水域における試料採取
1995年10月28日～12月 6日	ジャイル号／タムスクエア	高精度地形マッピング
1997年 7月10日～ 8月13日	よこすか／しんかい6500	長期観測機器の設置
1997年 8月17日～ 9月19日	よこすか／しんかい6500	長期観測機器の設置
1998年 9月 6日～10月 6日	アトランティス／アルビン	機器の回収と時系列調査

ブルームの組成に対応して揮発性成分に富むものと、非揮発性成分に富むものとに分かれるが、これもマグマ活動の直接の影響を示している(Ishibashi et al., 1997)。

1995年の航海ではマグマ噴出の平面的分布を調べるため、高精度サイドスキャンソナー測深機であるタムスクエア装置を用いて、海域全体のマッピングを行なった。この装置は微細な海底地形図を作製するだけでなく、反射強度の強さや模様により海底の地質も判別できる。この結果、海嶺軸から離れたところに活動的な火山が分布すること、また海嶺における海底拡大のメカニズムを説明する手掛かりとなる、断層があることが明かとなった(Kisimoto and Hilde, 1997)。

1997年にはそれらの成果を元に、2回の「よこすか／しんかい6500」東太平洋海嶺航海(YK97-05レグ及び06レグ)を計画した。この航海の目的は、超高速拡大海嶺におけるマグマ・熱水活動、及び拡大現象を1年にわたり観測するための様々な機器を海底に設置し、海嶺の熱収支・物質収支を明らかにすることにあつた。さらに本航海ではタムスクエア画像の有効性を検証するため、しんかいの水深計の値と海底からの高度計の値を加えた、潜航トラッケゾいの地形の凹凸と、タムスクエアの水深図とのマッチングを行なった。両者は良い一致を示し(Tonnerre et al., 1997)、さらに反射強度画像には、幅20メートル以下の海嶺軸間地等がくっきり写っているなど

海底の状況や地質を知ることができるので、潜航計画立案や安全確保に極めて有効であることが証明された。

これらの航海では、岩石、鉱石、熱水、微生物などの試料のほか、重力、磁力、地震、地形、海底映像などのデータが数多く得られている。これらについては別に報告の予定である。

3. 長期観測ステーションの設置サイトについて

今回の航海では3つの熱水サイトを選んで、機器の設置を行った。北から、RM24サイト(17°25'S, 113°12'W)、RM23サイト(17°34'S, 113°15'W)、及びRM28サイト(18°26'S, 113°23'W)である。以下にそれぞれのサイトの特徴を述べる。なおRMというのはRidge Melvilleの略で、メルビル航海の時に熱水ブルームが発見された地点を示している。

3.1. RM24サイト(17°25'S, 113°12'W: 水深2,590-2,600m):

ここは海嶺軸の水深が最も浅く、かつ海嶺マグマ溜まりが最も浅所(海底下800m)に存在し(Detrick et al., 1987)、1990年以降に新期溶岩(以下L-0と呼ぶ)の流出があつたと思われるサイトである。地形は緩やかな上に凸の尾根になっており、陥没構造を除くと、割れ目や断層が全く見られない。L-0溶岩は稜線の両側に流れ下

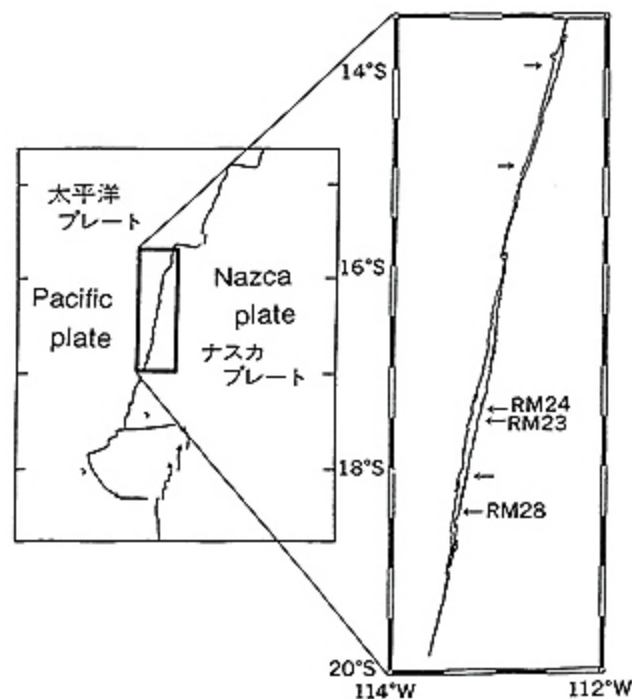


図1 南部東太平洋海嶺 (EPR) と長期観測ステーションの設置地点。この海嶺の水深は2,600-2,650mと極めて一定であるので、2,800mの等深線で海嶺軸の幅を示している。→は1997年に潜水調査が行われたサイト。

Fig. 1 Location map of the sea floor observatory sites on Southern East Pacific Rise. The axial depth of the rise is fairly constant and is between 2,600m and 2,650m. Depth contour of 2,800m is drawn to show the width of the rise axis. Arrows indicate hydrothermal sites investigated during Shinkai 6500 dive in 1997.

っているのが見られるが、熱水活動は西側斜面に限られ、東側には見られない。この北側にはフランスの潜水艇ノチール号によりブラックスモーカー及び低温の熱水活動が知られていたが (Auzende et al., 1995)、今回の潜航により、その南にこれまで知られていなかった高温 (Kaminari, Matsu, Sakura and Kohei Sites) 及び低温 (Oasis Site) の熱水サイトを発見した (図2, 写真1)。

タムスクエアの画像によると、ここには稜線に沿って直線的な海嶺軸グラーベン (axial graben) がみられる。実際に潜航してみると、そのグラーベン是非常に新鮮なシート状L-0溶岩流 (sheet lava) 中に存在する幅10m~30m、深さ1-5m、長さ数kmの陥没地形であり、ここがL-0溶岩の流出割れ目であったと考えられる。しかし、グラーベンの中には1カ所の例外 (Sakura Site) を除いて高温の活動は見られず、かつてそれが存在した兆候もない。上記の熱水活動はその西側に分布する、やはり非常に新鮮な平らな形態のL-0枕状溶岩 (lobate pillow lava; ロープ状枕状溶岩) のマウンドの活動に伴っ

ている。また、シンカイウナギ、ゲンゲ (魚)、ソコダラ、コシオリエビ、ユノハナガニ、コベボータ (小型甲殻類)、イソギンチャク、シロウリガイ、シンカイヒバリガイ、ゴカイ、などの豊かな生態系を伴う低温のOasisサイトが1世代前のシート状溶岩 (L-1) の陥没溶岩湖の中に見られた。この溶岩は深さ3-5m、直径数10mの陥没構造を持っており、厚さ数cm以下の堆積物に覆われ、さらにL-0溶岩流により北部、東部、及び南部を覆われている。この低温熱水は海水に比して塩濃度が低く (Butterfield et al., 1997)、熱水が地下でvaporとbrineに2相分離した後、vapor相が選択的に上昇してきたものと考えられる。このような熱水の組成は、通常マグマ活動の直後にのみ見られる (Von Damm et al., 1995) ことから、高温のサイト同様L-0溶岩をもたらした新期マグマ活動に伴っているものと思われる。

3.2. RM23 サイト (17°34'S, 113°15'W : 水深 2,610-2,620m) :

ここはRM24に隣接したサイトで、海嶺の尾根沿いに20kmほど南下した地点である。メルビル号の調査でイオウやバクテリアに最も富む最大、最高濃度のブルームが見つかった場所で、メルビル号調査の2-3前に溶岩噴出があったのではないかと推定される所である。地形的特徴はRM24に類似するが、より大規模な陥没溶岩湖が軸方向に並んで連続的に発達している。やはり割れ目や断層は見られない。今回の潜航でこれら2カ所のサイトは連続したL-0溶岩流により幅100-400m、長さ30kmにわたり覆われていることが分かった。ここではロープ状枕状溶岩流の中に発達した陥没溶岩湖の深さが5m程度と深く、もともとの溶岩流の厚さは南ほど厚いようである。厳密に1回の噴火でこれだけの溶岩が噴出したかどうかは分からないが、火山ガラスが非常に新鮮であることや、ごく薄い堆積物のカバーから判断して、一連の噴火でできたものであることは間違いない (写真3)。なお海嶺マグマ溜まりが最も浅いこの地域では、噴火活動のサイクルは数年と思われるが、1990年頃に噴火したと考えられるL-0溶岩より新しいマグマ活動は観察されなかった。

今回このサイトの低温熱水活動の寿命が非常に短く、数年程度であることが分かった。1994年にしんかいで潜航したときは、L-0溶岩流の軸部に沿ってほぼ500m毎に数百mから1kmの長さにわたって直線的に伸びた広汎な低温熱水活動 (最高温度6℃) とそれに伴うシンカイウナギ、ソコダラ、コシオリエビ、ユノハナガニ、コ

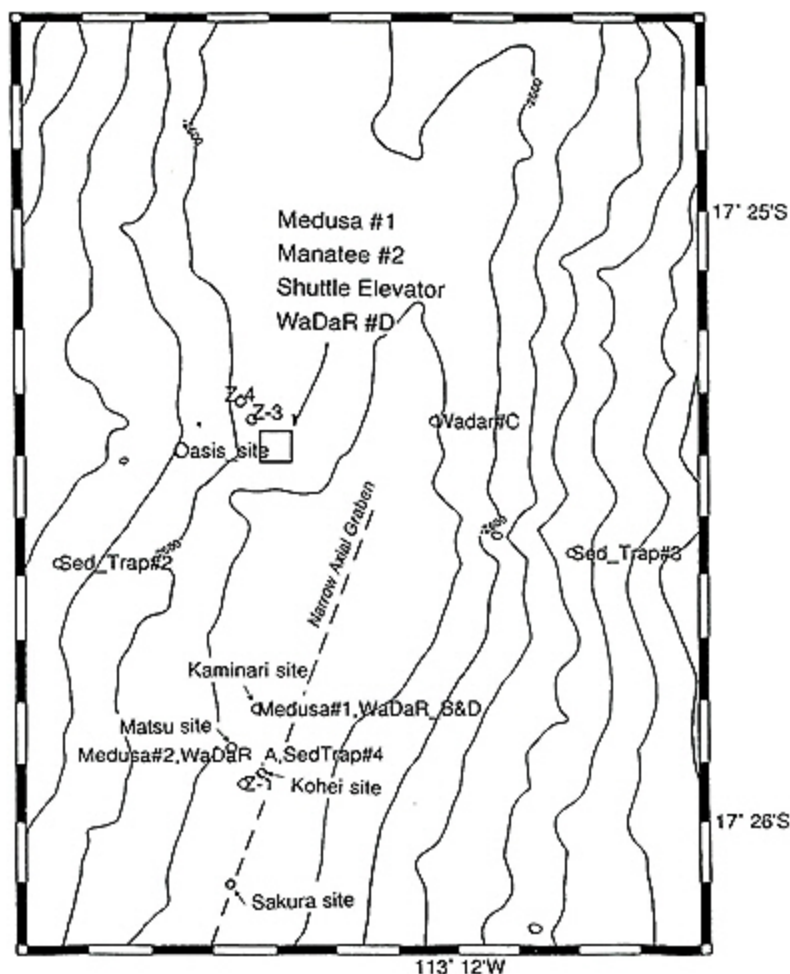


図2 RM24サイトの地形と機器設置点。緩やかな凸型の尾根になっており、尾根は南北に深くなっている。Zは座布団型熱流量計の設置位置。

Fig. 2 Topography and the location of deployed instruments of the RM24 observatory site, Southern East Pacific Rise. The rise axis shoals in the middle of this area. Z denotes the heat flow sensor.

