

TAG 熱水マウンドの潮汐に同期した活動 —OBSH による観測結果—

西澤あずさ^{*1} 佐藤 利典^{*2} 笠原 順三^{*2} 藤岡換太郎^{*3}

大西洋中央海嶺上に存在する TAG 熱水マウンドは、深さ約3,600m に世界でも最大規模の熱水噴出孔群を持つ、高さ70m、直径250m 程度の小丘である。熱水活動に関連した地震活動の性質をとらえるために、TAG 熱水マウンドにおいてハイドロフォン付き海底地震計を用いた約1週間の観測を行った。マウンド中央より約150m 離れた最初の海底地震計設置点では全く観測されなかったが、潜水調査船によりマウンド上のブラックスモーカー直上に再設置後、周期1分以上の低周波（圧力）変動がハイドロフォンの記録のみに現われるようになった。この活動は、ほぼ12時間周期で活発になり、海洋潮汐により海面が低くなる時間に対応していることがわかった。このほか、地震計の記録にはごく近傍で生じたと考えられる S-P 時間1秒以内の極微小地震が存在し、TAG マウンドの地震活動を特徴づけている。

キーワード：TAG 熱水マウンド、海底地震観測、ハイドロフォン記録、海洋潮汐

Tide Related Activity Observed by OBSH on the TAG Hydrothermal Mound

Azusa NISHIZAWA^{*4} Toshinori SATO^{*5}
Junzo KASAHARA^{*5} Kantaro FUJIOKA^{*6}

An ocean bottom seismographic experiment is designed to investigate seismological features at the Trans-Atlantic Geotraverse (TAG) hydrothermal field on the Mid-Atlantic Ridge near 26°N. Hydrophone records of the ocean bottom seismograph and hydrophone (OBSH) on a black smoker show pulse shape signals with periods of more than 1 minute. This disturbance becomes active at an interval of about 12 hours and corresponds to low sea level due to ocean tide. Micro-seismicity is also active in the immediate vicinity of the TAG hydrothermal mound.

Key words: TAG hydrothermal mound, Ocean bottom seismographic observation, Hydrophone signals, Ocean tide

* 1 海上保安庁水路部

* 2 東京大学地震研究所

* 3 海洋科学技術センター深海研究部

* 4 Hydrographic Department, Maritime Safety Agency

* 5 Earthquake Research Institute, University of Tokyo

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

1. はじめに

大西洋中央海嶺軸中心から2.4km 東水深約3,600m の地点に、世界でも最大規模の熱水噴出孔群を持つ、高さ70m、直径250m 程度の小丘である、TAG 熱水マウンドが存在する。大西洋中央海嶺上における TAG マウンドの位置を図1に示す。TAG マウンドは、北緯24度の Kane 断裂帯と北緯30度の Atlantis 断裂帯の間にある15~18のセグメントの1つに位置する (Sempere et al., 1990; Smith and Cann, 1992)。この領域では Trans-Atlantic Geotraverse (TAG) project の一環として、これまでにアメリカやロシアの潜水調査船やディープトウによる調査を含む数多くの地質及び地球物理学あるいは地球化学の調査が行われてきた。

図2及び図3には潜水母船「よこすか」のマルチビーム測深システム HS10で得られた TAG マウンド近傍の

海底地形を示す。TAG 熱水マウンドを含むセグメントは長さ40km で北北東の走行を持ち、北緯25°55'と26°17'の非トランスフォーム性不連続によって境界されていると考えられている (Sempere et al., 1990; Purdy et al. 1990; Smith and Cann, 1992)。

遠地震の観測はこの領域の地震活動が低いことを示している (図1) が、Kong et al. (1992) は、1985年に7台の海底ハイドロフォン及び2台の海底地震計を用いた3週間の自然地震観測の結果、中軸谷近傍に189個の微小地震の震源を決めており、活発な微小地震活動の存在を示した。しかしながら、TAG 熱水マウンドの近傍では地震活動は検知されなかった。

