

Havre トラフ北端部における地震学的調査

1. 自然地震活動

西澤あずさ*1 阿部信太郎*2 高橋 成実*3 海宝 由佳*3

南西太平洋の背弧海盆の1つである Havre トラフ北端部において、小スパンハイドロフォン付海底地震計アレイを展開し、海底地震観測を行った。自然地震活動の解析結果は、地震活動は主にアレイの外側の北東部と南東部の2つの領域に集中していることを示した。アレイの北東部の地震活動の位置は Lau 海盆と Havre トラフの接合部にあたる水深 1,000 m 以浅の地形の高まりに対応し、南東部の活動はケルマデック海溝陸側斜面下に相当する。アレイ内及び近傍では地震活動が低く、活発な rifting や海洋底拡大の活動の存在を示すような特徴のある地震活動は検知されなかった。

キーワード : Havre トラフ, 海底地震観測, 微小地震活動

Ocean bottom seismographic study at the northern end of the Havre Trough

1. Seismic activity

Azusa NISHIZAWA*4 Shintaro ABE*5 Narumi TAKAHASHI*6
Yuka KAIHO*6

An ocean bottom seismographic (OBS) experiment is designed to investigate seismological features at the northern end of the Havre Trough, one of the backarc basins in the southwestern Pacific Ocean. Two seismically active regions are detected outside of the OBS array ; one is the region to the northeastern part of the array, bathymetric high area between the Lau Basin and Havre Trough ; the Other is to the southeast of the array, beneath the landward slope of the Kermadec Trench. Characteristic activities related to rifting and/or spreading were not observed in and around the OBS array.

Key words : Havre Trough, ocean bottom seismographic observation, microearthquake activity

* 1 海上保安庁水路部

* 2 電力中央研究所

* 3 海洋科学技術センター深海研究部

* 4 Hydrographic Department, Maritime Safety Agency

* 5 Central Research Institute of Electric Power Industry

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

1. はじめに

太平洋西縁の島弧—海溝系の背後には多くの背弧海盆が存在する。これらの背弧海盆のうち現在も活発に海底拡大が進行しているのは、沖縄トラフ、マリアナトラフ、Bismarck海、Woodlark海盆、北フィジー海盆、Lau海盆、Havreトラフであると考えられている(図1)。背弧拡大においては拡大軸がプレート収束境界に平行な方向に伝播することが一般的であると認識されるようになったが、進行しつつあるテクトニック場の解明のためには、活動を直接反映する浅発地震活動の観測は非常に有効な手段の1つである。

南太平洋に位置するトンガ海溝の背弧海盆にあたるLau海盆においてはこれまでにいくつかの地震学的実験が行われている。例えば、Eguchi *et al.* (1989) は1984年にLau海盆北部において海底地震計を用いて微小地震活動を調査した。図1右の赤星印が彼らの地震計の設置位置であり、この領域において雁行配列した海底拡大軸の微細構造を明らかにした。1988年には図1の青い四角内のCentral Valu Fa Ridge (CVFR) において地震探査が行われ、海底下約3 kmにマグマ溜まりが存在することが示された(Collier and Sinha, 1990; 1992a, b)。最近ではPeirce *et al.* (1996) がCVFRの重

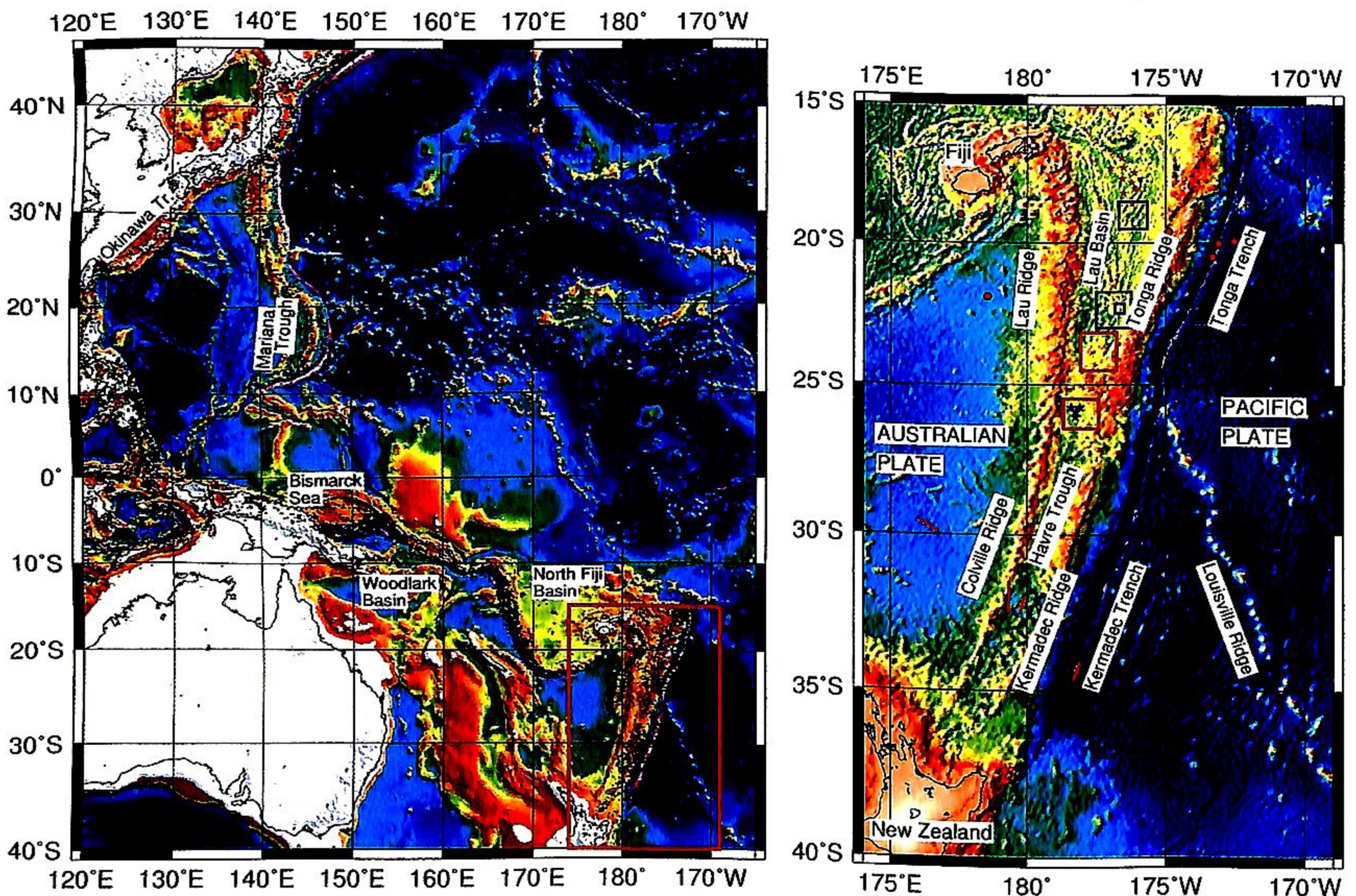


図1 左図：南西太平洋における1997年「よこすか」LAUHAVRE航海調査海域の位置(四角内)。海底地形図はETOPO5による。●は1980年から1990年までの $M \geq 5$ の震央の位置を示す(NGDCの地震データベースによる)。右図：Lau海盆及びHavreトラフ海域における本航海の地形精査域(赤枠で囲まれた領域)と海底地震計の位置(青星印)。過去の主な調査域の位置も重ねて示した。黒枠：R/V SonneによるSeaBeam dataの存在する範囲、青枠：Central Valu Fa Ridgeの精査域、赤星印：Eguchi *et al.* (1989)により設置された海底地震計位置、赤実線及び赤丸：Shor *et al.* (1971)による地震波速度構造探査位置。海底地形図はSandwell and Smith (1996)による

Fig. 1 Left: Location of the survey area of 1997 R/V "Yokosuka" LAUHAVRE cruise (red box). The bathymetry data are ETOPO5. Solid circles are epicenters with $M \geq 5$ during 1980-1990 (data from National Geophysical Data Center (NOAA) earthquake database). Right: Positions of detailed bathymetry survey areas (two boxes) and ocean bottom seismographs (blue asterisks) in the cruise. Main previous survey areas are also shown. Black box: SeaBeam data obtained by R/V Sonne, blue box: detailed survey area on the Central Valu Fa Ridge, red asterisks: OBS positions in 1984 experiment by Eguchi *et al.* (1989), red lines and circles: positions of seismic refraction survey by Shor *et al.* (1971). The bathymetry data are derived by Smith and Sandwell (1996).