ペポータ、イソギンチャク、チューブワーム、ゴカイ、などからなる生物コロニーが見られたが、今回イソギンチャクやゴカイを除いて、コロニーがほとんど死に絶えている事が確認された（写真4-A,B）。

ここには高温熱水活動は見られない。1994年には低温の熱水が枕状溶岩のすき間の幅10 cm 程度の割れ目や、枕状溶岩の中身が流れ去ってできた陥没孔から、わずかに白濁した熱水が数多く湧出しているのが観察された。熱水の循環する割れ目をマグマがすべて埋めてしまい、熱水系が発達しないためであろうと考えられる。

3.3. RM28サイト(18°26'S, 113°23'W) :

ここは重金属成分と揮発性成分の両方が高い熱水ブルームが見られたサイトで、94年の潜航調査で海嶺中軸谷中に高温（Kasuga site など）及び低温（Asuka site など）

の熱水活動が多数観測されている。観測されたブラックスモーカーの最高温度は372℃で、これらは海嶺軸に平行に走る東側の正断層に沿って分布していた。生態系はRM23サイトほど濃密ではないが、イソギンチャク、コシオリエビ、チューブワーム、ソコダラなどが密に見られた。

ここは海嶺が全体に浅く盛り上がり、メルビルで調査された海嶺の内最も膨張しているところである（図1）。海嶺の頂上に小規模な中軸谷が発達しており、中軸谷の深さは50-70m、幅は500-1,000mで、両側を正断層群により切られている。この地形からテクトニック期にある（Auzende et al., 1996）と思われていたが、1994年当時のブラックスモーカー熱水の塩濃度は海水のそれより低かったのが97年には海水より濃くなっており（Butterfield et al., 1997, 石橋ほか, 1998）、海底には噴出していない

ものの、最近マグマ活動があったことが推定される。つまり、海底地形だけからマグマ活動期、テクトニック期という判断をすることはできないらしい。

このサイトでは、東側の中軸谷の壁に沿って、94年から97年の間に斜面崩壊が起こっており、チムニーが破壊・再成長しているなど熱水域の様相が大きく変化していた（写真5）。今回それらの動きを観測するため、測距計、傾斜計、海底地震計などからなる観測網を構築した。

4. 機器の設置について

今回の行動では海域が冬期にあたり天候が悪いこと、日照時間が短いため甲板作業ができる時間が短いこと、しかも予備日が各レグで1日ずつしかないことが航海前からの問題であった。実際、第1レグでは7月10日にバベータを出港してからは荒天に悩まされ、7月17日調査海域（RM28）に到着するまで強風が続いた。しかしその後天候が回復し、8月6日までに予定通り15回の潜航を完了した。しかし第2レグでは9回の潜航を終えた時点で風浪が強くなり、毎日待機の状態が続いたがついに天候は回復しなかった（表4）。この間、船側及びしんか

いチームの献身的なご協力もあって機器の設置は順調に進み、結果として合計39個もの機器を海底に設置することができた。ただし、光ファイバ分布型温度計だけは投入直前になって船上修理が不能な故障が発見され、設置を見合わせざるを得なかった。これについては1998年の航海で半年間設置を行なう予定にしている。なお9個の機器は予定通りレグ終了時まで回収した。

今回の行動では、「しんかい6500」の新しいマニピュレーターがその威力を発揮した（写真2-F, 6-C）。これはアルビン号にも用いられているもので、自由度が高く操作性に優れている。機器の微妙な設置をしたり、「両手」に機器を1台ずつ持って移動するなど、設置に要する時間が大幅に短縮された。

さらに大量の機器投入のため新しく2つの装置ないし機器を導入した。まずROVホーマー（潜水艇用ミニトランスポンダー装置）である。これは小型・軽量であるにもかかわらず、乱反射の強い露岩の海底においてもメートル単位的位置決めが可能で、船上投入機器の迅速な発見に大きく貢献した。今回トランスデューサーをしんかいのバスケットに前向きに取り付けた（写真2-C中央）

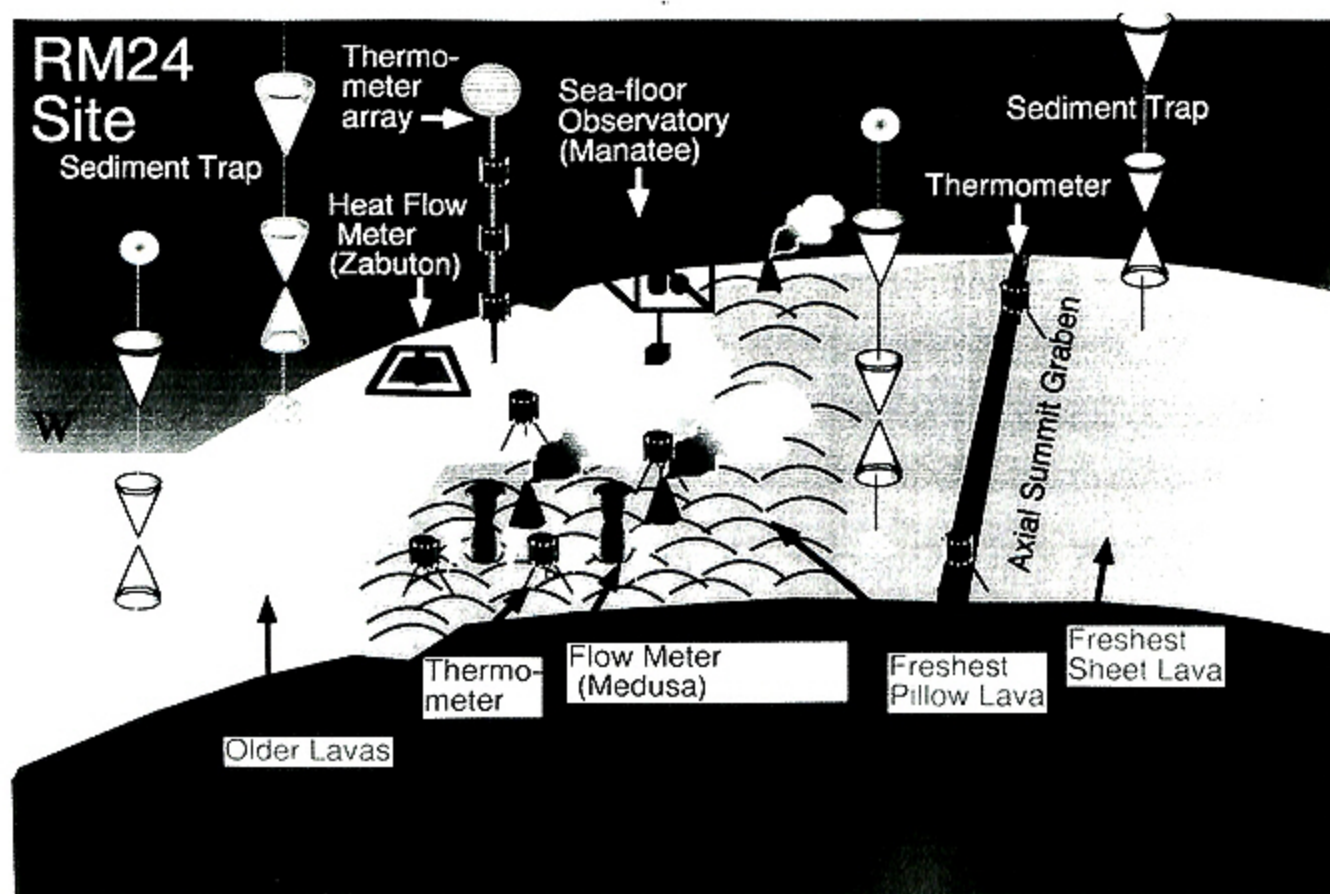


図3 RM24サイトにおける機器設置状況。

Fig. 3 A cartoon showing the configuration of the instruments of the RM24 observatory.

