

大西洋中央海嶺 TAG 熱水マウンドにおける 長期熱流量測定

木下 正高*¹ 松林 修*² 藤岡換太郎*³

大西洋中央海嶺 TAG 熱水マウンドにおける熱水系の熱収支及びその経時変化を調べる目的で、多点プローブ方式の長期熱流量測定装置（通称「大仏」）を作成し、半年間の観測に成功した。この方式の装置は相模湾海底で 1 年間の測定を行った実績があり、海底での地温・地温勾配の空間的及び時間的変化を得ることができる。

「大仏」の TAG マウンドへの設置は 1994 年 8 月に「しんかい 6500」により行われ、記録装置部から 50m 以内の場所に 5 本のプローブを地中に刺して長期測定を行った。同装置の回収は 1995 年 3 月に米国の Alvin/Atlantis II の航海で行われ、多量の重要なデータが得られた。プローブの近傍で 100°C にも達する高温熱水が噴出したと見られる形跡があったこと、さらに観測期間中に同マウンドで掘削された ODP leg158 のボーリングの影響を示すような温度の経時変化も特筆すべきであろう。

キーワード：TAG 熱水マウンド、大西洋中央海嶺、熱流量、長期測定、ODP

Long-term Heat Flow Measurement on the TAG Hydrothermal Mound in Mid-Atlantic Ridge

Masataka KINOSHITA*⁴ Osamu MATSUBAYASHI*⁵
Kantaro FUJIOKA*⁶

The Long-term Heat-flow Monitoring System with multi-probes ("Daibutsu") is designed for multi-channel and long-term measurement of subbottom temperatures at TAG hydrothermal mound, Mid-Atlantic Ridge, in order to clarify the hydrothermal regime and its temporal variability. The development started in 1993 based on its former version, which successfully measured heat flow in Sagami Bay, Japan, for one

* 1 東海大学海洋学部（現在：ラモント・ドハティ地球科学研究所）

* 2 地質調査所

* 3 海洋科学技術センター深海研究部

* 4 School of Marine Science and Technology, Tokai University (Present: Lamont-Doherty Earth Observatory)

* 5 Geological Survey of Japan

* 6 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center

year. With this instrument, we can measure both the spatial and temporal variation of underground temperature and temperature gradient. Since the thermal conductivity is considered to hardly depend on time throughout the measured period, we did not measure conductivity values.

"Daibutsu" was deployed using the submersible "Shinkai 6500" in Aug., 1994. Although some probes bent due to a hard sulfide sediment that covered the mound, we could penetrate 5 out of 8 probes (80cm in length) within 50m from the data logger. The others were in the water. Temperature data were partially acquired using the acoustic data transmission during the cruise. The probe #6 that penetrated most deeply showed a positive temperature anomaly of 3.5°C. Some of other probes showed fluctuations due to bottom water temperature variations.

"Daibutsu" was successfully recovered during the Alvin/Atlantis-II cruise in March, 1995. The data logger and the probe #2 was covered with iron-oxides with transient thermal anomaly up to 100°C, implying transient and localized hydrothermal activity in the vicinity. Several transient thermal anomalies were recorded at three probes (#2, #5 and #6). They are well correlated with drilled period during Ocean Drilling Program leg 158 cruise, implying artificial perturbations on the hydrothermal circulation at TAG mound.

Key words : TAG hydrothermal mound, Mid-Atlantic Ridge, Heat Flow, Long-term measurement, ODP

1. はじめに

海底に延々と連なる海嶺では、激しい海底火山活動とそれに伴う海底熱水活動が起こっている。ここから放出される熱や物質は、地球内部から放出されるもののうち最大であると考えられている。ところが、その定量的な見積もりは、現象の局所性、激しさ、また深海であるための観測の困難さなどの理由により、これまで明確に把握されていない。

地殻熱流量は、鉛直方向の温度勾配と熱伝導率を掛けることにより、決定される。温度勾配は、通常長さ3—6mの地温プローブを船上からワイヤーで下ろし、海底につきさして測定するという方法がとられる。このため海嶺など堆積物が薄い、存在しない場所では、熱流量測定を行うことが不可能であった。海嶺軸付近では活発な熱水循環が起こっていて、熱水により運び出される熱が大きな割合を占めるとされ、このため熱伝導により放出される熱流量は、海洋地殻の冷却モデルから理論的に予想される値よりも低い。しかし、海嶺軸上そのものの熱流量測定値が、上記の理由で存在しないため、対流/伝導による熱放出の割合（従って真の放熱量）を評価することはできなかった。また、熱水循環の様式は、1年（あるいはそれ以下）の時間的スケールで変化していると

考えられるので、これに匹敵する長期観測を行うことが重要である。

大西洋中央海嶺の北緯26度付近にあるTAG熱水マウンド（図1）は、直径約200m、比高約50mの硫化物からなるほぼ球形の小山であり、頂上からこれまでに発見されている中で最大の熱水活動が起きている（例えば Rona et al., 1984; Rona and Speer, 1989; Rona et al., 1993）。これまでに米国やロシアの潜水船及びディープトウによる調査が精力的に行われている。今回、海洋科学技術センターの「しんかい6500」により、TAG熱水マウンドに潜航を行い、長期温度記録装置を設置して、マウンドでの熱流量の時空分布を約半年間モニターすることを試みた。