複拡大軸において電磁気及び地震探査を実施した。これらの実験により Lau 海盆における海洋底拡大の様子が次第に明らかになってきている。

しかしながら，Lau 海盆の南部に位置する Havre トラフにおいてはニュージーランド北部を除いてはほとん

ど地球科学的探査は行われていない。背弧海盆が拡大しつつある様式，すなわち rifting または海洋底拡大のいずれが現在進行中であるのかを調べるための地震学的実験はほとんど行われていないのが現状である。

図 2 には Lau 海盆南部から Havre トラフ北端部にか

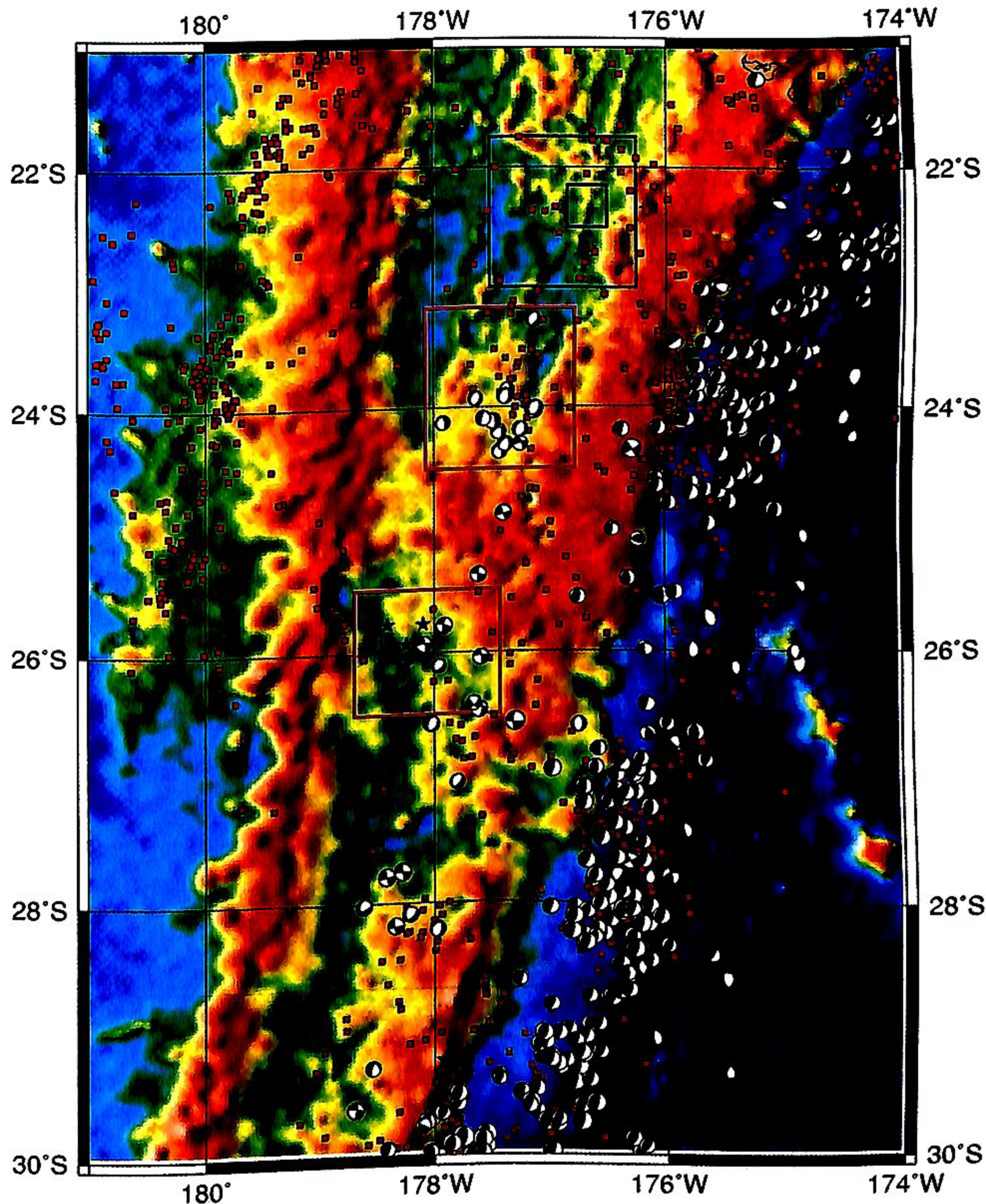


図 2 Lau 海盆南部から Havre トラフ北端部にかけての過去の地震活動。赤四角は NGDC の地震データベースによる 1980 年から 1990 年までの $M \geq 5$ の震央の位置，メカニズム解は 1977 年から 1994 年までの Harvard CMT カタログによる 50 km 以浅の地震のものである。Lau 海盆及び Havre トラフ海域における地形精査域をピンクの枠で，海底地震計の位置を青星印で示した。黒枠：R/V Sonne による SeaBeam 調査域，青枠：Central Valu Fa Ridge の精査域。海底地形図は Sandwell and Smith (1996) による。

Fig. 2 Seismic activity in the southern Lau Basin and northern end of the Havre Trough. Solid red squares are epicenters with $M \geq 5$ during 1980-1990 (data from National Geophysical Data Center (NOAA) earthquake database). Focal mechanisms of the earthquakes shallower than 50 km during 1977-1994 are by the Harvard centroid-moment tensor (CMT) catalog. Positions of detailed bathymetry survey areas and ocean bottom seismographs in the cruise are shown by pink boxes and blue asterisks, respectively. Black box : SeaBeam survey area by R/V Sonne, blue box : detailed survey area on the Central Valu Fa Ridge. The bathymetry data are derived by Smith and Sandwell (1996).

けての過去の地震活動を示した。赤四角は NGDC の地震データベースによる 1980 年から 1990 年までの $M \geq 5$ の震央の位置，メカニズム解は 1977 年から 1994 年までの Harvard CMT カタログによる 50 km 以浅の地震のものである。この図から地震は一様に生じているのではなく，いくつかの領域に集中していることがわかる。ほとんどの浅発地震は陸側海溝斜面下における太平洋プレートの沈み込みによる低角逆断層の地震であり，Louisville 海嶺がトンガ・ケルマデック海溝と交差する点の西側では地震活動が中断している。また，Lau 海盆南端及び Havre トラフ北端部の背弧域におけるピンクの枠で囲った領域では正断層と横ずれ断層タイプの地震が起こっている。特に Havre トラフ北端部では，正断層と横ずれ断層タイプの地震が半々の割合で観測されており，複雑な造構造活動の存在を示唆する。

Havre トラフ北端部を支配するテクトニクスを調べるために，1997 年海洋科学技術センター研究船「よこすか」LAUHAVRE 航海において小スパン海底地震計アレイを用いた海底地震観測を行った。この調査の主な目的は，(1) rifting や海洋底拡大あるいはマグマ活動に関連した微小地震活動の観測，(2) 人工震源としてエアガンを用いた地震波速度構造探査の 2 つに分かれるが，本論文では(1)の微小地震活動の解析結果について報告する。