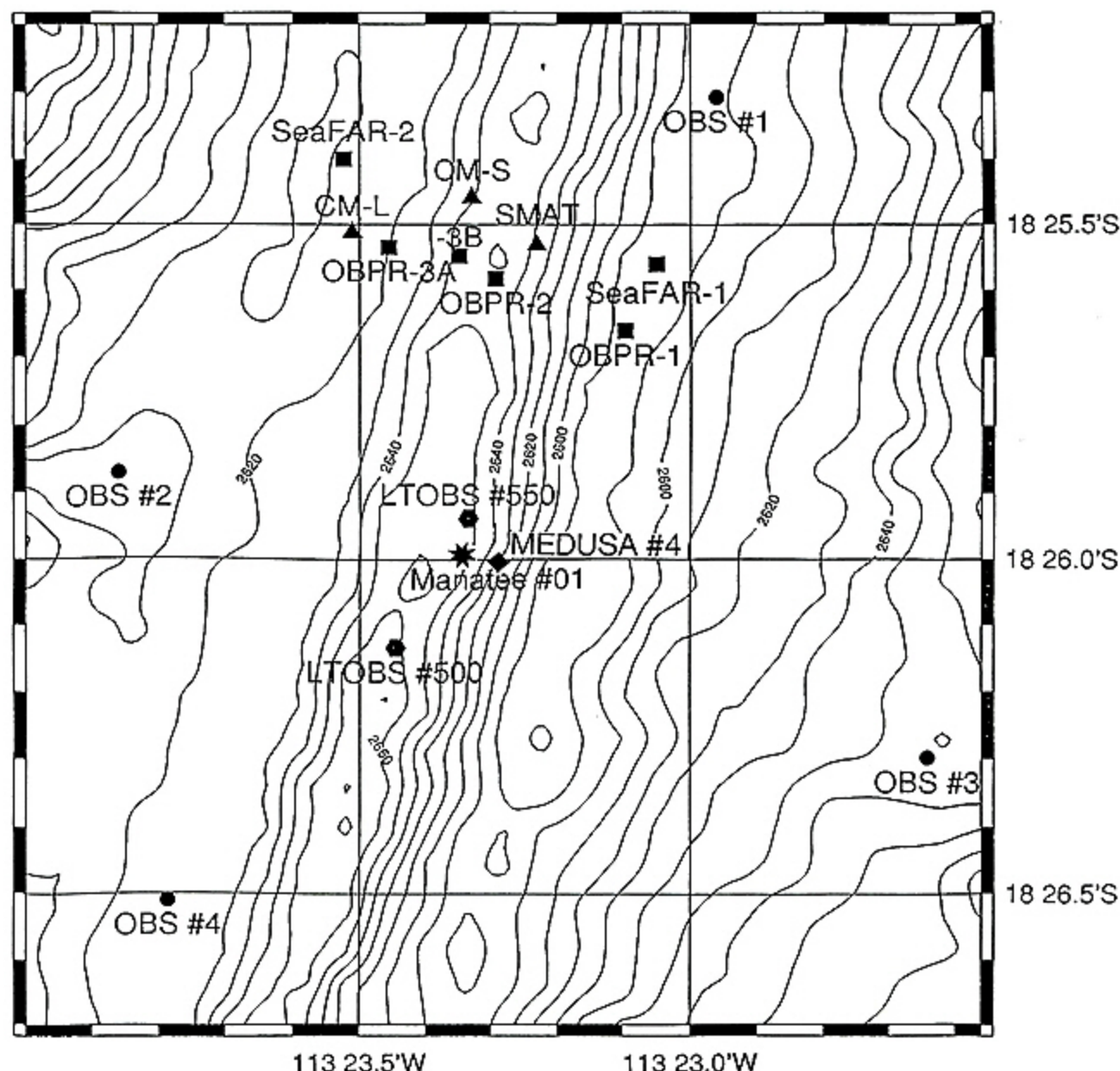


図4 RM28サイトの地形と機器設置点。グラーベン構造になっており、高温熱水活動は東側の壁の足下に限られている。

Fig. 4 Topography and the location of deployed instruments of the RM28 observatory site, Southern East Pacific Rise. An axial summit graben runs NNE-SSW and all the active venting is limited at the foot of the eastern wall of the graben.

にもかかわらず、ほぼ真後ろに位置する機器の距離と方向を、数百メートル先から検知出来る性能を持っていた。次にシャトルエレベータである（写真2-H, 4-C）。これは切り離し装置の付いた同期ビンガーとバスケット及び重錐よりなる装置で、係留系に仕立てて船上から投入回収を行う。重錐のセットにはしんかいチームに多大な労力をおかけしたが、重量機器の投入・回収及び熱水ブルームの検出に有効で、潜水回数の節約に貢献した。

今回の航海の特徴として、Manatee 海底長期観測ステーションやSeaFAR測距計など500～1,000kgの空中重量

を持つ機器が幾つか有り、それらをさらに海底のピンポイントに設置しなければならないという要求があったことが挙げられる。これは極めて達成困難な要求であるといわなければならない。これらの重量機器は綿密な計算の下、水中重量50kg以下の係留系に仕立て、「よこすか」船上から投入し、しんかいで発見して移動するという方法をとった。50kgというのがしんかいの吊上げ限界重量だからである。この発見と移動に要する時間をいかに短縮するかが計画全体の成否を分けると予想していた。幸いROVホームーの利用により発見の時間は大幅に短

縮されたが、移動に要する時間を節約するためには、予定点にいかに近く着底するよう投入できるかという技術と経験にかかっている。

この投入技術という面で、象徴的な出来事があった。我々は海底での時間を節約するため、7月21日にシャトルエレベータと海底観察長期ステーションをRM23サイトの全く同一の緯度経度に着底させるように船側をお願いした(表4)。甲板上の作業もあり、船はエレベータ投入後大きく旋回して数十分後に戻ってきて長期ステーションを投入したが、同日夜船上から行った橋本航法管制長のキャリブレーションの結果によると、海底での両者の距離は10メートルと計算された。翌7月22日にRM23サイトに潜航してみると、エレベータの12.6メートル先にマナティーが見え(写真4-D)、両者の距離が船上で測定したのとほぼ同じであることが分かった。「よこすか」はGPSシステムのアンテナと、実際の投入作業を行う船尾との距離は80メートルあり、それを勘案して操船された石田船長以下、いかにすべての作業体系が系統化されているかを数字で証明する結果であった。

5. 長期観測に用いられた機器について
長期観測に用いた機器(表3)の簡単な紹介を以下に示す。

5-1. 長期温度ロガー (WaDaR: Long-term temperature data logger)

これは小型の独立型温度計で、サーミスタ温度をICメモリーに1年間自己記録するもの。三脚と覆いを付けてマーカーとともに海底に設置した(写真2-A)。

5-2. 長期間水温測定システム (Sea-bottom Mooring Array of Thermometers; SMAT)

5-1.と同様の温度計を係留系にして、船上から投入した。これは5-5.の海底測距計の距離校正に用いるため、海底測距計の2つのユニットの中間に設置した。

5-3. メデューサ型熱水流速計 (Medusa 3c/J Hydrothermal Effluent Flow Meters)

ベンチュリー管の原理を用いて低温熱水の流速、温度、濁度の変化を10分毎、最長1年間にわたり計測する装置。A. Schultzにより開発された。すべてチタン合金でできている(写真2-C,D, 4-F, 6-F)。

5-4. 電気化学的手法による熱水化学変動長期観測装

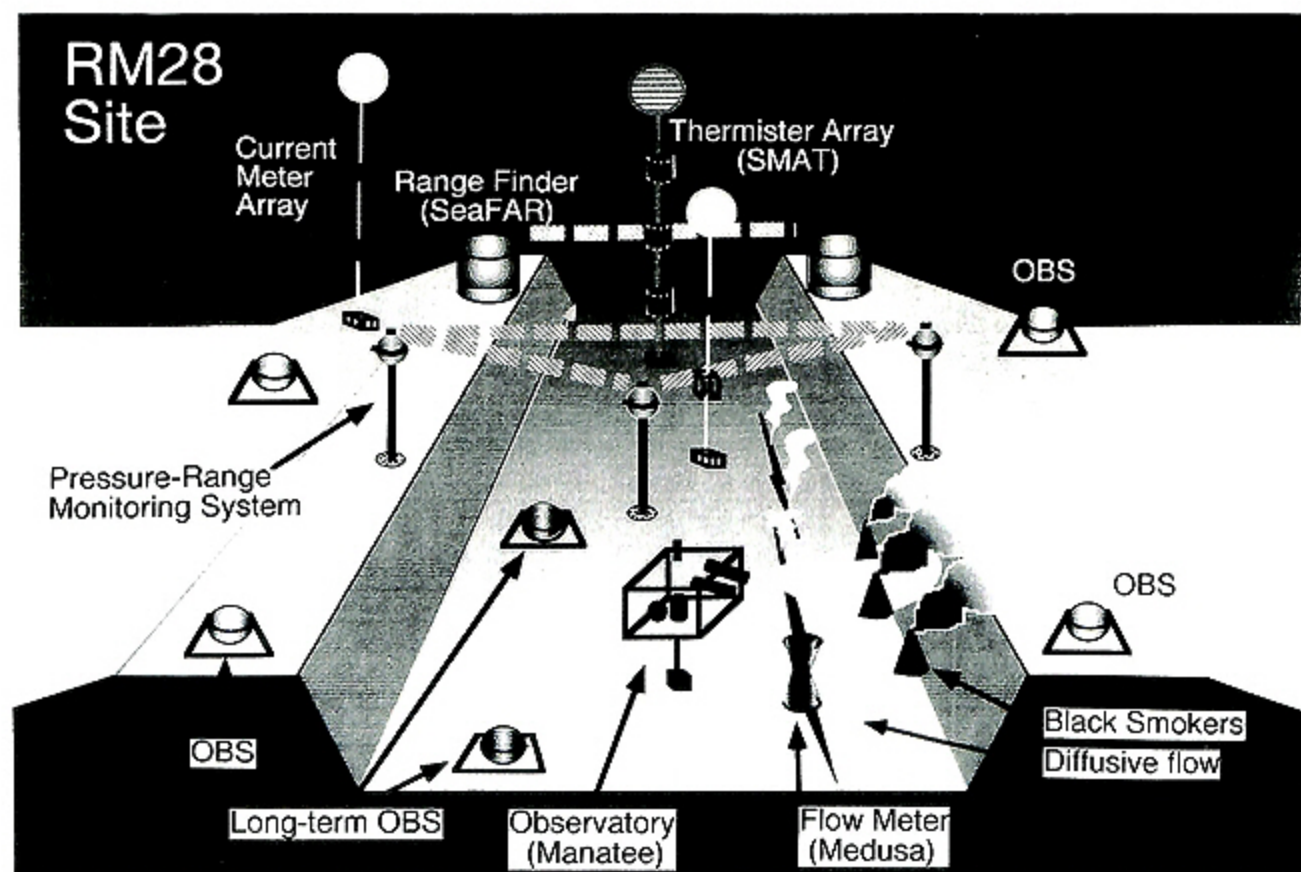


図5 RM28サイトにおける機器設置状況。

Fig. 5 A cartoon showing the configuration of the instruments of the RM28 observatory.