マウンドおよびその周辺における熱流量測定も行われており、最大80W/m²を超える値や、そのごく近傍（20m程度）での数mW/m²程度の非常に低い熱流量値が得られている（Becker et al., 1993）。このような高くばらついた熱流量分布は、そこで現在起こっている熱水循環のパターンを反映していると考えられるが、このパターンを解明するためには、熱流量の空間分布だけでなく、時間変動をモニターすることが重要である。

さらに、今回の潜航調査の直後に、深海掘削計画

(ODP) による掘削が TAG マウンドにて行われることになっていた。掘削によりその熱水系が影響を受けるので、付近の熱流量分布を、掘削の期間をはさんで連続観測することは、掘削の影響を見るうえで興味深い。

なお、本潜航航海の直前に、米国 Woods Hole Oceanographic Institution の研究船 Knorr によるデジタル深海カメラのディープトウ調査が、当マウンドで行われた。膨大な写真がとられたが、本航海開始時点では出力が間に合わなかった。しかし、Knorr 航海中に得られた詳細な海底地形図を入手することができた。この航海に参加した、Woods Hole Oceanographic Institution の Marty Kleinrock 氏によると、マウンドの中央ブラックスモーカーのすぐ東に新しいブラックスモーカーが出現しているようで、このことから、当マウンドが刻々と変動しつつあることが示唆された。

また、本航海の直後には、ロシアの潜水船 MIR による潜航調査が、英国 Cambridge 大学の Adam Schultz らによって行われ、彼の開発した、Medusa と呼ばれる高感度流速計が 3 台設置された。この装置は、本研究の「大仏」と同様に、1995 年 2-3 月に行われた Alvin による潜航航海で無事に回収された。

本論文では、TAG マウンドに設置されたプローブ型長期熱流量測定装置の概要を述べ、設置・回収の経緯、及び得られたデータについて予察的に報告するものである。

2. プローブ型長期熱流量測定装置

プローブ型長期熱流量測定装置の概要を図 2 に示す。これは、本番の TAG での投入に先立って、東海大学の望星丸、及び第 2 南十字によるテスト航海を経て、TAG 航海において投入された。装置の基本設計は、以前に相模湾に設置された装置と同じである(木下ほか, 1994)。以下に概要を示す。

装置全体の名称：プローブ型長期熱流量測定装置

Probe-type long-term heat flow monitoring system
(通称「大仏」Daibutsu)

[データロガー]

名称：データ転送型ヒートフロー装置

型番：DHF-602

温度センサー：サーミスター (0°C-6kΩ)

チャンネル数：50

分解能：0.1Ω (約0.001°C)

測定レンジ：0Ω-6500Ω (0-約100°C)

計測間隔：1, 2, 3, 4, 6, 12, 24時間のどれかを選択

データ収録：1Mbit RAM

8000回分の測定データを収録可能

消費電流：1 測定あたり、300mA*60sec

電源：回路用、リチウム電池、9V、35Ah

音響通信用、アルカリ電池、30V

切り離し用、アルカリ電池、24V

'Daibutsu' deployed (TAG hydrothermal mound, MAR)

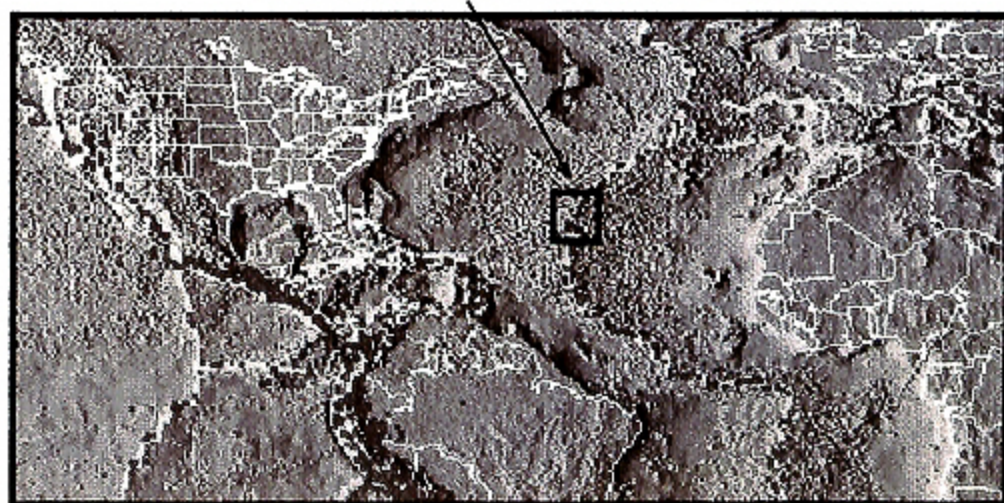


図1 大西洋中央海嶺 TAG 熱水マウンドの位置

Fig. 1 Index map showing the location of TAG hydrothermal mound, Mid-Atlantic Ridge.