2. 実験及びデータ解析

1997 年 1 月 16 日～2 月 3 日の期間に 4 台のハイドロフォン付海底地震計 (OBSH: Ocean Bottom Seismo-

graph and Hydrophone) を図 3 及び Table 1 に示す地点に，海洋科学技術センター研究船「よこすか」により設置した。OBSH の設置位置及び水深は GPS (Global Positioning System) に基づいて，自然地震観測と同時に行ったエアガンを用いた人工地震探査の各 OBSH における直達波の走時の inversion により決定した。各 OBSH 内の時計は OBSH の設置直前と回収直後に GPS との較正を行っており，この時の誤差は 1 ms 以内である。

観測に使用した OBSH はガラス球耐圧容器を用いた自己浮上式 (金澤, 1986) であり，センサーとしては固有周波数 4.5 Hz 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。OBSH レコーダーは，記憶媒体に容量 1.5 GB，長さ 90 m の DAT (Digital Audio Tape) を用いており (篠原ほか, 1993)，4 チャンネル (ch) まで記録可能である。4 台の OBSH のうち HDJ3 及び 4 はこの DAT レコーダーをそれぞれ 1 台ずつ，HDJ1 と 2 はそれぞれ 2 台ずつ内蔵している。サンプリング周波数として各 ch あたり 100 Hz，1 サンプルを 16 ビットとした結果，HDJ3 及び 4 では約 17 日間，HDJ1 と 2 では約 34 日間の連続記録を得ることができる。すべての ch の増幅器利得を 60 dB とし観測を実施した。

OBSH 設置前に調査予定域においてマルチナロービーム音響測深機，シングルチャンネル音波探査，地磁気及び重力を含む精密な site survey を実施した。図 3 は「よこすか」搭載のマルチナロービームシステム HS10 によって得られた海底地形図である。観測域の北東部及び

表 1 海底地震計の設置位置
Table 1 Location of OBSHs

| Instrument | Latitude(S) | Longitude(W) | Depth(m) | date(GMT) | others |
|------------|-------------|--------------|----------|--------------|-------------------------|
| HDJ1 | 26° 05.900' | 178° 15.025' | 2504 | Jan.15 19:30 | deployment retrieval |
| | 26° 06.075' | 178° 14.931' | 2490 | Feb. 3 1:40 | |
| HDJ2 | 25° 56.004' | 178° 14.947' | 2548 | Jan.15 23:32 | deployment retrieval |
| | 25° 56.079' | 178° 15.040' | 2550 | Feb. 2 21:22 | |
| HDJ3 | 25° 46.006' | 178° 24.916' | 2498 | Jan.16 19:45 | deployment retrieval |
| | 25° 46.111' | 178° 25.058' | 2501 | Feb. 3 18:27 | |
| HDJ4 | 25° 45.982' | 178° 5.944' | 2349 | Jan.17 1:28 | deployment retrieval |
| | 25° 45.954' | 178° 5.875' | 2347 | Feb. 3 5:49 | |

南東部は海底地形の起伏が激しいので、西部の比較的平坦な領域を選んで OBSH を設置した。OBSH の設置間隔はおよそ 25 km である。

観測期間中の地震活動の全容をつかむために、各 OBSH の DAT 記録からドラムイメージの出力を作成した。図 4-7 にはそれぞれの OBSH の地震計の水平動成分の出力例を示す。図中 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。18 分 17 秒毎に記録が

62 秒間中断しているのは、OBSH の DAT 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。

ドラムイメージの記録をもとに 2 台以上の OBSH で共通に記録されているイベントを選び、イベントリストを作成した。ノイズとの判別のつきにくい微小のものを含めると、1997 年 1 月 17 日から 2 月 2 日までの 17 日間でイベント数は 105 個であった。このイベントリス

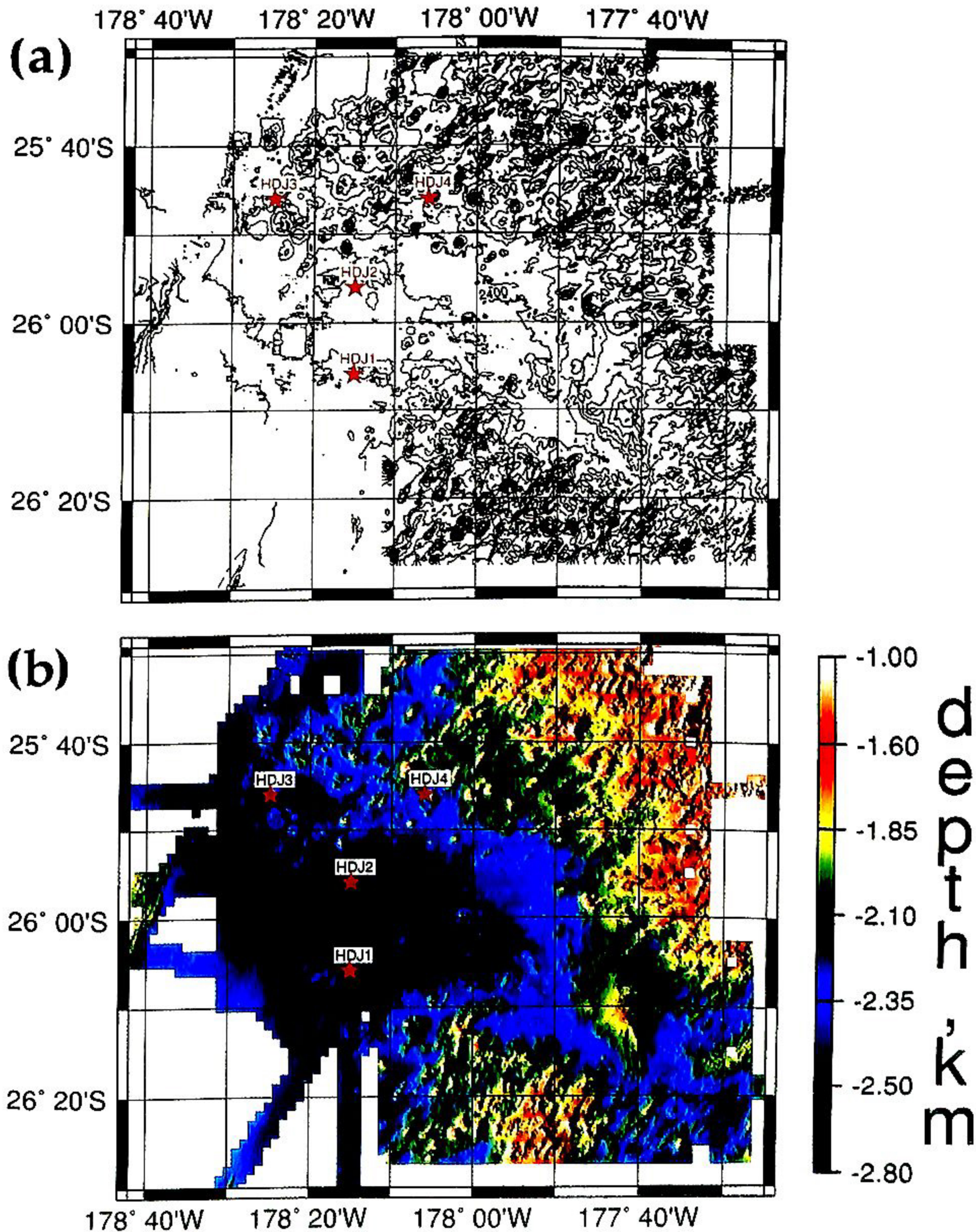
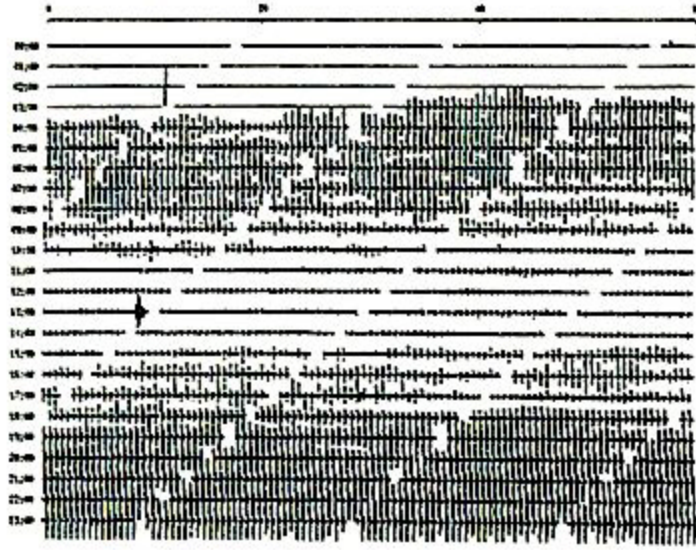