一方、マリナトラフ南部熱水ベント域での海底地震観測では、地震計に記録された近地地震の数が少ないにもかかわらず、広帯域ハイドロフォンの記録から熱水性

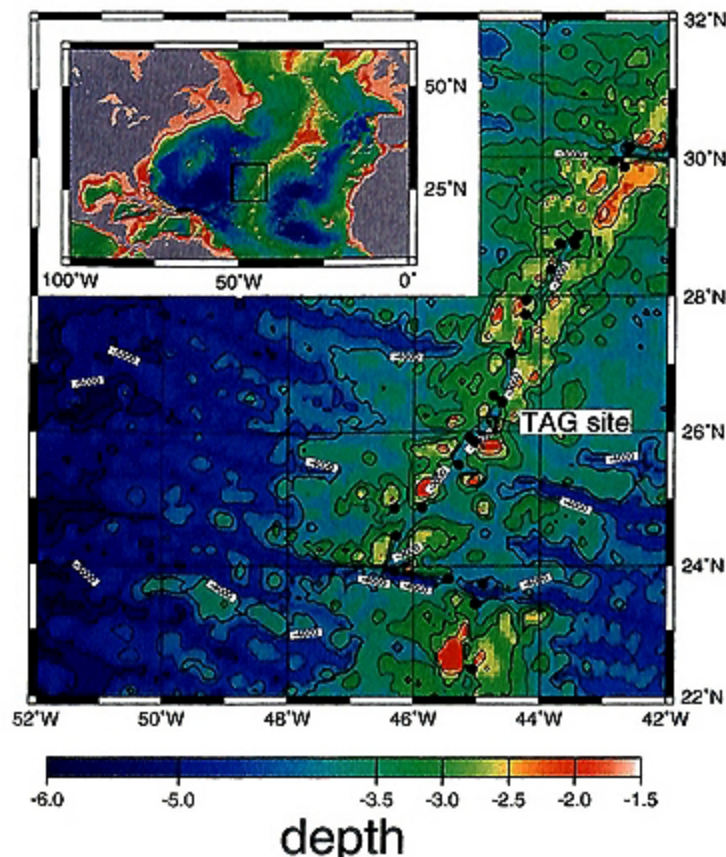


図1 大西洋中央海嶺上 TAG マウンドの位置。海底地形図は ETOPO5による。●は1980から1990年間の $M \geq 5$ の震央の位置を示す (NGDC の地震データベースによる)

Fig. 1 Location of the TAG hydrothermal mound on the Mid-Atlantic Ridge. The bathymetry data are ETOPO5. Solid circles are epicenters with $M \geq 5$ (data from National Geophysical Data Center (NOAA) earthquake database).

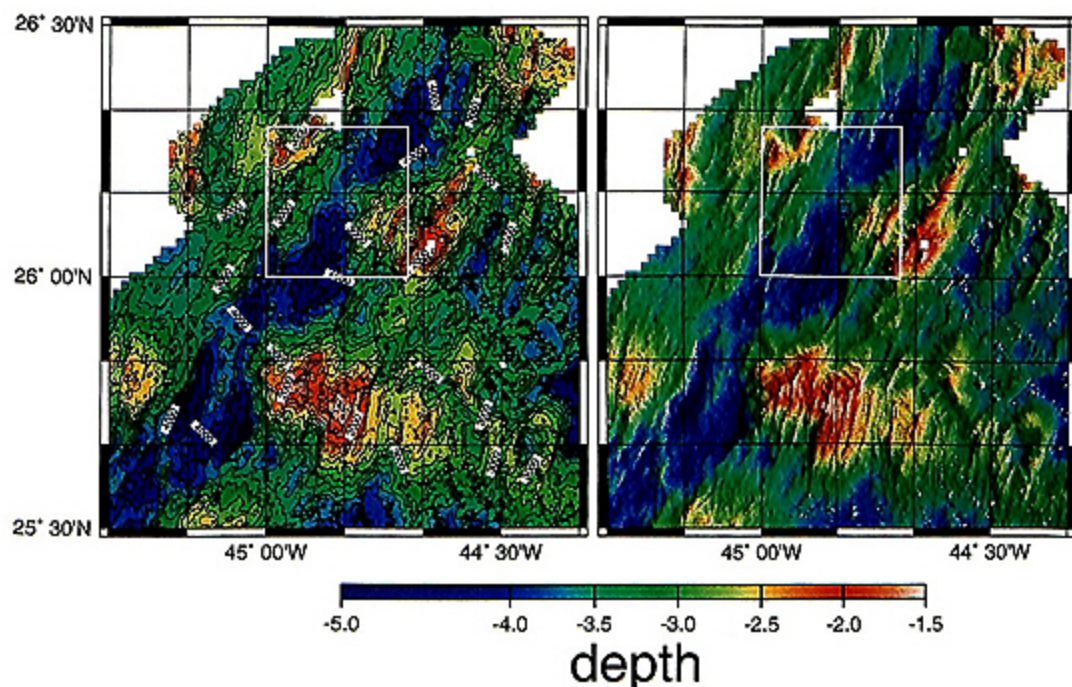


図2 TAGマウンド近傍の海底地形。水深値は、JAMSTEC潜水母船「よこすか」のHS10による。等深線間隔は200m。右図は陰影図。西側より光を当てたイメージを示す

Fig. 2 Subbottom topography around the TAG hydrothermal mound. Bathymetry was obtained by "Yokosuka" HS10 multi-beam system. Contour interval is 200m. The right figure is shaded map. Illumination angle is from the west.

湧昇流の存在を確認しており (Kasahara et al., 1994; Sato et al., 1995), ベント域での広帯域ハイドロフォン観測の有効性が示唆されている。

1994年8月TAGマウンドにおいて、海洋科学技術センターと米ウッズホール海洋研究所との共同研究により、潜水調査船「しんかい6500」を利用して、鉛直型長期温度測定装置・長期熱流量観測装置・長期海底観察装置等の設置及び熱水試料の採集とその化学分析を行った。同時に、熱水活動に関連した地震活動を調べるために、広帯域ハイドロフォン付海底地震計を用いた観測を行ったのでその結果を報告する。

2. 実 験

用いたハイドロフォン付海底地震計 (OBSh: Ocean Bottom Seismograph and Hydrophone) はアルミ製耐圧容器を用いた自己浮上式であり、センサーとしては固有周波数2Hzの上下動地震計、直交する水平動地震計2成分及びハイドロフォンを使用している。ハイドロフォン自体はDCまで感知できるが、記録系において10Hzより低周波域では感度は-6dB/octとなる。また、同

OBShは、耐圧容器がアルミ球であるため潜水調査船による取り扱いが可能であり、今回の実験では潜水調査船「しんかい6500」により熱水ベントのごく近傍に再設置する作業を行った。