データ転送：音響デジタル通信 (12kHz, 10-100bps),
及び RS232-C により (9,600baud, 8bit, P 無, 2stop)
取り込み

回収：音響切り離し装置による

ただし重りとの結合部はロープなど潜水船でカットま
たはリリースできるものとする

[船上装置]

名称：Data Communication Unit

機能：CALL コマンドによるスラントレンジ測定

TELEMETRY コマンドによる温度データ転送

RELEASE コマンドによる音響切り離し

音響データ転送：リアルタイムモード (コマンド送信時
に測定を行い転送する)

メモリー転送モード (メモリー内のデータを転送する)

転送速度は、10, 20, 50, 100 bps の中から選択

リモート制御：パソコンと RS232-C で接続することに
より、遠隔制御が可能

[ブロープ]

寸法：長さ80cm, 直径8mm, 肉厚1mm

材質：ステンレス, 内部をシリコンオイルで充填

本数：8本

内蔵温度センサ：サーミスタ5本/ブロープ

センサー間隔：17cm

ケーブル長：各50m

ケーブル収納：リールに巻いてブロープ上部にとり
つけ、本体につけたケースに格納する

3. 設置及び回収

(1) 「よこすか」からの投入

MODE'94航海第2節において、「しんかい6500」に
る15潜航のうち2潜航が、「大仏」の TAG 熱水マウン
上への設置に充てられた。装置は、8月10日18:
18 (GMT-3時間) に、「よこすか」から投入された。
投入点は、マウンドの中央にある、ブラックスモーク
コンプレックスの真上である。下降の様子は、音響測
信によるスラントレンジ測定によってモニターされた。
船上のハイドロホンが、「よこすか」の右舷から海面下
20m のところにつり下げた。装置は、ほぼ1m/s の一
速度で下降した。着底まではモニターしなかったが、お
そらく1時間で着底したと思われる。

(2) 「しんかい6500」第222潜航 (潜航者：木下正高)

第222潜航は、8月12日に行われた。潜航に先だ
ってスラントレンジ測定により、装置の着底地点の特定を
行い、マウンドの南西にあることが判明した。そこで、ま
ずこの地点をめざして潜航し、装置の発見に努めた。装
置は、本体の30m 上方にガラス球フロートがあり、こ
れに張り付けられている反射テープ、及びフラッシャーに
よって、容易に発見された。その後、「しんかい」のグラ

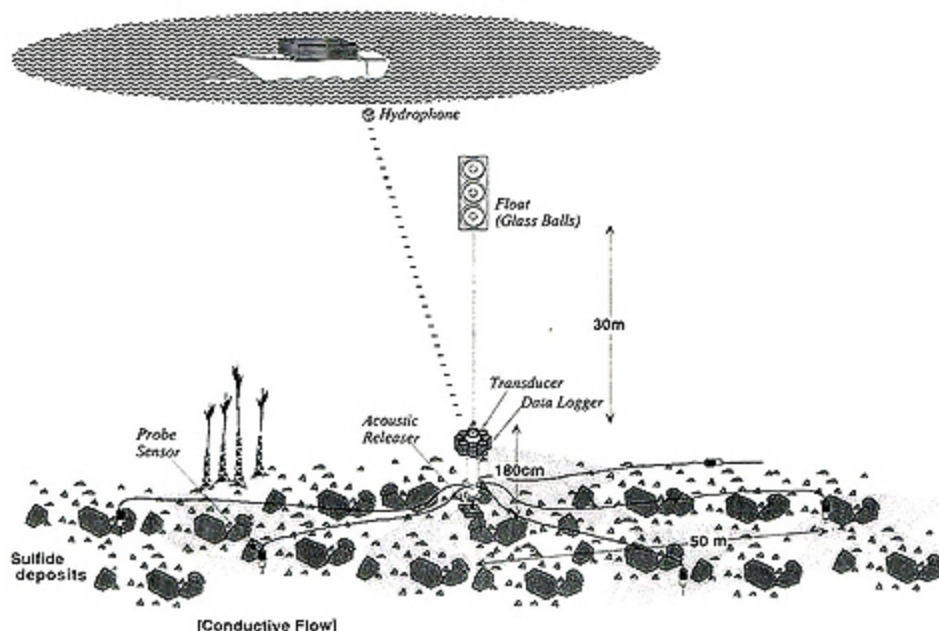


図2 ブロープ型長期熱流量測定装置の概観

Fig. 2 Schematic configuration of Probe-type Long-term Heat Flow Monitoring System.