図 3 (a)海底地震計の設置位置 (赤星印)。水深値は、海洋科学技術センター研究船「よこすか」の HS10 による。等深線間隔は 100m。(b)陰影図。西北西側より光を当てたイメージを示す

Fig. 3 (a) Positions of OBSHs (red asterisks) with bathymetry at the northern end of the Havre Trough. The bathymetry was obtained by R/V "Yokosuka" HS10 multi-beam system. Contour interval is 100 m. (b) Shaded relief plot of the same region of (a). Illumination angle is from the west-northwest.

HDJ1

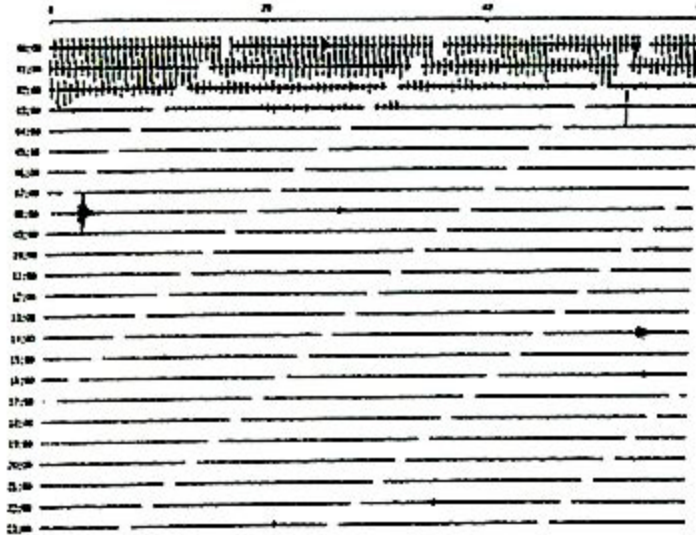
97Jan.17



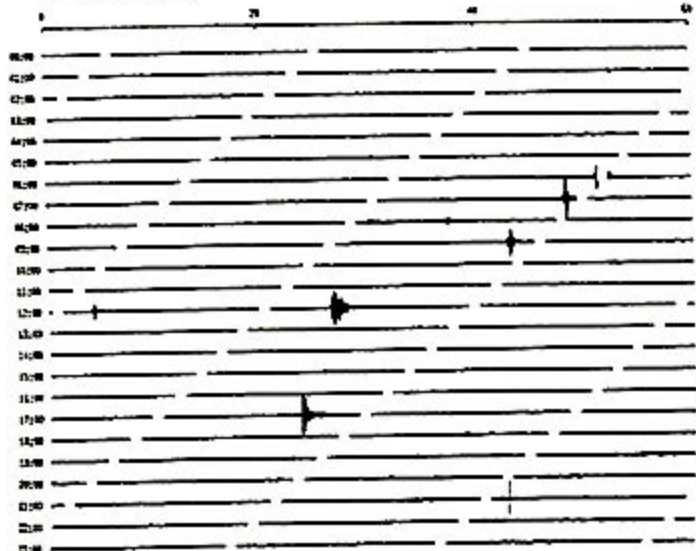
97Jan.18