OBShレコーダーは、記憶媒体に容量320MBの光磁気ディスクを使用しており、6チャンネル(ch)まで記録可能である。今回の実験では以下のように各chの成分及び増幅器利得を設定した; CH1: 上下動 (20dB), CH2: 上下動 (40dB), CH3: 水平動 No.1 (40dB), CH4: 水平動 No.2 (40dB), CH5: ハイドロフォン (20dB), CH6: ハイドロフォン (40dB)。サンプリング周波数を各chあたり50Hzとし、連続記録モードを選択することにより、約7日間の記録を得ることができる。

OBShは、TAGマウンドの東方およそ100mの海上から潜水母船「よこすか」より投下された。OBShは海流により流される可能性があるため、その設置位置を精度よく見積もるためには船上からの超音波測距等により位置決定を行う必要がある。地震計直上点及び周辺3点の計4点から超音波による斜め距離の計測を行った。OBShの推定位置は、北緯26°8.238', 西経44°49.501'であ

り、これは投下地点の北方約50mに相当する。

OBSHを熱水ベントのごく近傍の平坦な場所に設置し、地震計の方位やカップリングを確認するため、「しんかい6500」の第220潜航が行われた。「しんかい6500」は上記の設置推定位置を目標に潜航を開始し、着底直前にTAGマウンド北東部の枕状溶岩の海底面上(写真1)にOBSHを発見した。OBSHの着底点はほぼ平坦で、薄い堆積物でおおわれていた。OBSHについている運搬用ロープを「しんかい6500」のグラブでつかんで約120m移動させ、TAGマウンド中央のブラックスモーカーより約30m東の凹地内の小さなブラックスモーカーの直上に再設置した。写真2で示されるOBSH架台の銀色の反射テープを貼った部分近傍の黒い煙状のものがブラックスモーカーである。この地点近傍の海底面は決して平

坦でなくサルファイドの瓦礫により凸凹しており(写真3)、OBSHの移動から場所の選定を含め設置終了まで約2時間を費やしたが、OBSHはほぼ水平に設置することができた。さらに地震計センサーの方向も確認することができた。2つの水平動のセンサーの方位はそれぞれ北から時計回りに80及び170度であった。OBSHの設置点は、北緯26°8.203′、西経44°49.546′、水深3,647mである。図4にTAGマウンド上に設置された諸観測装置の相対的位置関係を示す。マウンド中央の約20m高の巨大なブラックスモーカーを取り囲んで鉛直型長期温度測定装置(Giant Kelp; GK4~6)が設置され、その南南西に長其熱流量観測装置(Daibutu)、東方にOBSHと長期海底観察装置(Manatee)が配置された。OBSHの設置後、「しんかい6500」はマウンド中央部ブラックスモーカーにそ

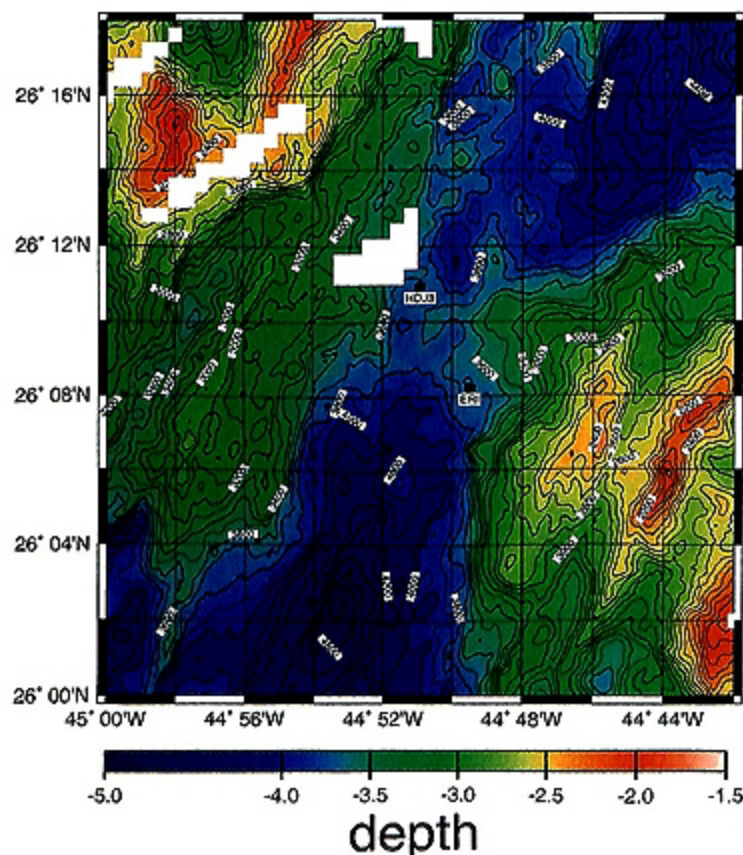


図3 図2の四角で囲まれた領域の拡大図。海底地震計設置を●で示す。ERIがTAG熱水マウンド上に設置されたOBSHである(HDJ3は海嶺中軸谷の西側斜面に設置した別のOBSH)

Fig. 3 Blowup of the enclosed area in Fig. 2. Solid circles show the OBSH positions. ERI is on the very point of the active TAG hydrothermal mound (HDJ3 is another OBSH deployed on the western wall of the median valley).