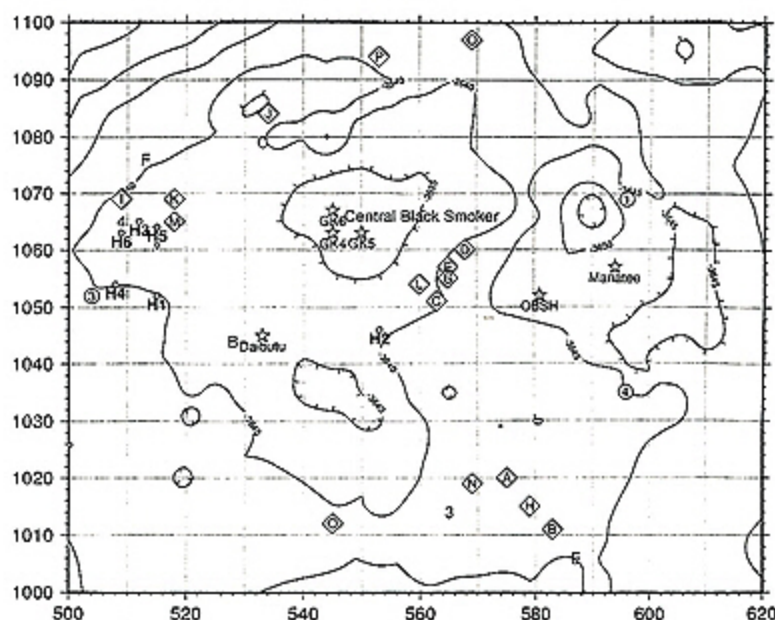


図3 設置された大仏及びプローブの位置 (軸の単位は m)。菱形のマークは、ODP 第158節での掘削地点を示す。位置決定の精度は約10m

Fig. 3 Positions of Daibutsu system and probes, markers and ODP 158 drilling sites (diamonds). Each position has ambiguity of ca. 10m.

バで本体直上のロープ部分をつかんで持ち上げ、設置するのに適した場所をさがしながら移動した。中央ブラックスモーカーコンプレックスの回りを、時計回りで1周した。この間、いくつかのマーカー、及び本航海で設置されていた、長期観測システム (Manatee) 及び海底地震計 (OBSh) を視認した。最初に JAMSTEC Marker #2 から始まり、Alvin Marker B, JAMSTEC Marker #3, Alvin Marker C, Manatee, OBSh, と視認しながら JAMSTEC Marker #2 に戻った。マウンドは基本的にほとんど斜面からなり、また硫化物のラブルがごろごろしていて、なかなか装置を設置できるような場所を見つけることが困難であったが、JAMSTEC Marker #2 の付近は概して平らであり、また比高数 m の嶺があって、プローブの展開に適しているように見えた。底質は硫化物の砂及びれきである。

この場所に本体を設置した後、8本のプローブの展開を行った。プローブと本体の設置された位置を、ODP Leg 158による掘削孔の位置 (白抜きダイヤモンド) とともに図3に示す。また展開されたプローブの様子を写真1に示す。

最初に2番プローブを取り出したが、その際不幸なことに、プローブ上部のコイル (ケーブル50m が巻き付け

てある) 部分がもげてしまった。これはコイル部分の設計ミスであり、すべてのプローブでこのような事態になったことは、残念であった。しかしながら、何とかこの状態でもケーブルを繰り出すことができたので、このまま展開を続行した。

次に4番プローブを取り出し、マウンドの西側、JAMSTEC Marker #3 脇の、低熱流量の場所に突き刺した。底質は酸化した硫化物であり、プローブのさきりはよく、5個中4個のセンサーまでが海底下にささった。次の1番プローブは、4番プローブのさらに西側にさそうと試みた。しかし、貫入予定点より手前でケーブルがぐいぐいと伸びてしまい、やむなく JAMSTEC Marker #3 の約10m 東の、硫化物のラブルからなる小谷上に置くことにした。このプローブは水温の reference をモニターすることになった。3番プローブは、アルビンによって設置された Marker #4 (ブラックスモーカー西方約30m) のそばの、硫化物の斜面につきさした。しかし、プローブが非常に曲がってしまい、結局センサー2個のみが海底下にささった。最後に7番プローブを取り出し、JAMSTEC Marker #3 の西に再度貫入を試みた。しかし、他のプローブと同様に、リールがもげた状態で展開したためか、途中でケーブルが切断してしまった。このため貫

入をあきらめ、ブローブは回収した。以上の作業中に、「大仏」本体が、おそらくブローブを展開したことにより引っ張られて約10m 西に移動してしまった。

(3) 「しんかい6500」第223潜航 (潜航者: 松林修)

第222潜航に引き続き、8月13日に行われた第223潜航では、残りのブローブの設置と、Alvin 型熱流量計による熱流量測定が行われた。5 番ブローブ及び6番ブローブを、アルビン Marker #4の近くにつきさした。このうち、6 番ブローブは、「Funnel」と呼んでいる、やはりアルビンにより設置されたマーカーのすぐ脇に突き刺したが、非常にさきりがよく、ほぼ完全に海底下に没した。最後に残った8 番ブローブは、残念ながら本体とケーブルがからまっており、展開することができなかった。このため、本体周辺の水温のモニターを行うこととなった。

各ブローブの貫入状況を表1に示す。

(4) 音響によるデータ転送

前述のように、本装置は内部メモリーでデータを記録し、回収後これをパソコンにて吸い上げる方法をとっている。このほかに、測定中の動作確認と、予想的に結果を得るために、音響信号によるデータ転送の機能が備わっている。これは、船上からのコマンド送信に回答する形でデータをデジタルで転送するものであり、メモリーに蓄積されているデータを転送するモードと、コマンド送信時に測定し、そのデータを転送するモードがある。また、50チャンネルのうち8チャンネルのみ転送が可能であるため、今回は各ブローブの最下部センサーからのデータを送信するように配線を行った。基本的には、投入後毎朝潜航前に (前日の) データを転送することを試みた。受信の状況は、船と本体との距離、海況、あるいは船のノイズに影響を受けるため、時には受信が困難なこともあった。このため、また時間の制約のため約5時間ごとの間引きしたサンプリングではあったが、転送には成功し、約10日間の温度データを得ることができた。