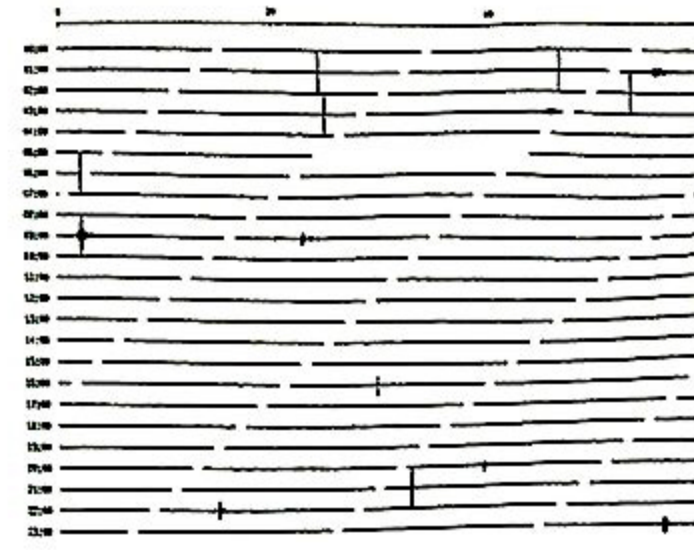
97Jan.19



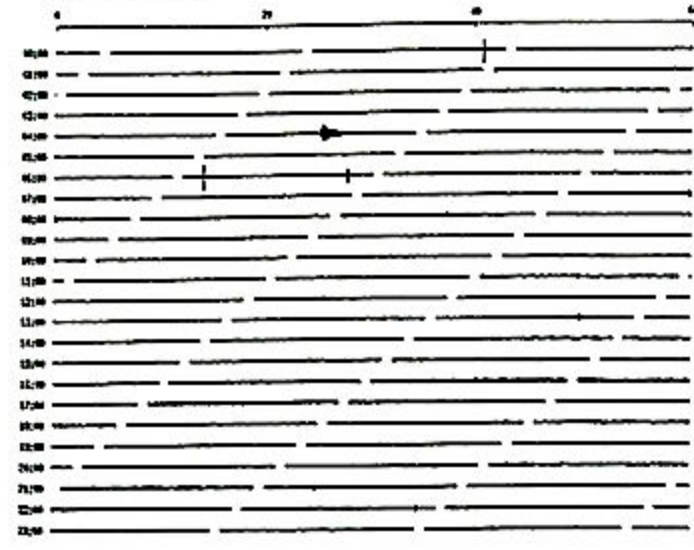
97Jan.20



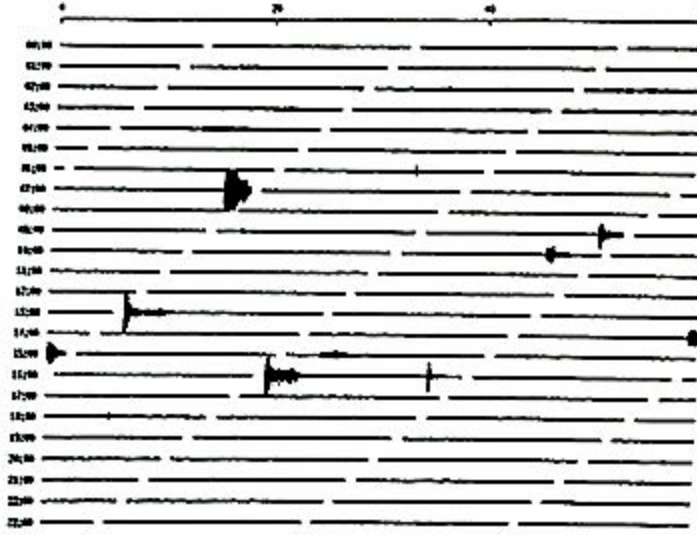
97Jan.21



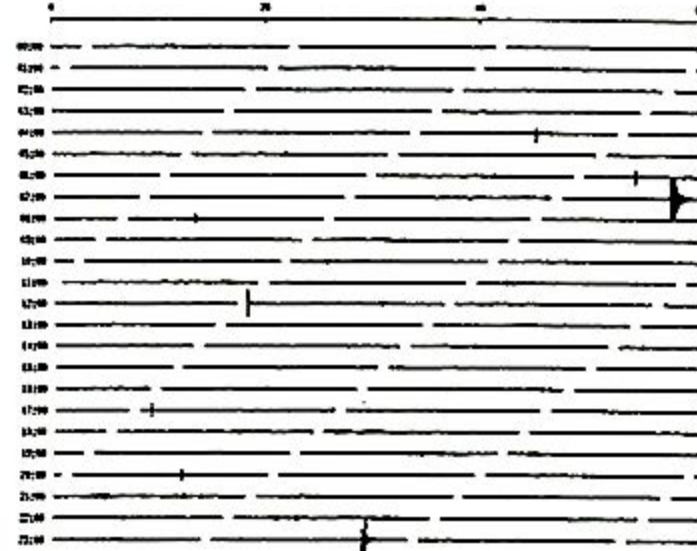
97Jan.22



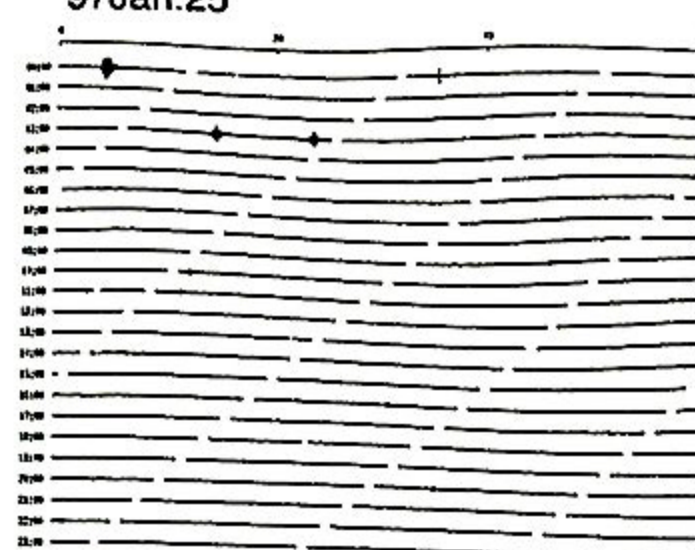
97Jan.23



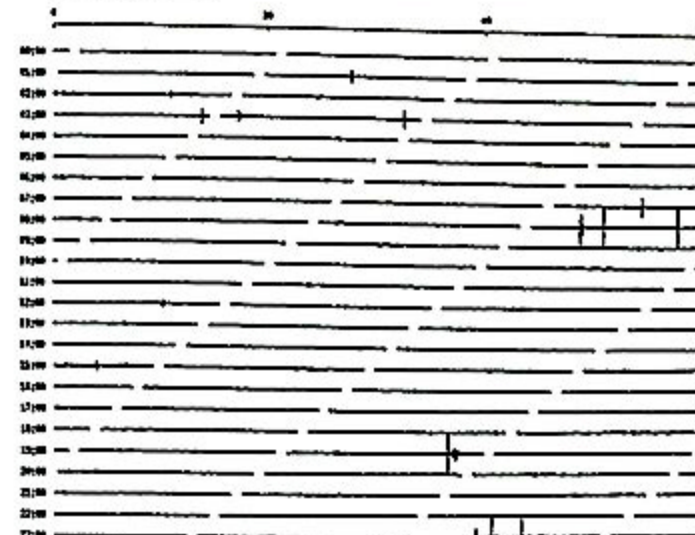
97Jan.24



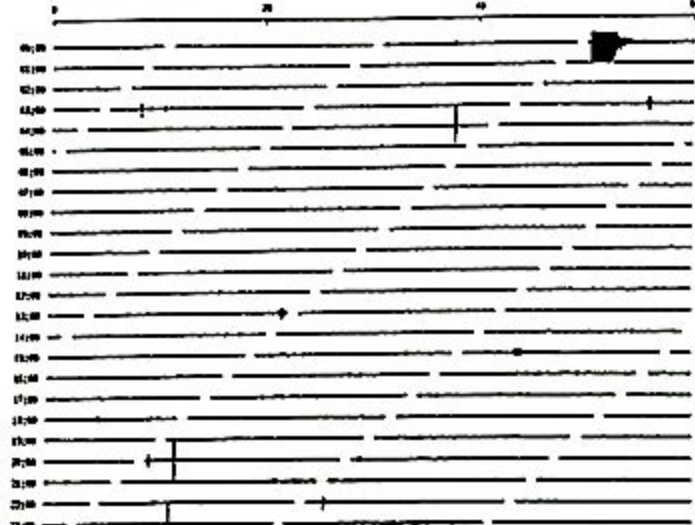
97Jan.25



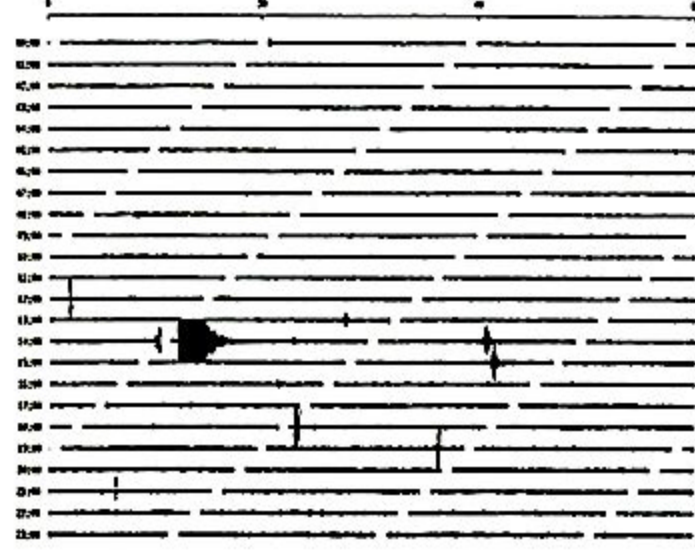
97Jan.26



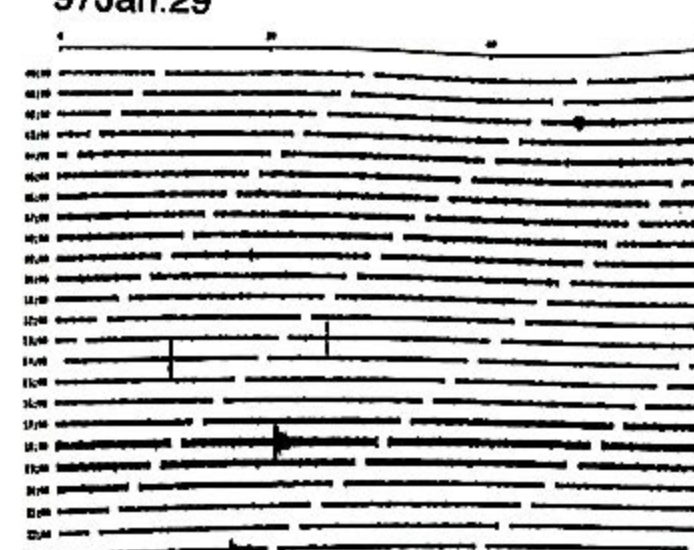
97Jan.27



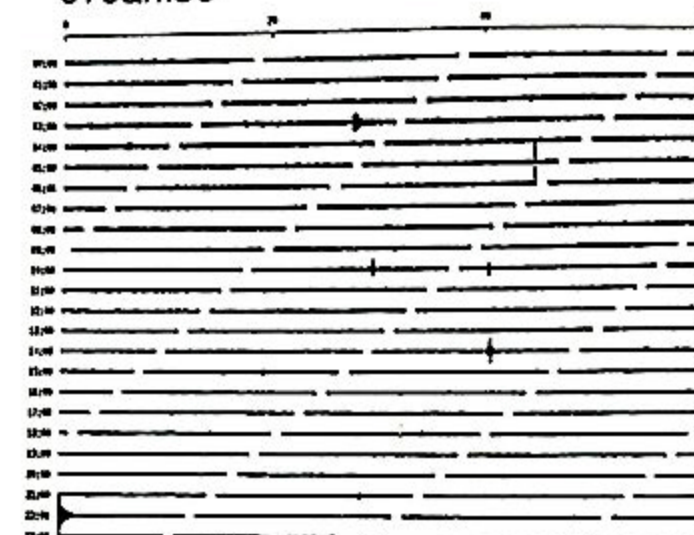