動し熱水採取作業を行って、第220潜航は終了した。

1994年8月19日、OBShは、船上からの超音波切離し信号により重りを海底に残し浮上し、無事回収された。観測期間約7日間(1994年8月8日1時9分30秒~14日22時3分41秒GMT)の記録がほぼ連続的に得られた。

3. 結 果

観測期間中の地震活動の全容をつかむために、ドラムイメージの記録を作成した。図5には地震計上下動成分、図6にはハイドロフォンの出力を示す。それぞれ1時間分の記録が1つの直線上に並ぶように表示してある。7分16秒ごとに記録が1分間中断しているのは、OBShの光磁気ディスクレコーダーへの記録書き込み時に生ずる振動による雑音部分を除去したためである。「しんかい6500」によるOBShの移動は1994年8月9日の14時~16時(GMT)である。図5の地震計記録をみると、移動前より移動後の方が地震活動が高くなっていることがわ

かる。図5で線状に見えるイベントの多くは、ごく近傍で生じたと考えられるS-P時間1秒以内の微小地震である。連続的に発生した3つの微小地震の記録例を図7に示す。最初(図中(I))と3番目(III)の地震のS-P時間はそれぞれ0.4及び0.3秒と読みとられ、これらはTAGマウンド直下の活動であると推定される。(II)の記録は、その包絡線の減衰の形が(I)及び(III)の記録のそれと似ているが、S波の到着時がP波の到着時に近すぎるため、P波とS波が分離できないと解釈している。すなわち、この地震もごく近傍で発生した地震と考えられるが、さらなる吟味が必要である。

図6で顕著な現象は、自由落下による最初のOBSh設置点では全く観測されなかったが、ブラックスモーカー直上への再設置後から周期1分以上の低周波(圧力)変動がほぼ12時間周期で活発になっていることである。この変動はハイドロフォンの記録のみに現われており、地震計の記録には見られない。変動の始りの極性は負

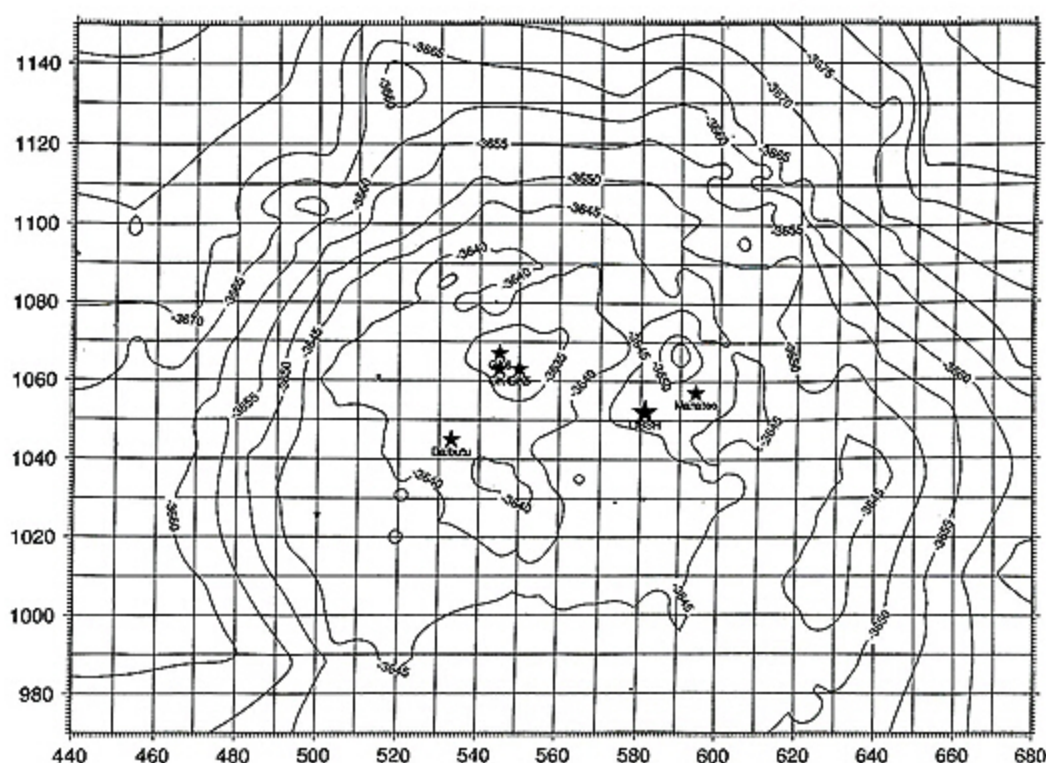


図4 TAG熱水マウンド上に設置された諸観測装置の位置。水深は「しんかい6500」による。等深線間隔は5m。★がOBShの位置。詳細は本文参照

Fig. 4 Several observation stations on the TAG hydrothermal mound. Bathymetry was obtained by "Shinkai 6500". Contour interval is 5m. A solid asterisk indicates the position of the OBSh. Details in the text.

側（減圧）の方が卓越しているが、正側へのパルス状の変動もいくつか見られる。周期も1分以内のものから数分に及ぶものまで存在する。これらの変動記録の拡大図を図8に示す。この例では、周期は約1分である。

図6に見られる変動の活発な時期のおよそ12時間周期が、海洋潮汐にどのように対応しているかを調べてみた。潮汐モデル CSR3.0 (Eanes, 私信) に基づく海洋潮汐の計算値とハイドロフォン及び上下動地震計記録の平

均振幅の絶対値を、横軸を時間にとってプロットしたものが図9である。OBSH 移動後より、ハイドロフォンの平均振幅値が海洋潮汐と強い相関を示すようになったことがわかる。この相関は、上下動地震計記録の平均振幅値との間には全く見られない。変動が活発になる時期は、海洋潮汐により海面が低くなる時間に対応している。