3 番及び4 番ブローブのデータはスケールアウトしていたが、データの値から、3 番については断線、4 番についてはショートしていることが考えられた。また、6 番ブローブの温度が、海底水温より3.5°C 高い異常を示している一方、そのすぐそば (互いの距離は5m) の5 番ブローブの温度上昇はわずかに0.01度である。5 番ブローブが十分さきさきしていないために温度が低いのか、6 番ブローブの温度異常が真に局所的なのか、あるいは6 番ブローブのセンサーが不調なのか、その時点では特定できなかった。2 番ブローブと8 番ブローブ (これは水温の記録である) の温度を比較すると、どちらもほぼ12時間

表1 各ブローブの貫入状況
Table 1 Status of probe penetrations.

ブローブ#	貫入センサー数	備考
1	0	海底に横たわる
2	3	上2本は曲がって海底面と平行
3	2	断線と思われる
4	3	記録不安定
5	3	ほとんど変動なし
6	5	よくさきさした
7	-	設置時にケーブル断線
8	0	本体わきに宙づり

周期のコヒーレントな変化が見られることから、2 番の温度が海底水温変動の影響を受けていることが分かる。一方、ブラックスモーカーの東側にある1 番、5 番、6 番ブローブの温度には、水温変動の影響はほとんど見られないことから、2 番と8 番の温度変動が、潮汐による単純な水温変動ではなく、熱水ブリュームの影響を受けていることが予想された。

(5) 「Alvin」による回収

1995年2月20日 (Barbados) ~ 3月16日 (Barbados) に行われた、Alvin/Atlantis IIによる航海 (Director: David Kadko) で、「大仏」の回収を行った。回収の手順は以下のとおりである。まず、船上から音響信号により切り離しコマンドをかけて切り離れた。この際、ケーブル3本がブローブにアンカーされる形で本体とつながっていたため、Alvinによりケーブルをカットした。装置は無事浮上し、回収された。その後に行われた潜航で、2、3、4、5、6、8の各ブローブも回収された (1 番のみ未回収)。データはすべてメモリーに記憶されており、パソコンにより無事吸いあげることができた。その後、装置を日本に送りかえして、すべてのオペレーションは終了した。

(6) ODP 第158節

1995年9月30日 (Las Palmas) ~ 11月25日 (Las Palmas) に、ODP 第158節航海が行われた (co-chief: Susan Humphris, Peter Herzig)。海域はTAG 熱水マウンドそのもので、ここでの掘削により硫化物コアの採取と基盤岩までの掘削、及び孔内計測による熱水循環の様式の推定が目的であった。日本からは、九州大学の千葉仁氏、及び地質調査所の中村光一氏が参加した。千葉ほか (私信) によると、掘削は硫化物や Anhydrite に邪魔されて思うように進まず、いろいろな場所に掘削を試みるようになった。途中、ドリルパイプ先端にとりつけ

られたTVカメラで「大仏」が写し出されるほど接近したこともあったようである。掘削が、「大仏」の温度記録に与えた影響については、次節に示す。

4. 結果及び考察

回収された装置のうち、データロガー、8番プローブ、及び2番プローブには真っ赤な錆状の物質が付着していた。これはおそらく酸化鉄などの熱水性噴出物であると思われる。一方、その他のプローブ及びフロートにはほとんど何の変化も見られなかった。また、2番プローブの先端の2か所に巻いてあったビニールテープは、もともと黄色であったのが、表面が黒く変色していた(写真2)。また、上から2番目のテープのすぐ脇に、腐食によってできたと思われる直径5-6mmの穴が空いていた。これがいつ空いたかは明らかでないが、この2番プロー

ブが途中で遭遇した100℃近い高温は、おそらくその温度をもった熱水が原因である可能性が高い。一方、このほかのプローブには、目立った変化は見られず、激しい熱水活動はなかったと考えられる。以上のことは、無論温度記録そのものによって明確に分かるべきであるが、3番プローブと4番プローブでは、断線等の理由で記録がほとんど得られていないため、回収後の目視による間接的記載が唯一の記録となった。

データロガーを含む、本体耐圧容器がかなり損傷を受けていることが分かった。容器両端の緑の部分の数か所、電蝕による腐食を受けており、中にはもう少しで貫通すると思われるものもあった。このような場所には、おそらく目に見えない細かいひびがはいっており、これが激しい熱水活動の影響を受けて、電蝕を進行させたと考えられる。