表3 EPRに長期海底設置してきた機器一覧表。主担当者は航海中にそれを担当した人1名の名前。

	機 器 名	主担当者	数	サイト
1.	小型水温計WaDaR	松林	6	24
2.	長期間水温測定システムSMAT	長屋	1	28
3.	メデューサ型熱水流速計Medusa 3c/J	瀧辺	4	24,28
4.	電気化学式熱水測定装置LECMOS	中村	1	24
5.	海底測距計SeaFAR	長屋	2	28
6.	海底圧力・測距計(圧力・傾斜計)	藤本	3	28
7.	チタン球長期記録型海底地震計	望月	2	28
8.	深海底長期観測ステーションManatee	満沢	2	24,28
9.	座布団型熱流量測定装置ZABUTON	木下	1	24
10.	係留式熱流量測定装置	木下	1	24
11.	セディメント・トラップ/流向流速計	Cowen	4	24
12.	pHセンサー	下島	1	24
13.	レーザーラマン細菌密度測定装置	伊藤	1	24
14.	現場自動化学分析装置GAMOS-HI	岡村	1	24
15.	切り離し装置付き潜水艇用エレベーター	チーム	1	24
16.	ROV-HOMERトランスポンダー	チーム	8	24,28

置(Long-term electro-chemical fluid monitoring system; LECMOS)

この機器は10分ごとに熱水ないしブルーム水の水温、酸化還元電位を測定するとともに、電気化学的手法により熱水中の陽イオン濃度を半定量的に1週間ごとに測定する。

5-5. 海底測距計(SeaFAR Acoustic range finders: a twin unit)

2つの同一ユニットからなり、30-50 kHzのチャープ波音波をやり取りして、その時間から距離を計算する装置。総重量が1ユニット800kgの重量機器で、船上から投入ししんかいでRM28の中軸谷の東西の向かい合う崖上に移動した(写真6-A)。矢吹・長屋らにより開発された。

5-6. 海底圧力・傾斜計(Ocean Bottom Pressure/ Temperature Monitoring System; 3 sets)

3つの同一ユニットからなり、それぞれ海底の上下動を数CMの精度で測定するとともに、相互の距離を計測する装置。船上からの投入は3ユニット同時に枠に引っ掛けて行い、しんかいによりRM28の中軸谷の東西の高まりと谷の中に設置した(藤本・長田, 1998)。なお、温度計測も行なわれる(写真6-C, D)。

5-7. チタン球長期記録型海底地震計(Long-term Ocean-Bottom Seismograph)

1つの垂直、2つの水平方向の1 Hzのジオフォンを持つ海底地震計。記録は64/secのサンプリングレートで連続的にハードディスクに記録され、6カ月以上記録可能である。RM28の中軸谷の中に、しんかいで方位を決

めて設置した(写真6-B)。金沢により開発された。

5-8. 海底長期ステーション(Long-term Observatory ; Manatee)

マナティーはカメラ(及びストロボ)、電磁流速計、濁度計、CTD、ハイドロフォン及び音響切り離し装置を持つ総合プラットフォームである。これらの機器はフレームに取り付けられ、独立に作動する(写真2-B, 6-E)。短期で観測を行った時(満沢ほか, 1998)はビデオカメラを取り付けた(写真4-E, G, H)。

5-9. 座布団型熱流量測定装置(Stand-Alone Thermal-Blanket Type Heat Flow Monitoring System; Zabuton)

これは堆積物の無い海底において熱流量を最長1年間にわたり測定するために開発された装置で、50cm四方のシートの中に熱伝導率の分かっている人工的な保温材がつまっている。数日の短期測定も行った(木下ほか, 1998)。機器はP. Johnsonらにより開発された(写真2-F, G)。

5-10. 係留式熱流量測定装置(Moored Long-Term Heat Flow Monitoring System)

低温の熱水域から放出される熱量を計測するため、海底の50m上までの垂直方向の水温を測定する係留系。流向流速計をもつ。5-9.の装置とあわせて地域的な熱流量を測定する。

5-11. セディメント・トラップ(Sediment trap with current meter)

これは川幡による通常のセディメント・トラップ、流向流速計、とコーエンによる熱水域用の上昇粒子及び下

表4 「しんかい／よこすか」 東太平洋海膨航海概要

7月10日	15:00 (現地時間) バベータ港出港。第1レグ開始。
7月17日	調査海域 (RM28) 到着。トランスポンダー設置。海底測距計2台、圧力傾斜計3台投入。
7月18日	第375潜航：藤本 (RM28サイト)。圧力傾斜計3台の設置。
7月19日	第376潜航：長屋 (RM28サイト)。海底測距計2台の設置。
7月20日	第377潜航：望月 (RM28サイト)。潜航前にチタン球海底地震計1台入りのエレベータ投入。チタン球海底地震計2台設置。
7月21日	RM23に移動。トランスポンダー設置。メデューサ熱水流速計1台等を入れたエレベータとマナティ投入。
7月22日	第378潜航：浦辺 (RM23サイト)。熱水域観察。メデューサ熱水流速計の設置。
7月23日	第379潜航：満沢 (RM23サイト)。マナティ長期ステーションの移動と設置。
7月24日	第380潜航：佐柳 (RM24サイト)。3成分磁力計、CTD (温度・伝導度・圧力計)、濁度計、ガンマ線測定器、酸化還元電位計、現場化学分析装置による航走観測。
7月25日	係留式海水温度測定装置 (SMAT) 1式、係留式流向流速計2式投入。
7月26日	第381潜航：津旨 (RM28サイト)。SF6放出実験と熱水ブルーム採水。
7月27日	第382潜航：中村 (RM28サイト)。昨日に引き続きブルーム採水。熱水域観察。
7月28日	荒天のため潜航中止。トランスポンダーをRM23からRM24サイトに移動。
7月29日	荒天のため潜航中止。7月18,19日に投入したガラス球海底地震計4台回収。
7月30日	第383潜航：岡村 (RM28サイト)。低温熱水の採取と現場化学分析。
7月31日	第384潜航：松林 (RM24サイト)。WaDaRの設置。高温熱水域の発見。
8月01日	第385潜航：トネル (RM24サイト)。メデューサ熱水流速計の設置。熱水域の発見。
8月02日	RM23 マナティの回収。RM24で座布団型熱流量計等をエレベータで投入。
8月03日	第386潜航：西村 (RM24サイト)。熱流量計設置。熱水域調査。高温熱水の発見。
8月04日	第387潜航：満沢 (RM28サイト)。マナティ長期ステーションの投入と設置。
8月05日	第388潜航：藤本 (RM28サイト)。ブルーム採水。圧力傾斜計の再設置。
8月06日	第389潜航：浦辺 (RM24サイト)。メデューサの設置とZABUTONの回収。バルバラライソに向けて回航開始。
8月13日	バルバラライソ入港。第1レグ終了。
8月17日	バルバラライソ出港。第2レグ開始。
8月23日	調査海域 (RM24) 到着。
8月24日	第390潜航：藤岡 (RM23/24 サイト)。海膨軸に直交及び軸に沿った観察。
8月25日	第391潜航：柴田 (RM23/24 サイト)。海膨軸に直交及び軸に沿った岩石採取。
8月26日	第392潜航：満沢 (RM28 サイト)。マナティの再設置とメデューサの設置。
8月27日	係留式流向流速計 (表3になし) 2台回収。
8月28日	第393潜航：伊藤 (RM24 サイト)。レーザーラマンによる熱水域マッピング。
8月29日	第394潜航：丸山 (RM24 サイト)。熱水及びブルームからの微生物試料の採取。
8月30日	第395潜航：石橋 (RM28 サイト)。熱水及びチムニーの採取。
8月31日	係留式熱流量測定装置、マナティ投入。
9月01日	第396潜航：藤岡 (RM28 サイト)。海膨軸に直交および軸に沿った観察。
9月02日	第397潜航：満沢 (RM24 サイト)。マナティと熱流量計の再設置。
9月03日	第398潜航：木下 (RM24 サイト)。係留式熱流量測定装置2台の設置。
9月04日	セディメントトラップ2台投入。
9月05日	以降9日まで荒天のため潜航中止。セディメントトラップ1台投入。
9月10日	荒天のため潜航中止。セディメントトラップ1台投入。
9月11日	荒天のため潜航中止。トランスポンダー回収 (RM28)。
9月12日	荒天のため潜航中止。トランスポンダー回収 (RM24)。
9月13日	バベータに向けて回航開始。
9月19日	バベータ入港。第2レグ終了。

降粒子を同時にトラップする装置とをあわせて係留系にしたもの。1ヶ月置きに1年間粒子を分けて集めるようになっている。

5-12. pHセンサー (pH sensors)

海底熱水用に開発されたスタンドアローンのpH計。

5-13. レーザーラマン・スペクトル細菌密度測定装置 (In-situ Laser spectrometer)

これはレーザーラマン・スペクトル装置を海底用に改造したもので、レーザー光を照射し海水中の有機物や微生物セルが持つ特徴的な波長を検出する装置である。これにより熱水域での有機物や微生物の分布濃度が明らかになる。

5-14. 現場自動化学分析装置 (In-situ Chemical Analyzer for Mn and Fe; GAMOS-III)

これはGAMOS (Geochemical Anomaly Monitoring System) IIを長期オフライン計測用に改良したもので、化学蛍光発光の原理を利用して、海底において溶存鉄ないしマンガンの高感度現場分析を行う装置。吸引された海水はチューブ中でルミノールなどの試薬等と混合され、光電子増倍管により発光強度が測定される (写真4-C)。

5-15. シャトル・エレベーター (Shuttle Elevator)

本文参照。(写真2-H, 4-C)

5-16. トランスポンダー (ROV Homer & mini-transponder)

本文参照。

5-17. 光ファイバ分布型温度計 (Distribution-type Optical Fiber Sensor Thermometer (DTS))

(西村, 松林) この装置は光ファイバーそのものを温度センサーとし、長さ2kmにわたって、約1m毎に海底の温度を記録する装置である。レーザー光の後方散乱の波長のズレの温度依存性を利用している。海底の2次元の温度分布が得られるので期待された (西村ほか, 1997) が、予期せぬ故障により設置を断念した。1998年の航海で約半年にわたり設置の予定である。

6. それ以外の機器について

6-1. SF₆ 放出装置 (SF₆ discharge unit) (津旨)

これは熱水噴出口から放出された熱水が、どのように熱水ブルームに移行するかを調べるため、自然には存在しない6フッ化イオウをブラックスモーカーに注入するための装置。6フッ化イオウは生物によって消費されない無害で安定な物質であり、分析感度が非常に良いことから、放出後数日以上経っても検出された (津旨ほか, 1998)。(写真6 G, H)

6-2. ガンマ線測定装置 (Gamma-ray spectrometer) (しんかいチーム)

しんかいに取り付け潜航中にガンマ線スペクトルを測定する装置。

6-3. 3成分磁力計 (Three component, submersible-borne magnetometer) (佐柳, 上嶋)

しんかいに取り付け、海底のごく近傍で地磁気の3成分を測定する装置。船上3成分磁力計との比較を行った。

6-4. 現場自動化学分析装置 (GAMOS-II)