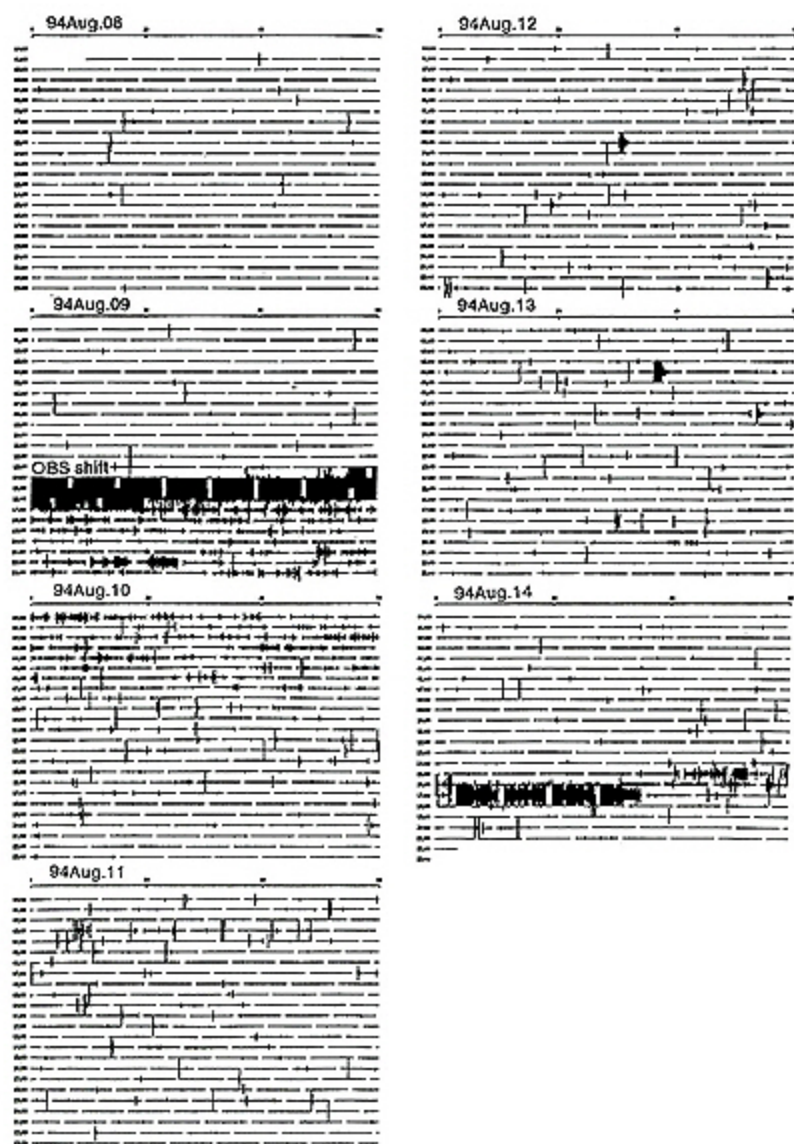


図5 OBSH の上下動地震計記録のドラムイメージ出力。1時間分の記録が1つの直線上に並べてある
Fig. 5 Drum image of the vertical high gain output of OBSH. The records for 1 hour are aligned on a trace.

4. 議論及びまとめ

大西洋中央海嶺北緯26度領域において1985年に実施された海底地震観測の結果、中軸谷付近には活発な微小地震活動の存在が確認されたが、TAG 熱水マウンドの近傍では地震活動は検知されなかった (Kong et al., 1992)。しかしながら、潜水調査船により海底地震計をTAG マウンド上に設置した観測により、マウンド直下で極微小地震が活発に発生していることが明らかになっ

た。これは、過去の実験では OBSH の設置が自由落下であるため観測位置が TAG マウンドから離れており、マウンド直下の極微小地震をとらえることができなかったためであると考えられる。

同一の OBSH を用いて、今回の実験を含めてこれまでに合計3回、熱水ベント近傍での海底地震観測を行っている (Kasahara et al., 1994; Sato et al., 1995; 笠原ほか, 1995)。共通に得られた結果は、地震計には記録され