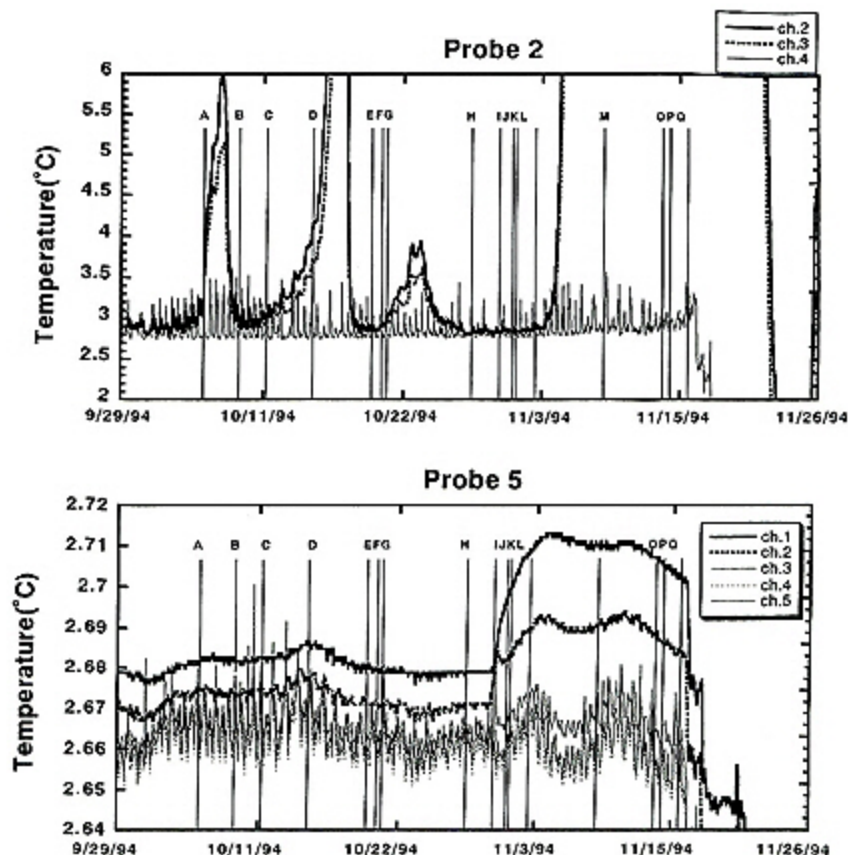


図4 (上) 2番プローブの温度の時間変化。ODP第158節の期間中を表示したもの。A~Qの記号はODPによる掘削のタイミングを表す。チャンネル番号の若い方が深い方に対応する。(下) 5番プローブについて、同様のプロットを行ったもの

Fig. 4 (above) Temperature vs. time for Daibutsu probe #2 during the period of ODP Leg 158 drilling. Vertical bars indicate the timing of drilling with alphabets showing the hole name. (below) Similar plot for probe #5.

得られた温度データは、現在観測解析中である。熱水活動の激しい海域であり、しかも ODP による掘削の影響もでているため、解析には時間を要すると思われる。ここでは、生データのプロット (図 4) をもとに、簡単な記述のみを行うものとする。

図 4 には、2 番及び 5 番ブロープの温度記録を示した。海底水温は、平均約 2.66°C であり、5 番ブロープの記録には、水温変動の影響が見てとれる。図 5 の拡大図には、その様子がはっきり現れている、つまり、深いところのセンサーの温度記録ほど、振幅が減少し位相が遅れているのが分かる。海底水温の周波数特性をみるために、スペクトルをとった結果、各ブロープについて基本的には約 12 時間周期が卓越していることが分かった。これは水温変動が潮汐に支配されていることを示唆するものである。ただし、2 番ブロープの記録をみると、周期は約 12

時間であるものの、その形や振幅が 5 番ブロープのものとは全く異なっており、時間とともに振幅が変化するという現象も見られる。潮汐により移動する海水が熱水ブルームを運んで来て、これが温度異常として記録されているのかも知れない。

2 番ブロープには、海底下のセンサーにのみ、一時的な温度異常が何回か観測されている。図中に縦線で示したのは、ODP による掘削のタイミングであるが、2 番ブロープの温度異常が出現しているのが、基本的にはこのタイミングとよく合っていることが分かる。温度異常は、一時 100°C を超えるほどであった (もっとも、検定の上限を超えているため、精度は低いと思われる)。この温度異常を記録した直後 (11 月 16 日以降) に、図 4 に見られるように全体の温度が見かけ上急激に下がっている。おそらく、この時点でセンサー全体が壊れたと思われる。あ