97Jan.28



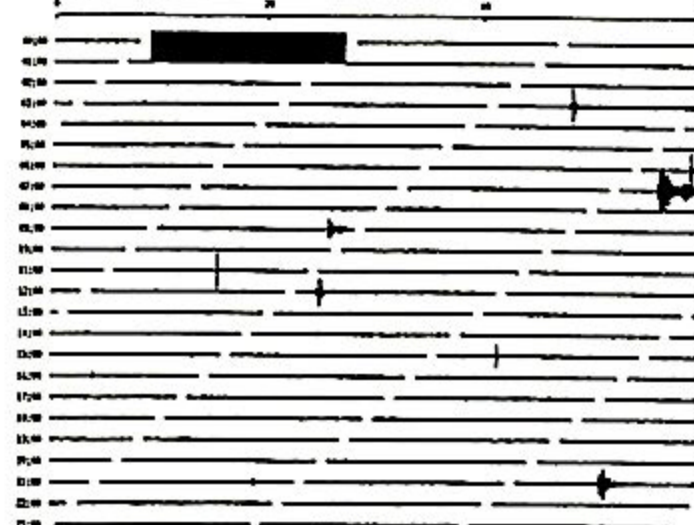
97Jan.29



97Jan.30



97Jan.31



97Feb.01

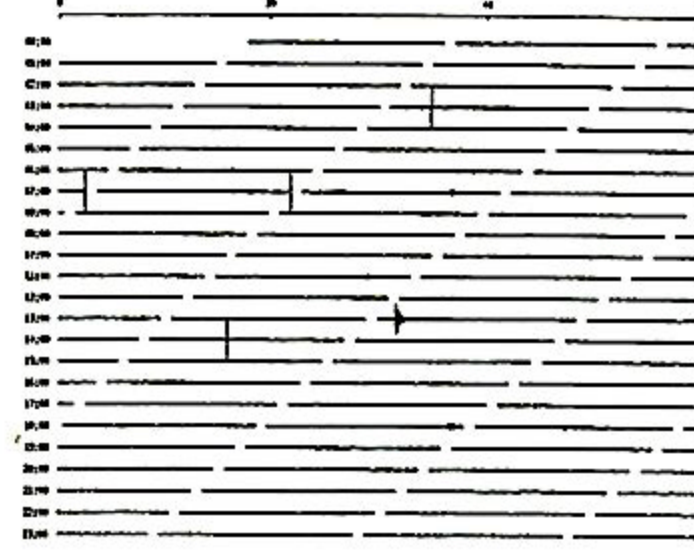


図 4 HDJ1 の水平動地震計記録のドラムイメージ出力。1 時間分の記録が 1 つの直線上に並べてある

Fig. 4 Drum image records during the observation period for the horizontal seismometer output of OBSH station HDJ1. The records for 1 hour are aligned on a trace.

HDJ2

HDJ2

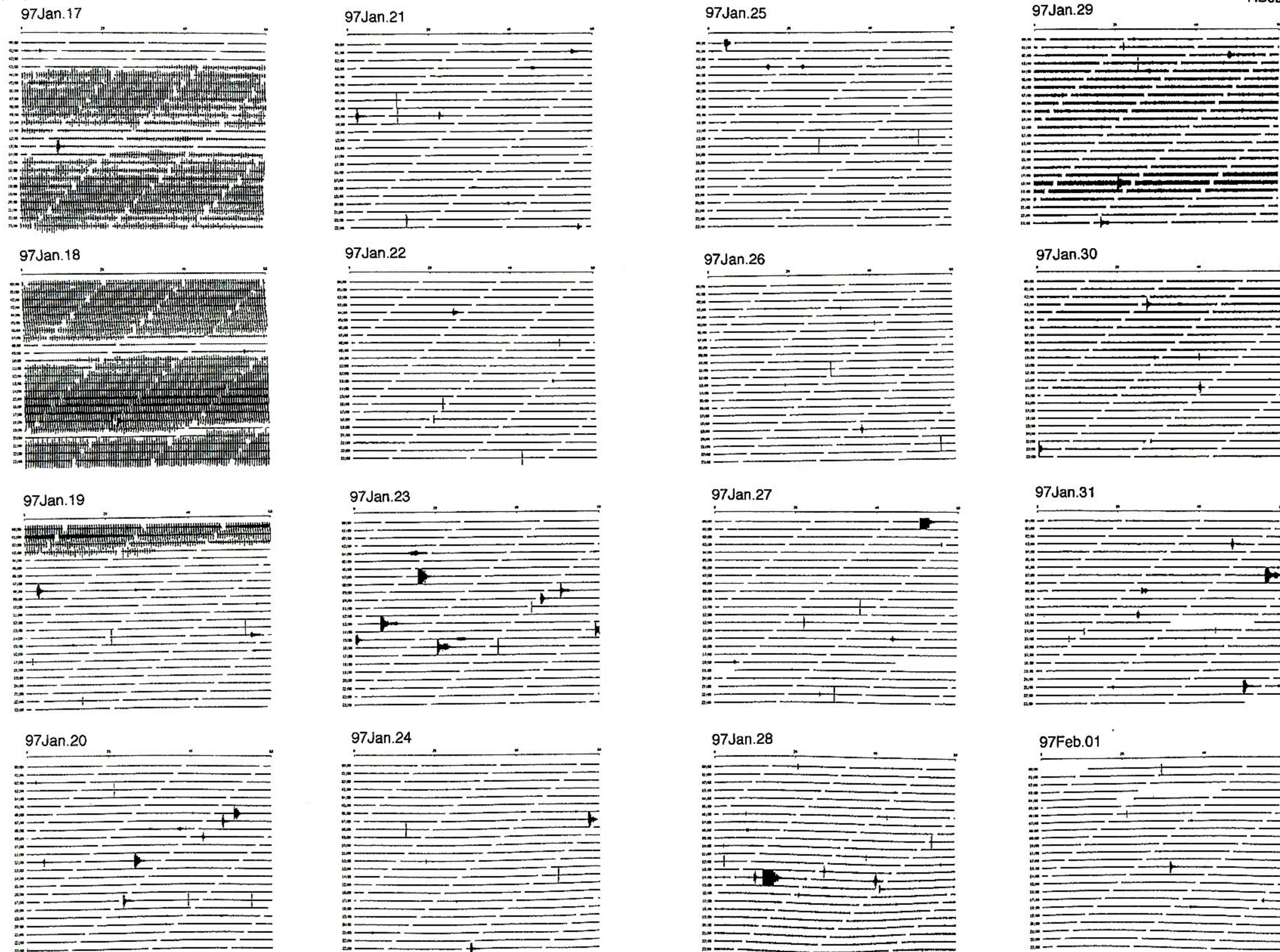


図 5 HDJ2 の水平動地震計記録のドラムイメージ出力
 Fig. 5 Same as Fig. 4 but for the OBSH station HDJ2.