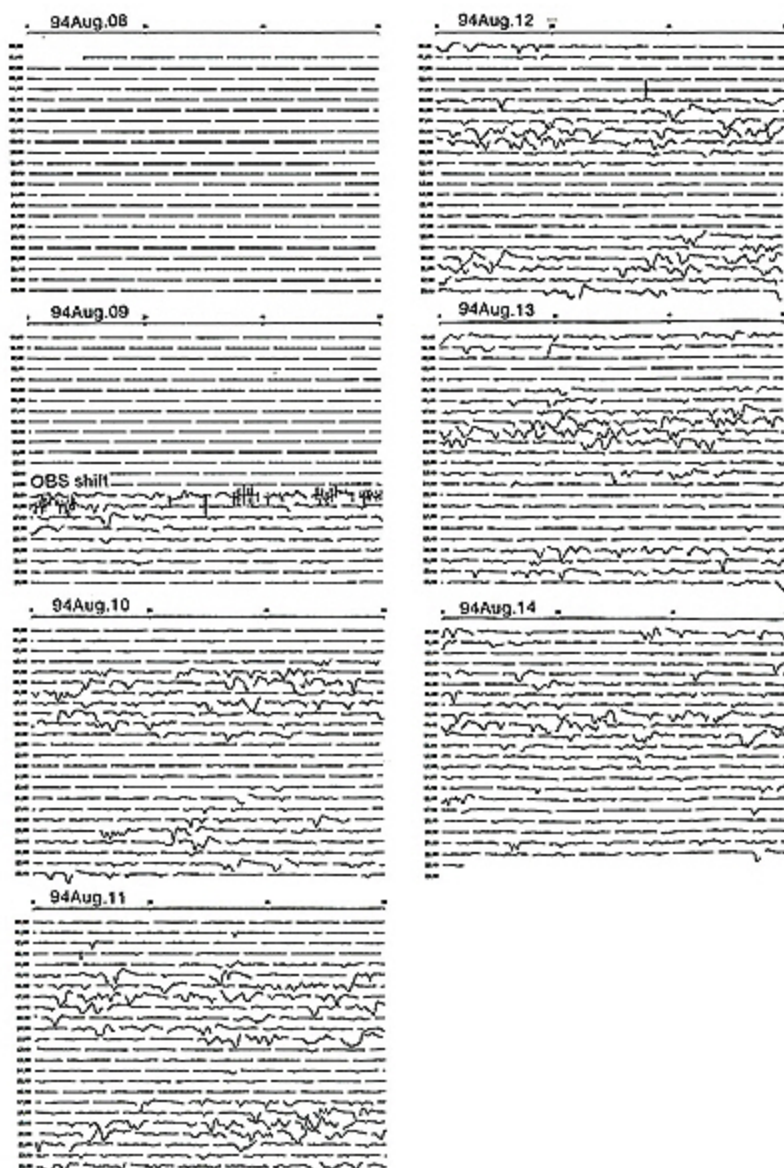


図6 OBSH のハイドロフォン記録のドラムイメージ出力。1時間分の記録が1つの直線上に並べてある。極性は、up が加圧に対応する

Fig. 6 Drum image of the hydrophone high gain output of OBSH. The records for 1 hour are aligned on a trace. Polarity is compression for up.

ない周期1分以上のバース状の変動がハイドロフォンには記録されるということである。バースはマリアナトラフでは約1分の長さを持ち、そのほとんどが負の立ち上がりを示した (Kasahara et al., 1994; Sato et al., 1995)。また、変動が活発となるのは、潮汐により海面の高さが高いときであった。一方、沖縄トラフ伊平屋海嶺での観測結果は、変動継続時間はマリアナトラフの約1分に比べて3分程度とやや長く、変動の開始は正負混在してい

る (笠原ほか, 1995)。伊平屋海嶺での観測時には潜水船により近傍で温度を測定し、ハイドロフォンの変動と温度変化が対応していることから、変動は割れ目からの熱水の湧昇流による圧力変動であると推定している。また、潮汐との関連性は海面の高さが low から high に変化するときに変動が観測された。