上記GAMOS III参照。しんかいに取り付け、潜航中に現場分析を行った。なお、同時にCTD (伝導度, 温度, 深度センサー), 濁度計, pH計, Eh (酸化還元電位) 計などをしんかいに取り付けて複合的な観測を行った。

7. 討論及び結論

科学技術振興調整費課題「海嶺におけるエネルギー・物質フラックスに関する国際共同研究」(リッジフラックス計画)により平成9年度行われた「よこすか/しんかい6500」東太平洋海嶺航海 (YK97-05, 06)において、超高速拡大海嶺における海嶺の熱収支, 物質収支を明らかにするため、マグマ・熱水活動, 及び拡大現象を1年にわたり観測するための様々な機器を海底に設置した。当航海ではRM24サイト (17°25'S, 113°12'W), RM23サイト (17°34'S, 113°15'W) 及びRM28サイト (18°26'S, 113°23'W) に合計39台の機器からなる長期観測網を構築した。

このような長期観測により以下のような点が明らかになるものと思われる。

まず、超高速拡大海嶺の拡大と火成活動・熱水活動との関連である。海底拡大はゆっくりとしたすべりなのか、それとも急激な破壊なのか? それとマグマ活動との関連は? 先に述べたように、超高速拡大軸における溶岩噴出の周期は数年~10年程度と予測され、それに伴って熱水の化学組成も月から年の単位で変化することが予測される。実際に結果が出ない時点であれこれ推測するのは差し控えたいが、これらの基本的な問題に答えられれば長期観測の目的はほぼ達成されたと言えるだろう。

さらに海嶺のダイナミクスの周期性についても、興味ある結果が期待される。航海中に短期で行った測定によると、熱水活動は明りょうな12時間周期の変動 (semi-diurnal periodicity) を示す (木下ほか, 1998, 溝沢ほか, 1998)。これは地球潮汐ないし海洋潮汐によりもたらされているものと考えられる。しかもそれらが海洋地殻中の熱水循環の周期的な変化を引き起こしている可能性が

強い（木下ほか，1998）。これほど顕著ではないが24時間周期の変動（diurnal periodicity）も認められており，より長期の観測結果が待たれる。このような12時間周期の変動は世界中の海底熱水系で認められており（e.g. Schultz et al., 1996），これらがグローバルにみてどのような働きをしているのか興味がある。というのもこれが海洋地殻中の海水／熱水循環の新しいドライビング・フォースとして tidal pumping の役割を果たしている可能性があるからである（浦辺，1997）。このポンプにより海水が海洋地殻の空隙中に出たり入ったりして，海水と固体地球との間で物質交換が起こるとすると，海嶺の面積が広いので，地下に供給され得る栄養分の量は膨大なものになるだろう。現在ホットな話題になっている地下生命圏（Deep Biosphere）への新しい栄養供給メカニズムとしてさらに研究が必要と思われる。

地球というシステムは様々な，一見無関係な現象が互いにカップリングしている。特に海嶺においては様々な現象が独立に起こるのではなく，複雑に入り組んで起こっていることが明らかになりつつある。長期観測がこれらのカップリングの一部でも明らかにできることを願うとともに，今後この計画で開発された様々な機器を活かしていくことが求められている。なお，機器及びデータは1年後の平成10年9月に計画されているアトランティス／アルビン航海により回収する予定である。

参考文献

Auzende, J.-M., V. Ballu, R. Batiza, D. Bideau, J.-L. Charlou, M.-H. Cormier, Y. Fouquet, P. Geistdoerfer, Y. Lagabriele, J. Sinton and P. Spadea (1995) : Recent tectonic, magmatic and hydrothermal activity on the East Pacific Rise between 17°S and 19°S: Submersible observations, *Jour. Geophys. Res.*, **101**, 17,995–18,010.

Baker, E.T., G.J. Massoth, R.A. Feely, G.A. Cannon, and R.E. Thomson (1998) : The rise and fall of the CoAxial hydrothermal site, 1993–1996. *Jour. Geophys. Res.*, **103** (B5), 9791–9806.

Baker, E.T. and Urabe, T. (1996) : Extensive distribution of hydrothermal plumes along the superfast spreading East Pacific Rise, 13°30'S–18°40'S, *Jour. Geophysical Research*, **101** (B4), 8685–8695.

Butterfield, D.A., K.K. Roe, J. Ishibashi, J.E. Lupton (1997) : Time series chemistry of hydrothermal fluids from the southern East Pacific Rise, 14°–18°S. *EOS, Trans. American Geophys. Union*, **78** (46), F706. (abstract)

Embley, R.W. · C.G. Fox · 浦辺徹郎 (1996) : 中央海嶺の火山噴火を探知！*科学*, **66** (7), 480–486.

Feely, R.A., Baker, E.T., Marumo, K., Urabe, T., Ishibashi, J., Gendron, J., Lebon, G.T., and Okamura, K. (1996) : Hydrothermal plume particles and dissolved phosphate over the superfast-spreading southern East Pacific Rise. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **60**, 2297–2323.

藤本博巳・長田幸仁 (1998) : 南部東太平洋海嶺の拡大軸を横断する海底圧力・測距の長期観測。地球惑星科学関連学会1998年合同大会予稿集，213。（要旨）

藤岡換太郎・満沢巨彦・坂本 泉・木下正高・石橋純一郎・丸山明彦・伊藤 希・柴田次夫・上嶋正人・下島公紀 (1998) : 東太平洋海嶺の熱水噴出とその長期計測。地球惑星科学関連学会1998年合同大会予稿集，213。（要旨）

Haymon, R.M. (1996) : The response of ridge-crest hydrothermal systems to segmented, episodic magma supply. in “Tectonic, Magmatic, Hydrothermal and Biological Segmentation of Mid-Ocean Ridges” edited by MacLeod, C.J. et al., *Geol. Soc. Special Publ.*, No. **118**, 157–168.

Humphris, S.E. (1995) : Hydrothermal processes at mid-ocean ridges. *Rev. Geophys. Supplement*, **1995**, 71–80.

Ishibashi, J., H. Wakita, K. Okamura, E. Nakayama, R.A. Feely, G.T. Lebon, E.T. Baker, and K. Marumo (1997) : Hydrothermal methane and manganese variation in the plume over the superfast-spreading southern East Pacific Rise. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **61**, 485–500.

石橋純一郎・岡村慶・津旨大輔・下島公紀・ジェームスコーエン・ケヴィンロー・デイヴィッドバターフィールド・ジョンラプトン (1998) : 東太平洋海嶺（17-19S）で観察された熱水組成の化学進化。地球惑星科学関連学会1998年合同大会予稿集，212。（要旨）

木下正高・松林修・西村清和・浦辺徹郎・藤岡換太郎 (1998) : 座布団型センサーによる南部EPRでの長期熱流量測定を試み。地球惑星科学関連学会1998年合同大会予稿集，212。（要旨）

Kisimoto, K. and T. W. C. Hilde (1997) : SEPR Axial and off-ridge volcanism/tectonic relationships as revealed from [TAMU]2 stereographic imagery. *EOS, Trans. American Geophys. Union*, **78** (46), F689. (abstract)

MacDonald, K.C., P.J. Fox, L.J. Perram, M.F. Eissen, R.M. Haymon, S.P. Miller, S.M. Carbotte, M.-H. Cormier, and A.N. Shor (1988) : A new view of the mid-ocean

- ridge from the behavior of ridge-axis discontinuities. *Nature*, 335, 217-225.
- 満沢巨彦・菅原敏勝・浦辺徹郎・藤岡換太郎 (1998) : 南部東太平洋海膨の低温熱水活動域における一週間にとわたる海底観測。地球惑星科学関連学会1998年合同大会予稿集, 213. (要旨)
- 西村 清和・松林 修・浦辺 徹郎・久保田 俊輔・鈴木重教 (1997) : 光ファイバ温度分布センサによる広域海底温度測定システムの開発 (3)ーシステムの概要と海域実験一。地球惑星科学関連学会1997年合同大会予稿集, 213 (要旨)
- Schultz, A., P. Dickson, and H. Elderfield (1996) : Temporal variations in diffuse hydrothermal flow at TAG. *Geophys. Res. Lett.*, 23 (23) , 3471-3474.
- Tonnerre, T., K. Kisimoto, T. Urabe, A. Tanaka, and T.W.C. Hilde (1997) : Improvement and extension of seafloor submersible studies by using [TAMU]2 bathymetry: Mode 97 cruise shipboard analysis. *EOS, Trans. American Geophys. Union*, 78 (46) , F689. (abstract)
- 津旨大輔・下島公紀・岡村慶・石橋純一郎・浦辺徹郎・中村光一・藤本博巳・満沢巨彦 (1998) : SEPRにおける熱水ブルーム挙動観測のためのSF6トレーサ実験。地球惑星科学関連学会1998年合同大会予稿集, 217. (要旨)
- 浦辺徹郎 (1996) : 東太平洋海膨の巨大熱水ブルーム群。科学, 66(7) , 470-477.
- 浦辺徹郎 (1997) : 東太平洋海膨のマグマ・熱水活動の変動と長期モニタリング。月刊地球, 20(223), 19-22.
- Urabe, T., Baker, E.T., Ishibashi, J., Feely, R.A., Marumo, K. et al. (1995) : The effect of magmatic activity on hydrothermal venting along the superfast-spreading East Pacific Rise. *Science*, 269, p.1092-1095.
- Urabe, T., K. Fujioka, K. Mitsuzawa, H. Fujimoto, O. Matsubayashi, M. Mochizuki, Y. Nagaya, K. Nakamura, K. Nishimura, K. Okamura, K. Sayanagi, T. Sugawara, T. Tonnerre, D. Tsumune, M. Walker, M. Kinoshita, T. Shibata, M. Joshima, J. Cowen, A. Maruyama, K. Roe, K. Shitashima, J. Ishibashi, I. Sakamoto, N. Ytow, and T. Kodera (1998) : Japanese Ridge Flux Project Group has started Long-term Sea Floor Monitoring in the Southern East Pacific Rise. *InterRidge News*, 7 (1) , 41-44.
- Urabe, T. and K. Mitsuzawa (1997) : Long-term seafloor observatory deployed at superfast-spreading southern East Pacific Rise: 17.5-18.5S. *EOS, Trans. American Geophys. Union*, 78 (46) , F706. (abstract)
- Von Damm, K.L. (1997) : Seafloor hydrothermal fluids, warm springs to vapors and brines and back again. *EOS Trans. Amer. Geophys. Union*, 78 (46) , F756. (abstract)
- Von Damm, K.L., S.E. Oosting, R. Kozlowski, L.G. Buttermore, D.C. Colodner, H.N. Edmonds, J.M. Edmond, and J.M. Gregmeier (1995) : Evolution of East Pacific Rise hydrothermal vent fluids following a volcanic eruption. *Nature*, 375, 47-50.
- Wolery, T.J. and N.H. Sleep (1976) Hydrothermal circulation and geochemical flux at mid-ocean ridges, *Jour. Geol.*, 84, 249-275.