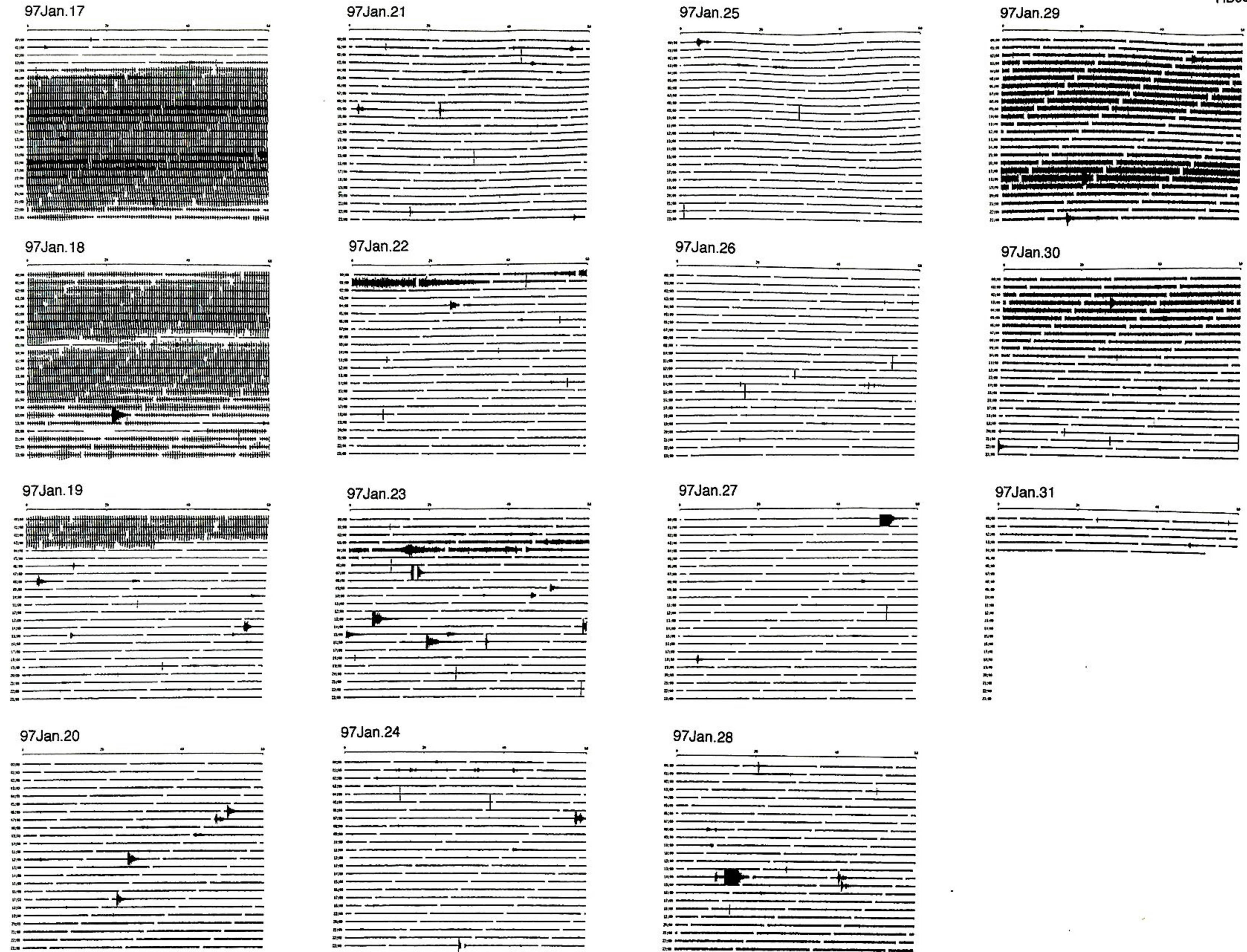


図 6 HDJ3 の水平動地震計記録のドラムイメージ出力
 Fig. 6 Same as Fig. 4 but for the OBSH station HDJ3.

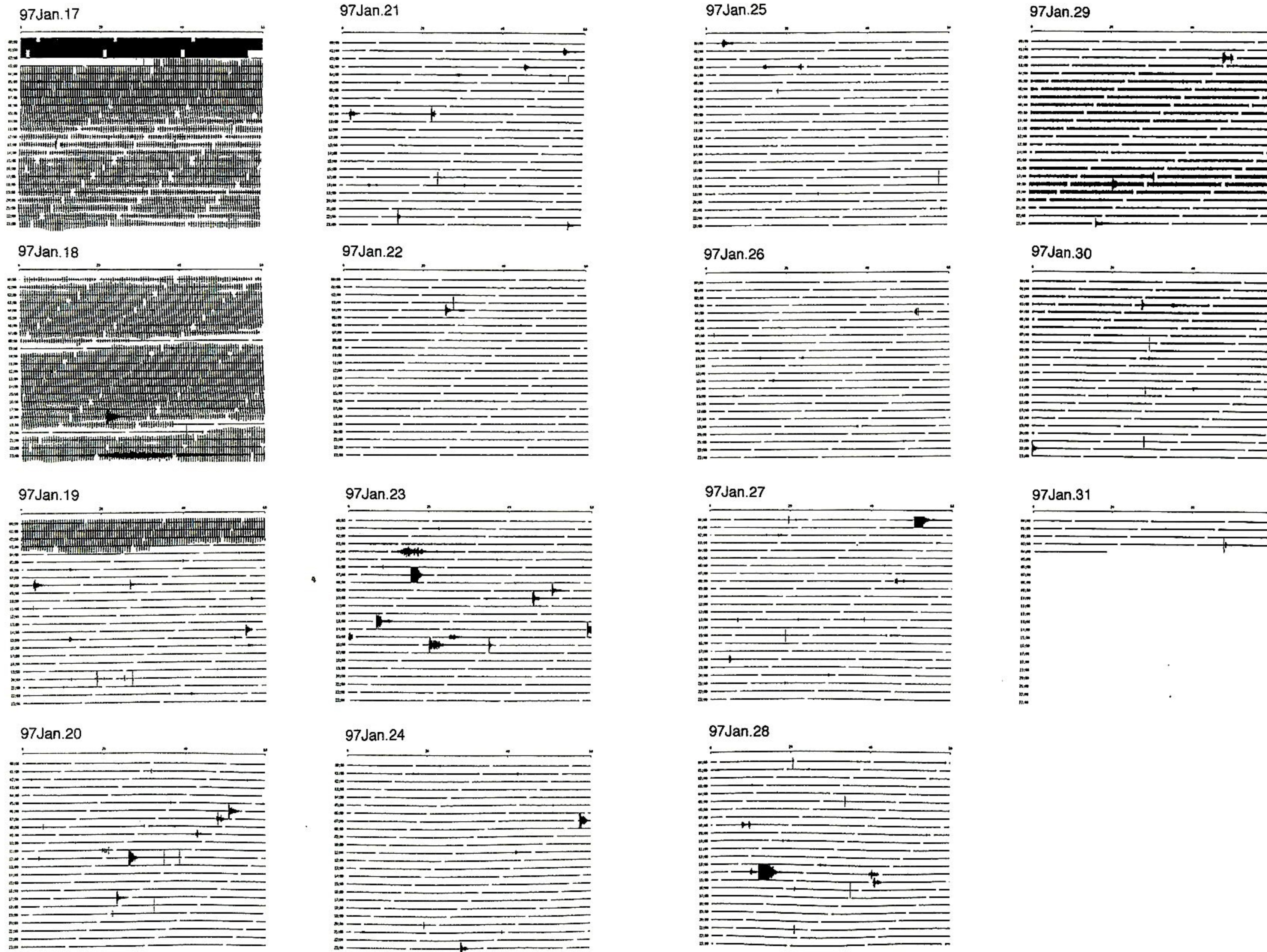


図 7 HDJ4 の水平動地震計記録のドラムイメージ出力
 Fig. 7 Same as Fig. 4 but for the OBSH station HDJ4.