今回得られた結果は、バースの長さや極性は沖縄トラフ伊平屋海嶺での観測結果と同様であるが、潮汐との関

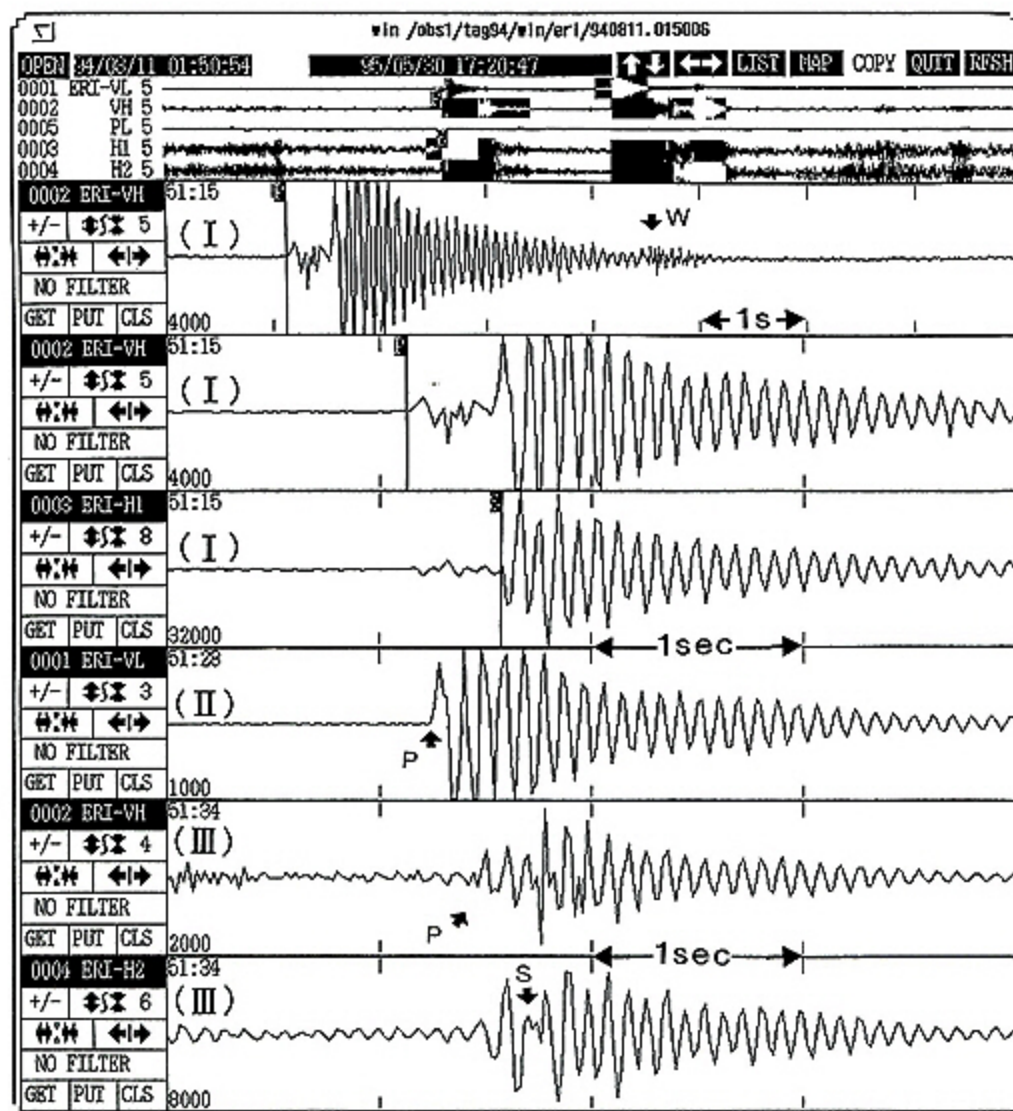


図7 OOSH のごく近傍で連続的に発生した3つの微小地震の記録例。P, Sはそれぞれの地震のP波, S波の到着時, Wは海面反射波を示す

Fig. 7 Seismograms of three micro-earthquakes occurred in succession. Signal components are marked on the left of each trace. P, S and W are arrival times of the compressional wave, shear wave and water-column multiple, respectively.

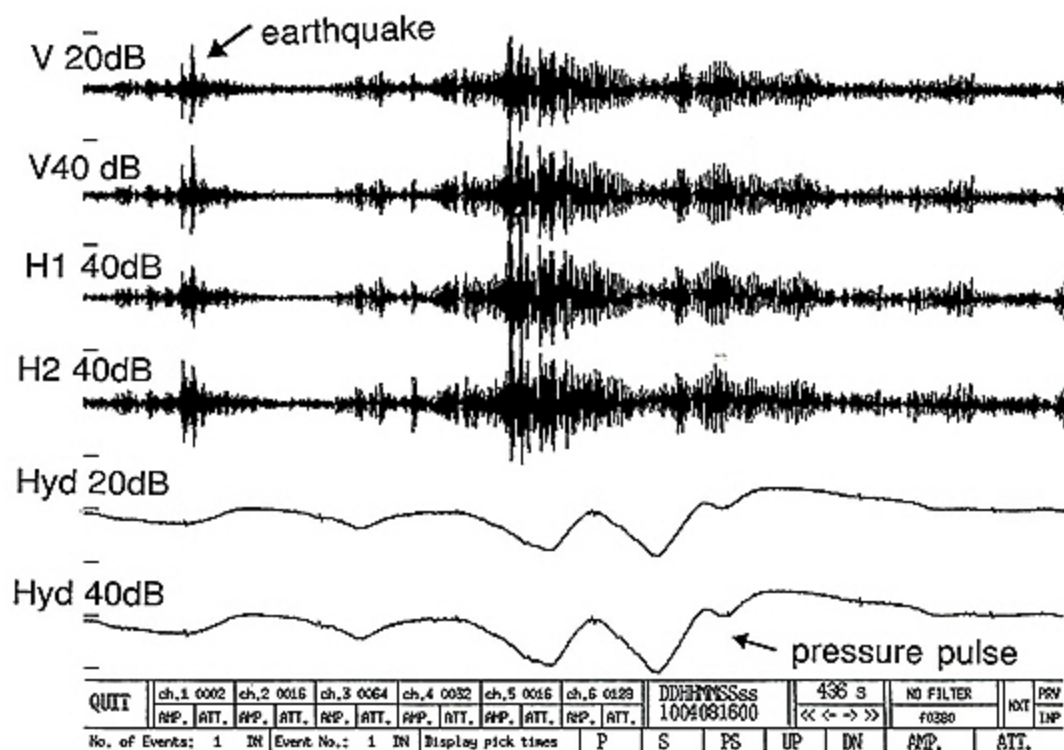


図8 OBSHで得られた記録例。1本のトレースの長さは436秒

Fig. 8 An example of seismograms obtained at the OBSH. Signal components are marked on the left of each trace. Length of each trace is 436 s.