(原稿受理: 1998年7月28日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

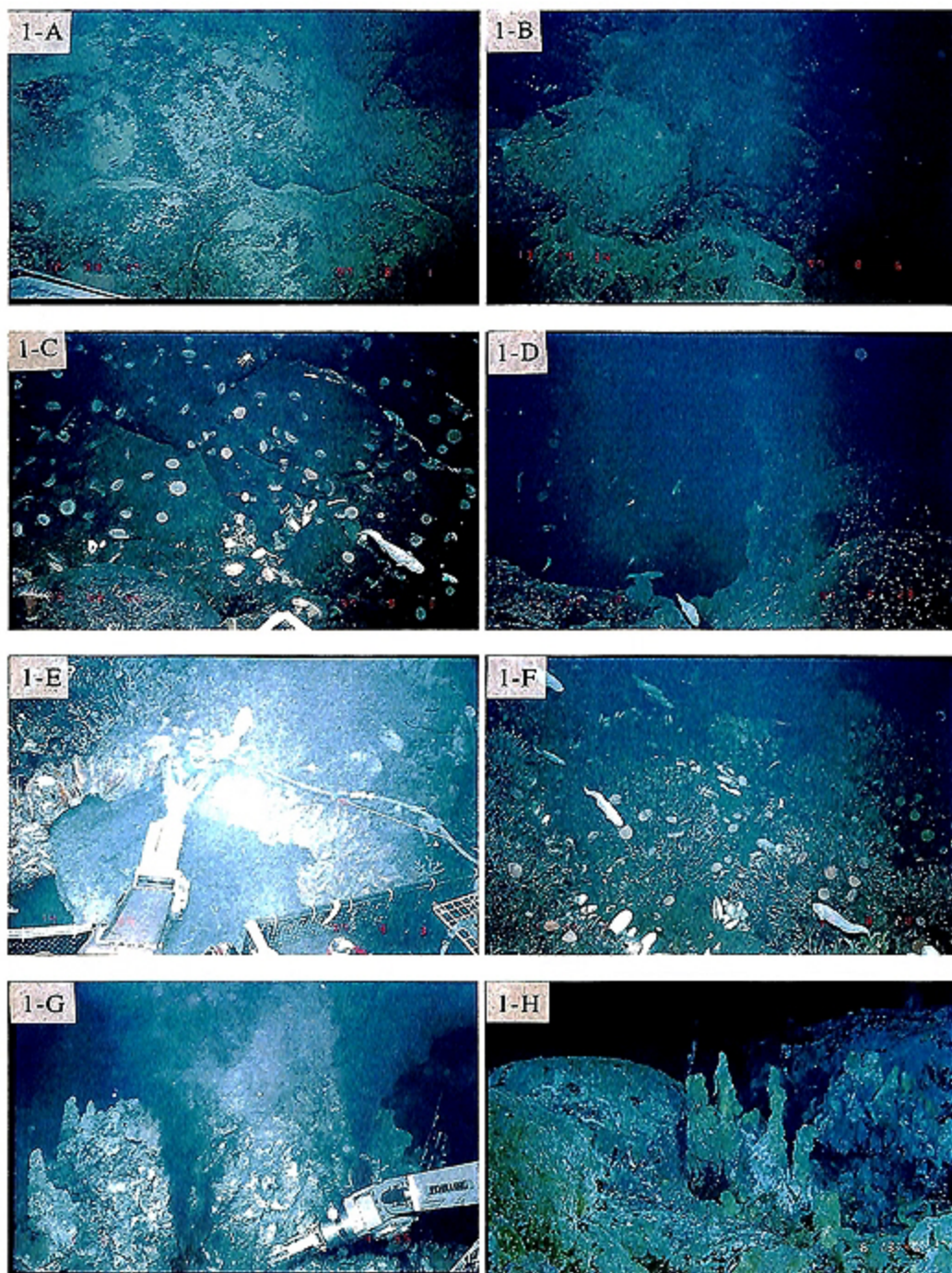


写真1 RM24サイトの海底地質。() 内の数字は潜航番号。A. 1世代前 (L-1) の枕状溶岩。薄く堆積物に覆われているが、表面の急冷ガラスはまだ光っている (385)。B. 新期溶岩 (L-0) に薄く覆われるL-1溶岩 (手前) (389)。C. L-1溶岩は平らな枕状溶岩の形態をとることが多い。ここではオアシスサイトが近いので、イソギンチャクが多数付着している (398)。D. L-1溶岩の中に発達する陥没溶岩湖地形。オアシスサイト (393)。E. 陥没孔から湧出する白濁した低温熱水の温度測定。オアシスサイト (398)。F. オアシスサイト。ゲンゲ (魚)、シロウリガイ、イソギンチャク、カンザシゴカイ、コシオリエビなどがみえる (393)。G. マツサイトの硫化物マウンドとブラックスモーカー。奥にメデューサ熱水流速計が見える (386)。H. カミナリサイトの硫化物マウンドとブラックスモーカー (389)。

Photo 1 Sea floor geology of the RM24 site. Numbers in parenthesis are Dive number of Shinkai 6500. A. Second latest (L-1) pillow lava flow. Note shining volcanic glass beneath thin sediment cover (385). B. L-1 lava is covered by latest (L-0) pillow lava flow (389). C. Lobate pillow lava of L-1 with sea anemone near Oasis site (398). D. Collapses lava lake of L-1 lava at Oasis site (393). E. Temperature measurement at collapsed pit in L-1 lava at Oasis site (398). F. Typical fauna at Oasis site (393). G. Sulfide mound and parasitic black smokers at Matsu site. Note Medusa flow meter on the mound (386). H. Sulfide mound and black smokers/chimneys at Kaminari site (389).

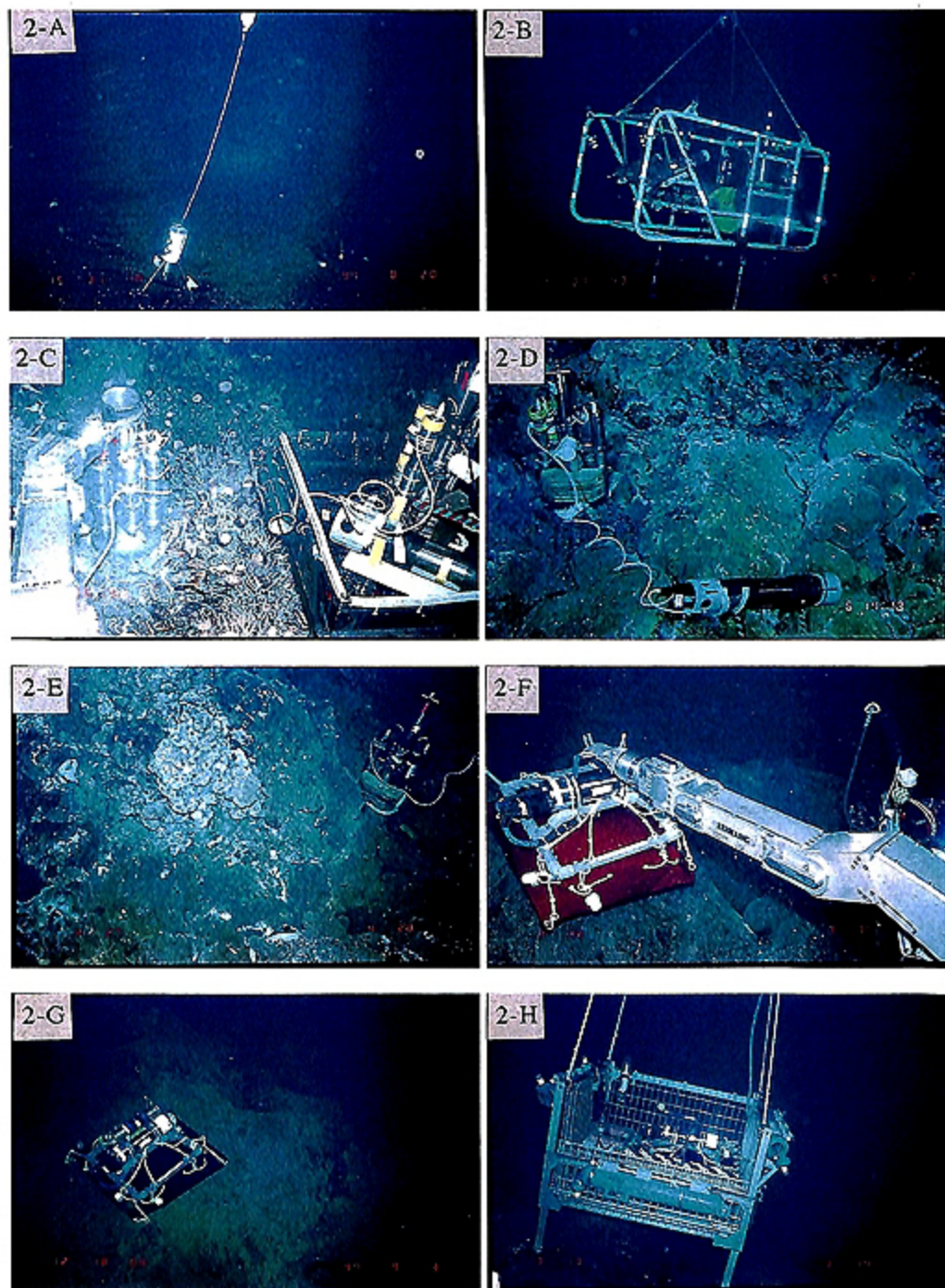


写真2 RM24サイトの長期観測機器の設置状況。A. 長期温度ログガー-WaDaR。上に延びているのはマーカー (393)。B. オアシスサイトの長期観測ステーションManatee (397)。C. オアシスサイトにおけるメデューサ型熱水流速計によるスポット測定 (389)。D. カミナリサイトのメデューサ型熱水流速計 (389)。E. マツサイトのメデューサ型熱水流速計 (386)。F. 座布団型熱流量測定装置によるコウヘイサイトの短期熱流量計測 (386)。G. オアシスサイトにおける座布団型熱流量測定装置による長期計測 (398)。H. シャトルエレベータのバスケット (386)。

Photo 2 Deployed instruments on the sea floor of the RM24 site. A. WaDaR Long-term temperature data logger and marker buoy (393). B. Manatee long-term station at Oasis site (397). C. Spot measurement with Medusa Hydrothermal Effluent Flow Meters at Oasis site (389). D. Medusa Flow Meter at Kaminari site (389). E. Medusa Flow Meter at Matsu site (386). F. Zabuton Thermal-Blanket Type Heat Flow meter near Kohei site (386). G. Zabuton Thermal-Blanket Type Heat Flow meter at Oasis site (398). H. Basket of the shuttle elevator (386).