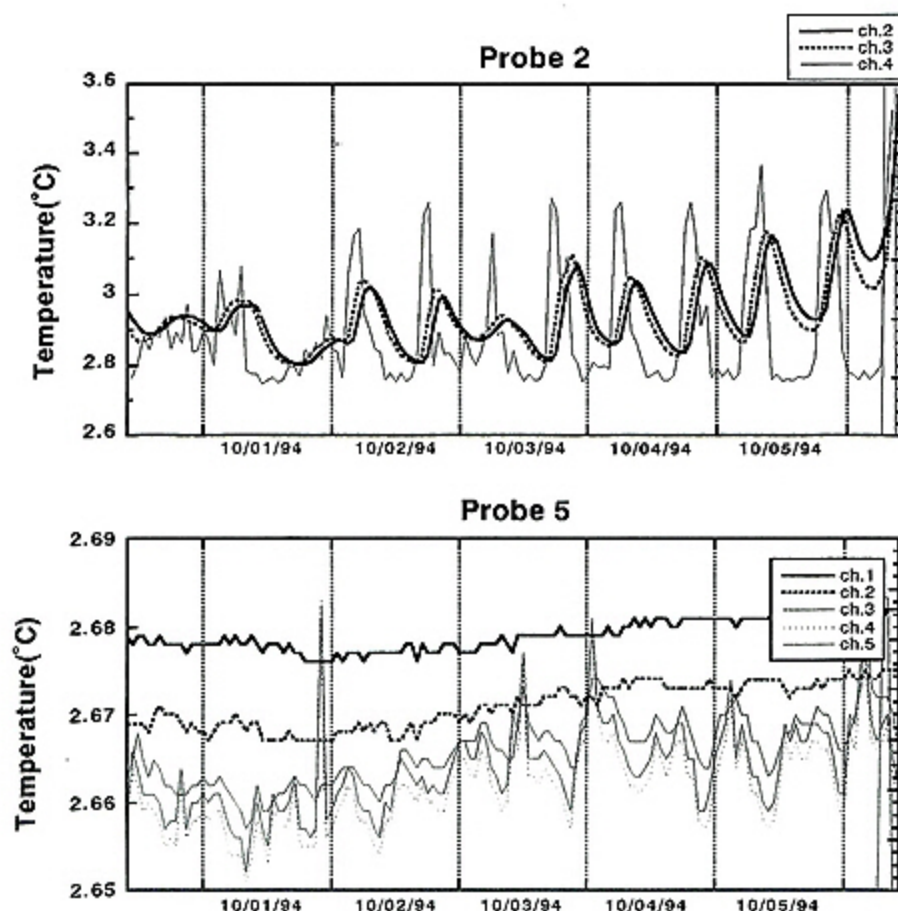


図 5 (上) 2 番ブロープの温度の時間変化 (拡大)。チャンネル番号の若い方が深い方に対応する。(下) 5 番ブロープについて、同様のプロットを行ったもの

Fig. 5 (above) Blow-up of temperature vs. time for Daibutsu probe # 2. (below) Similar plot for probe # 5.

るいは前述のように、上から2番目のセンサー付近のブローブに穴が空いたのも、この時点かもしれない。いずれにせよ、これ以後のデータは、少なくとも定量的には意味のないものと考えられる。ただし、その後も何回か一時的な温度上昇が見られ、中でも1995年2月上旬には約50°Cの高温に達したようである。

5番ブローブは、前述のように温度変化が少ないものの、水温変動はきれいに記録されている(図5)。ところが、ODPのHole Iの掘削と時期を合わせて、海底下のセンサーの温度が0.2—0.4°C上昇しているのが分かる。Hole Iは、図3にも示したとおり5番ブローブのごく近くで掘削されており、この影響が出ているものと思われるが、一方でやはりHole Iのごく近くの6番ブローブの記録には、何の異常も現れていない。むしろHole M(これも5番、6番ブローブの近くで掘削された)の掘削の影響を受けているようである。ところが、11月中旬の最後の掘削が終了したところから5番ブローブの全センサーの温度がいっせいに低下して、短周期をのぞいて全センサーの温度がほぼ同じ振幅の変動を示すようになった。このような変化は不自然なものである。結局、2、5、6番ブローブとも掘削終了とほぼ時を同じくして記録の様子が変わっていることから、この時にセンサー、あるいはケーブルに不調をきたしたのかも知れない。

5. ま と め

1994年8月に行われた、「よこすか/しんかい6500」によるMODE'94航海第2節で、大西洋中央海嶺TAG熱水マウンド上にマルチブローブ型長期熱流量測定装置を設置した。この装置は、8本の温度ブローブをもち、データは装置内部のメモリーに蓄積されると同時に、必要に応じて船上からの音響コマンドにより吸い上げることができる。また、音響切り離しにより装置を回収する。その後、ODP第158節での掘削をはさんで、1995年3月に、Alvin/Atlantis IIによる航海で装置を無事回収した。

回収されたデータロガー、8番ブローブ、及び2番ブローブには、酸化鉄などの熱水性噴出物であると思われる真っ赤な錆状の物質が付着していた。記録された水温変動は、基本的に約12時間周期で、水温変動が潮汐に支配されていることを示唆する。ただし2番ブローブの水温変動の形や振幅が5番ブローブとは全く異なっており、時間とともに振幅が変化するという現象も見られる。潮汐により移動する海水が熱水ブルームを運んできて、これが温度異常として記録されているのかも知れない。2番ブローブには、一時的に100°Cを超えらると思われる

温度が記録されており、これを含めて一時的な熱水活動が何回か起こったことが示された。またこの温度異常の現れたタイミングが、ODPによる掘削のタイミングとよく合っており、掘削による熱水システムの擾乱の効果のあらわれと考えることができる。