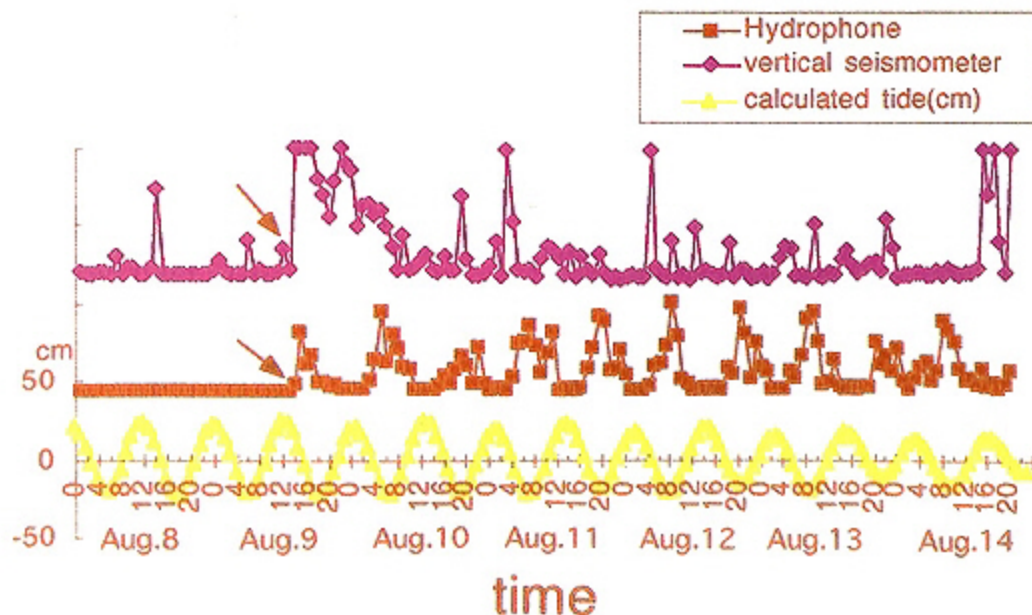


図9 CSR3モデル (Eanes, 私信) に基づく海洋潮汐の計算値とハイドロフォンと上下動記録の平均振幅の絶対値。矢印は潜水調査船「しんかい6500」による OBSH の移動開始時刻に対応する

Fig. 9 Calculated ocean tide on the basis of the CSR3 model by Eanes (personal communication) and absolute means of amplitudes of the vertical seismometer and hydrophone output. Arrows indicate the beginning of the OBSH movement by the submersible.

係はこれら2回の結果のどちらとも異なる。この相違の原因として、熱水ベント下の局地的な構造が潮汐との関連を決めているとも推定されるが、現在のところ不明である。おそらく、海洋潮汐を考慮したうえでの地球潮汐の評価が重要な手がかりとなるであろう。また、この活動のメカニズムを探るためには、同時に観測を行った鉛直型長期温度測定装置・長期熱流量観測装置・長期海底観察装置等のデータを参照していく必要がある。一方、今後、海嶺中軸谷の西部に設置した他の OBSH のデータと併せてこの地域の地震活動の性質を調べていく予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、海洋科学技術センター・海宝由佳、夔川敏暢氏、東京大学地震研究所・木下肇、是沢定之各氏の協力を得ました。水路部の佐藤敏氏には、海洋潮汐の計算をしていただきました。また、乗船研究者の方々、海洋科学技術センターの「よこすか」の船長をはじめ乗組員及び「しんかい6500」の運航チームの方々には大変お世話になりました。地形図は GMT (Generic Mapping Tool; Wessel and Smith, 1991) を用いて出力しました。記して感謝いたします。なお、この研究は科学技術振興調整費「海嶺におけるエネルギー・熱フラックスの解明に関する国際共同研究」(Ridge Flux 計画)の一環として実施された。

引用文献

Kasahara, J., T.Sato and K.Fujioka(1994): Intensive thermal upwelling at a seamount in the south Mariana Trough observed by ocean bottom seismic instruments using "Shinkai 6500" submersi-

- ble. JAMSTEC J. Deep Sea Res., 10, 163-173.
- 笠原順三・佐藤利典・是沢定之 (1995): 沖縄トラフ伊平屋海嶺の熱水地帯における OBSH による観測、地球惑星関連1995年合同大会予稿集, p.347.
- Kong, L.S.L., S.C.Solomon and G.M.Purdy(1992): Microearthquake characteristics of a mid-ocean ridge along-axis high. J. Geophys. Res., 97, 1659-1685.
- Purdy, G.M., J.-C.Sempere, H.Schouten, D.L.DuBois, R.Goldsmith(1990): Bathymetry of the Mid-Atlantic Ridge, 24-31°N: a Map Series. Mar. Geophys. Res., 12, 247-252.
- Sato, T., J.Kasahara and K.Fujioka(1995): Observation of pressure change associated with hydrothermal upwelling at a seamount in the south Mariana Trough using ocean bottom seismometer. Geophys. Res. Lett., 22, 1325-1328.
- Sempere, J.C., G.M.Purdy and H.Schouten (1990): Segmentation of Mid Atlantic Ridge between 34°N and 30°40'N. Nature, 344, 427-431.
- Smith, D.K. and J.R.Cann (1992): The role of seamount volcanism in crustal construction at the Mid-Atlantic Ridge (24-30°N). J. Geophys. Res., 97, 1645-1658.
- Wessel, P. and W.H.Smith(1991): Free software helps map and display data. EOS Trans. AGU, 72, 441, 445-446.

(原稿受理: 1995年6月30日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載



写真1 OBSHの落下地点の設置状況。OBSHは「しんかい6500」によって平坦な枕状溶岩の上に発見された
 Photo 1 Landing point of the OBSH. The OBSH was found on a flat pillow lava by "Shinkai 6500".



写真2

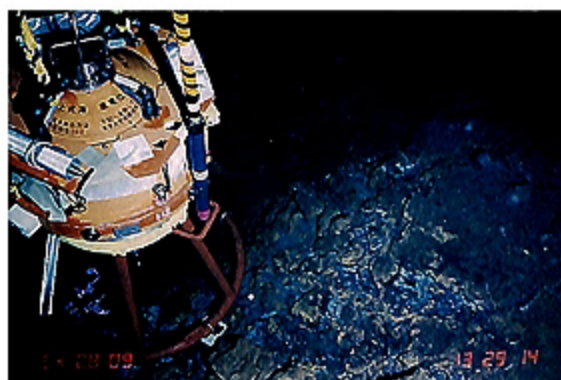


写真3

写真2, 3 ブラックスモーカー上のOBSHの再設置点
 Photo 2, 3 Settled point of the OBSH on a black smoker.