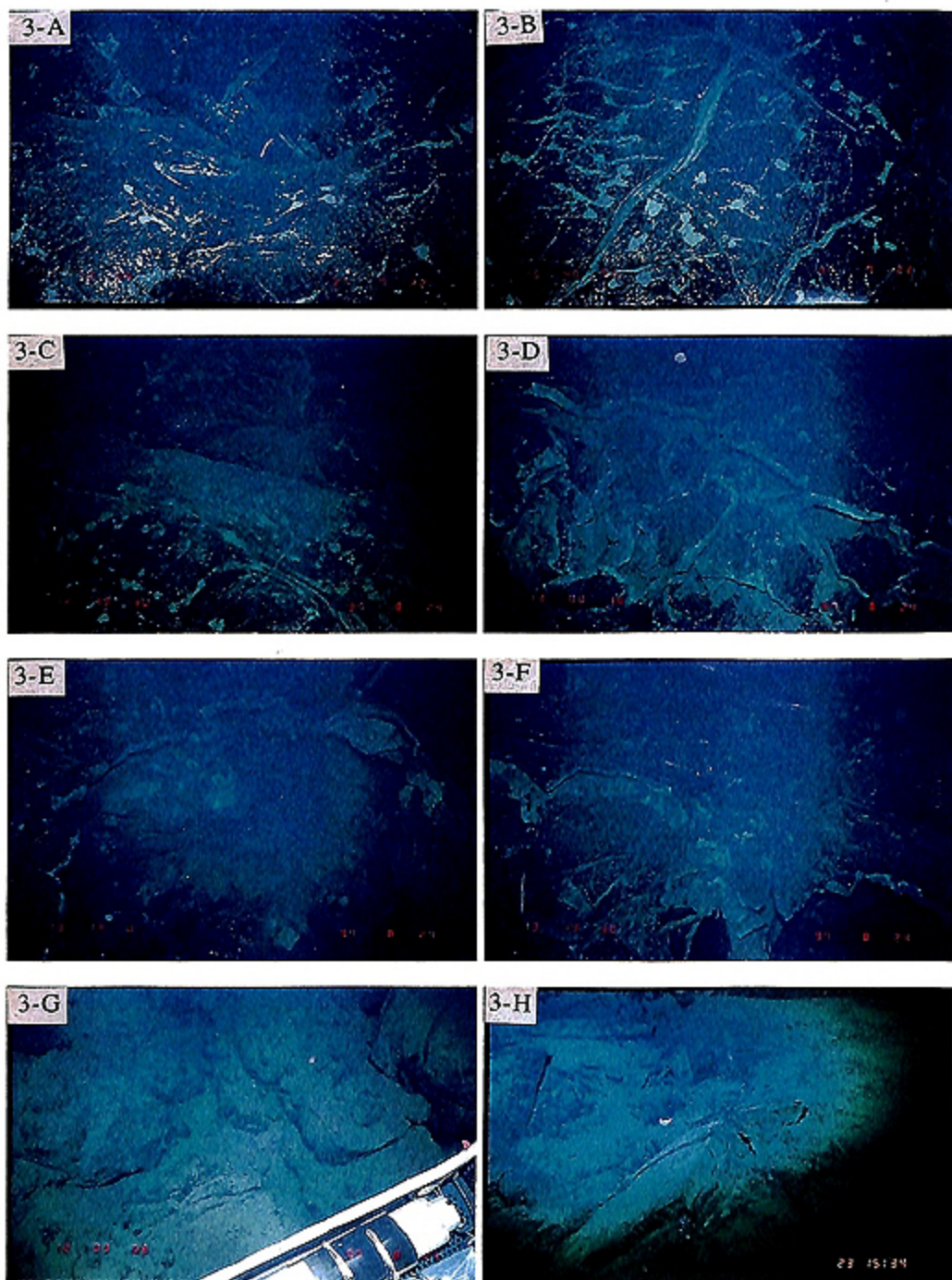


写真3 RM23/24サイトの海底地質。A. 非常に新鮮な (L-0) 平らな枕状溶岩。火山ガラスが光っている (378)。B. シート状溶岩。ほんのわずかに堆植物がパッチ状に乗ってくる (378)。C. シート状溶岩を覆う L-0 枕状溶岩。RM23/24 中間点 (390)。D. 溶岩湖の天井を形成していた薄い急冷ガラス部が陥没している。RM23/24 中間点 (390)。E. 中味が空洞化した枕状溶岩。RM23/24 中間点 (390)。F. 陥没溶岩湖の天井と溶岩柱。RM23/24 中間点 (390)。G. 海嶺軸から数百メートル離れたところの古い枕状溶岩 (390)。H. 堆植物をかぶったシート状溶岩 (379)。

Photo 3 Sea floor geology of the RM23/24 site. A. Very fresh shiny pillow lava (L-0) (378). B. Sheet flow lava with sediment patches (378). C. A sheet lava flow covered by fresh L-0 pillow lava in the middle of RM23 and 24 sites (390). D. Collapsed quench crust of a lava lake in the middle of RM23 and 24 sites (390). E. A hollow of a large pillow lava in the middle of RM23 and 24 sites (390). F. Collapsed lava lake; its roof and lava pillar (390). G. Off-ridge pillow lava with sediment cover (390). H. Sheet flow lava and sediments.

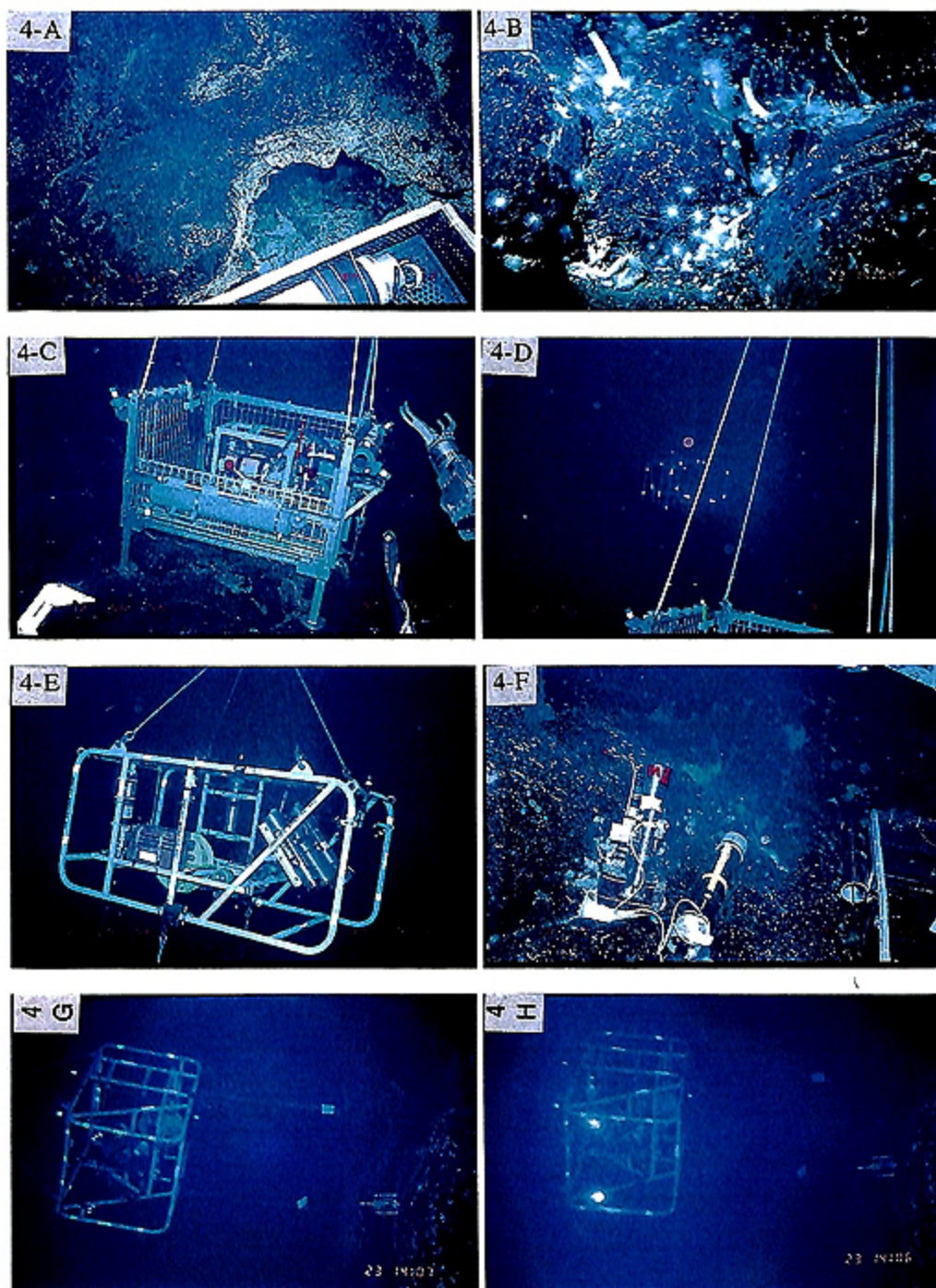


写真4 RM23サイトの長期観測機器の設置状況。A. マーカー10サイトのバクテリアマットに覆われた中空枕状溶岩。熱水活動はほとんど終わっている (378)。B. マーカー11サイトのマナティー設置地点。イソギンチャク、コベボダ、ゴカイなどが細々と生きている (379)。C. シャトルエレベータからメデューサを取り出す。中ののこっているのはGAMOS III (378)。D. シャトルの12メートル向こうに投入されているマナティー (反射テープが光っている) (378)。E. 9日間の短期観測中のマナティー (378)。F. マーカー11サイトのメデューサ流速計 (378)。G. マナティーとメデューサ (手前) (379)。H. 同。タイマーによりマナティーが点灯しビデオ撮影を行なっている (379)。

Photo 4 Deployed instruments on the sea floor of the RM23 site. A. A hollow pillow covered by bacterial mat. No venting was observed at this Marker 10 site (378). B. Fauna of the Marker 11 site where Manatee was deployed for 9 days (379). C. GAMOS III and Medusa flow meter in the basket of shuttle elevator (378). D. Note reflector tape of Manatee 12 meter beyond the shuttle elevator (378). E. Manatee at work for 9 days monitoring (378). F. Medusa flow meter at Marker 11 site (378). G. Manatee (back) and Medusa (front) at Marker 11 site (379). H. The lights of Manatee are switched on by timer to take video record (379).