謝 辞

本研究の装置の開発は、科学技術庁海洋開発課の科学技術振興調整費により行われた。大西洋・太平洋の研究航海の計画立案にあたって、地質調査所鉱物資源部の浦辺徹郎博士、及び海洋科学技術センター深海研究部の藤岡換太郎博士には、長期温度記録装置の設置に対し、多大なるご配慮をいただいた。装置の実際の製作は、海洋電子株式会社の村上英幸氏に依頼した。実際の航海及び潜航を行うにあたって、海洋科学技術センター「よこすか」湯川修船長及び井村齊船長をはじめとする乗組員の方々、「しんかい6500」運航チームの井田正比古指令、田代省三潜航長、今井義司副指令、橋本菊夫航法管制長をはじめとする皆様には、装置の準備から設置、回収にいたるまで、全面的に助言及び協力していただいた。回収航海では、Keir Becker博士、David Kadko博士、及びJim Kirklin氏をはじめ、Woods Hole Oceanographic Institutionの「Alvin/Atlantis II」の船長、chief pilot以下乗組員の皆様に全面的にお世話になった。以上、ここに明記して感謝の意を表します。

引用文献

- Becker, K., R.P. Von Herzen, P. Rona (1993): Conductive heat flow measurements using Alvin at the TAG active hydrothermal mound. EOS, 74, p. 99.
- 木下正高・後藤秀作・山野 誠 (1994): 海底下温度の長期記録による地殻熱流量の測定. 海洋調査技術, 6, 31-36.
- Rona, P.A., G. Thompson, J.A. Karson, W.J. Jenkins, D. Graham, M. Mallette, K. Von Damm and J.M. Edmond (1984): Hydrothermal activity at the Trans-Atlantic Geotraverse Hydrothermal Field, Mid-Atlantic Ridge crest at 26°N. J. Geophys. Res., 89, 11365-11377.
- Rona, P.A. and K.G. Speer (1989): An Atlantic hydrothermal plume: trans-atlantic geotraverse (TAG) area, mid-Atlantic Ridge crest near 26°N. J. Geophys. Res., 94, 13879-13893.
- Rona, P.A., M.D. Hannington, C.V. Raman, G. Thomp-

son, M.K.Tivey, S.Humphris, E.C.Lalou and S. Petersen (1993): Active and relict sea-floor hydrothermal mineralization at the TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge. *Economic Geology*, 88, 1989-2017.

(原稿受理：1995年6月28日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

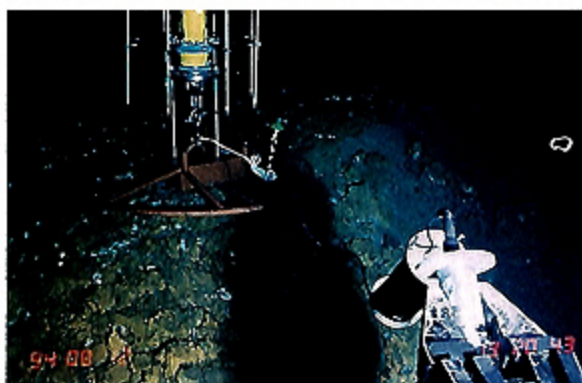
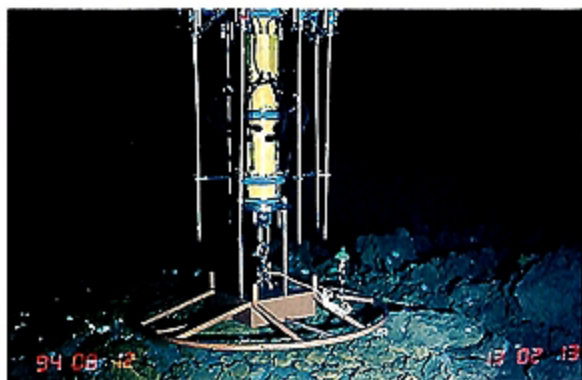


写真1 プローブの展開の様子。(上)展開前の大仏。(中)グラバによりプローブをつかもうとしているところ。(下) 2番プローブを展開しているところ

Photo 1 (Top) Daibutsu system on TAG mound. (Middle) Trying to take put a probe using Shinkai's grabber. (Bottom) Extending probe # 2 out of data logger.

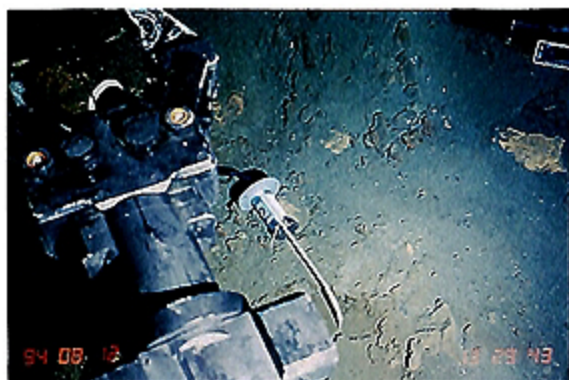


写真2 (上)設置された2番プローブ、(下)回収された2番プローブの一部。もともと黄色のビニールテープが黒く変色している

Photo 2 (above) Probe # 2 deployed, (below) Tip of Probe # 2, with two vinyl tapes (originally yellow) burned to black.