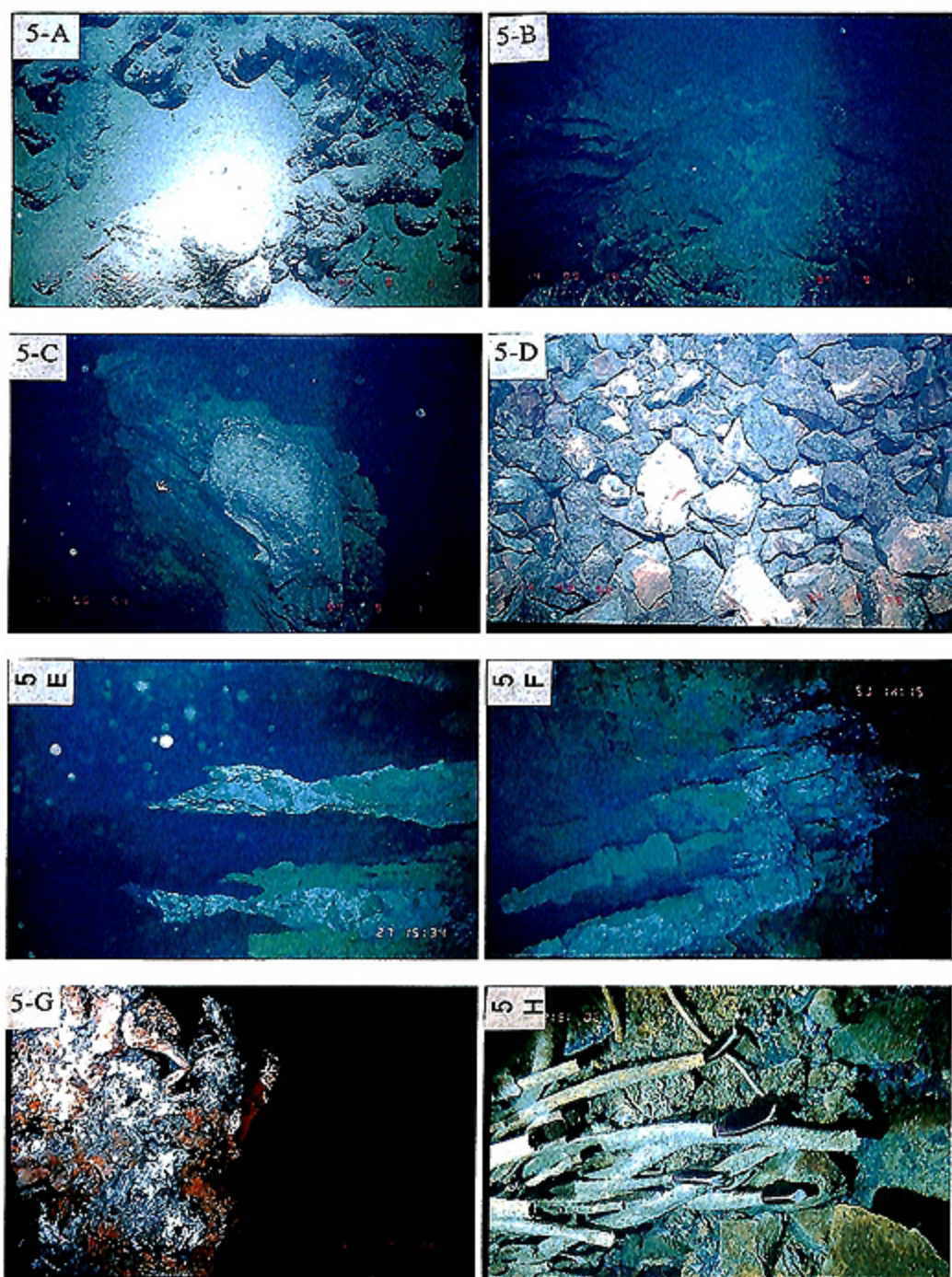


写真5 RM28サイトの海底地質。A. 海嶺軸から約2キロメートル離れたところの厚く堆積物をかぶった枕状溶岩 (396)。B. 海嶺中軸グラブンの陥没溶岩湖の壁 (396)。C. 海嶺中軸グラブンの陥没溶岩湖の溶岩柱 (396)。D. 海嶺軸グラブン中の崖錐堆積物。断崖の足下に発達する (377)。E. 春日サイトのブラックスモーカー (382)。F. 同上 (382)。G. 大きなチムニー (左) より枝分かれしているブラックスモーカー。自然色に近い映像 (381)。H. 春日サイト付近のチューブワーム (383)。

Photo 5 Sea floor geology of the RM28 site. A. Sediment-covered pillow lava about 2 km off the rise axis (396). B. Wall of a collapsed lava lake in the axial graben (396). C. A lava pillar in a collapsed lava lake in the axial graben (396). D. Scree observed at a foot of fault scarp of the axial graben (377). E. Black smokers of the Kasuga Site (382). F. Ditto. (382). G. Parasitic black smoker vent from a large chimney to the left (381). Natural color. H. Tube worm colony near the Kasuga site.

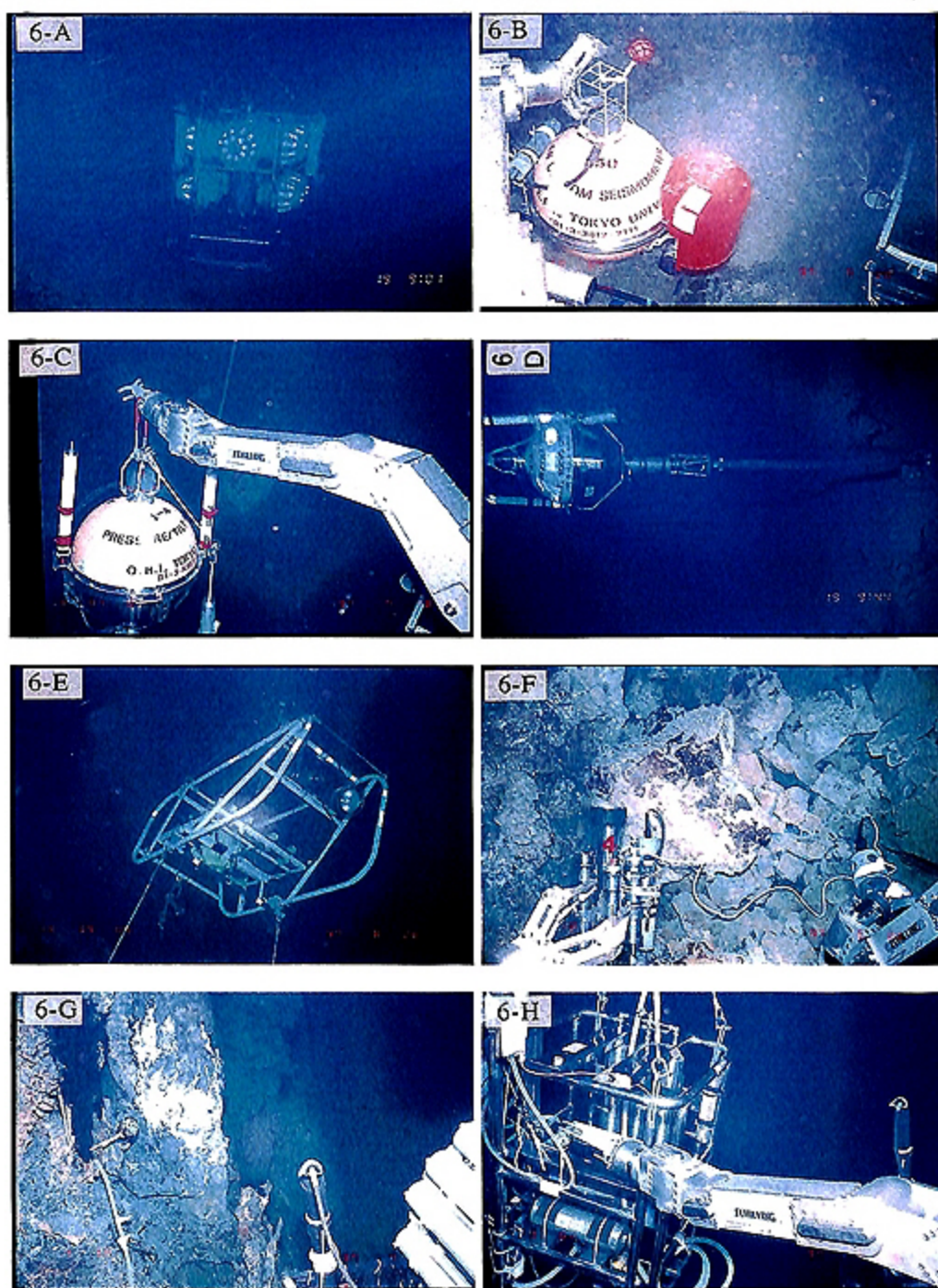


写真6 RM28サイトの長期観測機器の設置状況。A. SeaFAR測距計の片側ユニット (375)。B. チタン球長期記録型海底地震計 (377)。C. 海底圧力・傾斜計の移動 (375)。D. 海底圧力・傾斜計#1 (375)。E. マナティー。下から見上げたところ (392)。F. 星状堆積物上の長期観測中のメデューサ (392)。G. 6フッ化イオウの放出口をブラックスモーカーに挿入。春日サイト (381)。H. 6フッ化イオウ放出装置 (381)。

Photo 6 Deployed instruments on the sea floor of the RM28 site. A. SeaFAR range finder (375). B. Long-term Ocean Bottom Seismograph (377). C. Moving Ocean Bottom Pressure Monitoring System by manipulator (375). D. Ocean Bottom Pressure Monitoring System #1 (375). E. Manatee, looking up from sea floor (392). F. Medusa on scree for long-term measurement (392). G. Orifice of sulfur penta-fluoride in a black smoker of the Kasuga site (381). H. Sulfur penta-fluoride injection unit (381).