トに基づいて地震部分のデータの切り出しを行い、波形
 観測プログラム win (ト部・東田, 1992) を用いて P
 波及び S 波の到着時刻の読み取りを行った。

震源決定プログラムとしては Matsu'ura and Hirata
 (1987) の HYPOMH 及び Lienert *et al.* (1986) HYPO-
 CENTER を用いた。P 波の速さ構造モデルには、今回
 の航海で行ったエアガンを用いた人工地震探査の結果
 (高橋ほか, 1997) を簡略化し、図 8 に示した構造を使
 用した。震源決定時には、走時の読み取り誤差 0.1, 0.2,
 0.3, 0.5 秒に対して重みをそれぞれ 1, 0.5, 0.25, 0.125 と
 し、さらに P 波読み取りに対する S 波の読み取りの重
 みを 0.2 として計算している。P 波に対する堆積層補正
 (遅れ) は、やはり構造探査の結果に基づいて HDJ1~
 HDJ4 に対してそれぞれ 0.9, 0.7, 0.6, 0.4 秒とした。ま
 た、堆積層の Vp/Vs は 2.0, それ以深では 1.73 を仮定
 した。

3. 結 果

図 4-7 の各 OBSH のドラムイメージの記録をみる
 と、観測期間の調査域の地震活動が低いことがわかる。
 1 つの OBSH のみに観測されるような極微小地震はほ
 とんどない。1 月 17 日から 19 日の 4 時までに見られ
 るヒゲ状の記録はエアガンの信号である。また、1 月
 29 日から 30 日前半にかけてはすべての OBSH におい
 て雑音レベルが高くなっており、これはおそらく海況の
 悪化によるものと推定される。

観測された地震記象は主に以下の 2 つに分類するこ
 とができる。(1)複数の OBSH で P 波及び S 波の到着時
 刻が読み取ることのできる地震は、 $S-P$ 時間が 10-20
 秒の範囲にある。このタイプの地震の記象例を図 9 に
 示す。(2)各 OBSH に大振幅で記録された地震の多くは
 明瞭な S 波が検出できず、S 波の到着時刻を読みとる
 ことができない。これらの地震の P 波初動の周期は
 0.25-0.4 秒と(1)の地震にくらべて長いという特徴を持
 つ。図 10 は(2)のタイプに属する地震波形例である。こ
 れは QED (Quick Earthquake Determination) の報告
 によればフィジー南部の深さ 600 km で生じた地震とさ
 れている。

図 11 は図 9 で示した地震について震源決定プログラ
 ム HYPOMH (Matsu'ura and Hirata, 1987) を用いて
 計算した結果である。各 OBSH での $S-P$ 時間は 16-21
 秒であり、一番近い HDJ1 からでも約 150 km 離れた地
 点に震源が推定された。誤差楕円の大きさからも示され
 るように、震源の深さを正確に決定することはできな

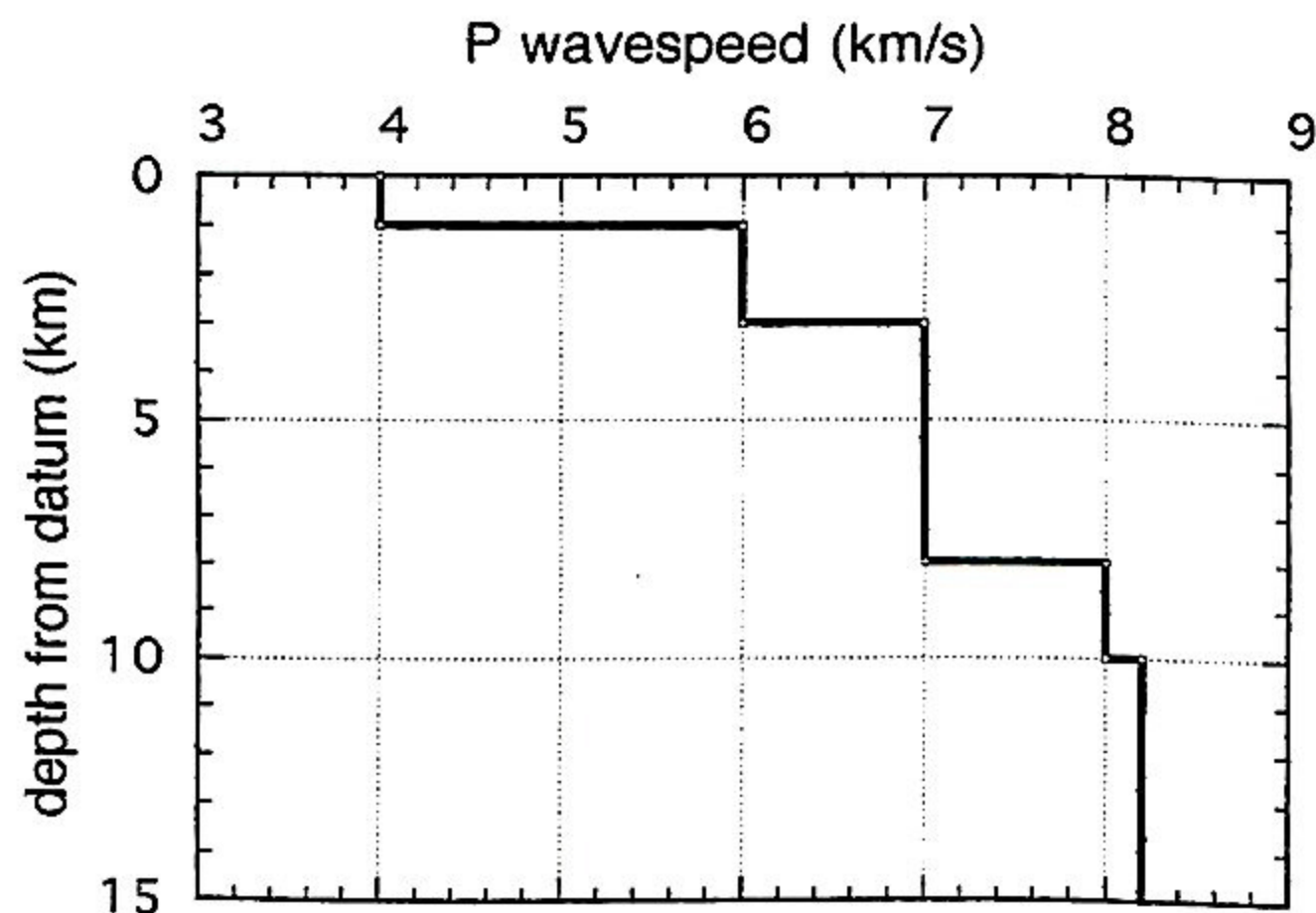


図 8 震源決定に用いた P 波速さ構造
 Fig. 8 P wavespeed structure for hypocenter determination.
 This structural model is based on the results of the
 refraction experiment (Takahashi *et al.*, 1997, this is-
 sue).

い。

一方、(2)のタイプの地震に対しては P 波の読み取り
 が 4 つある場合には震源を計算することは可能である
 が、初期震源の深さの与え方によって震央の位置が
 100 km 以上も変動し、安定した解を得ることができな
 い。よって本論文では、S 波の読み取り値を 1 つ以上含
 むイベントに対して震源決定の結果を示すことにする。
 この基準により震源決定プログラム HYPOCENTER
 (Lienert *et al.*, 1986) を用いて震源決定された総数 22
 個の震央を図 12 にプロットした。

地震活動は主に 2 つの領域に集中しており、一方は
 海底地震計アレイの北東部であり、他方は南東部で、ア
 レイ内には地震活動は見られなかった。アレイの北東部
 の地震活動の位置は、Lau 海盆と Havre トラフの接合
 部にあたる水深 1,000 m 以浅の地形の高まりに対応す
 る。また南東部の活動はケルマデック海溝陸側斜面下
 において等深線にほぼ平行に生じているように見える。

4. 議論及びまとめ

海域における微小地震活動は、その地域でどのような
 テクトニクスが現在進行しているかを示す重要な情報を
 与える。しかしながら、今回の実験の観測期間はおおよ
 16 日間と短いものであり、調査域の一時的な地震活動
 を示している可能性もあるため、過去の地震活動との比
 較を行った。図 13 は NGDC の地震データベースによ
 る 1980 年から 1990 年までの $M \geq 5$ の震央分布に、今
 回の海底地震観測で決定された地震の震央の位置を重ね

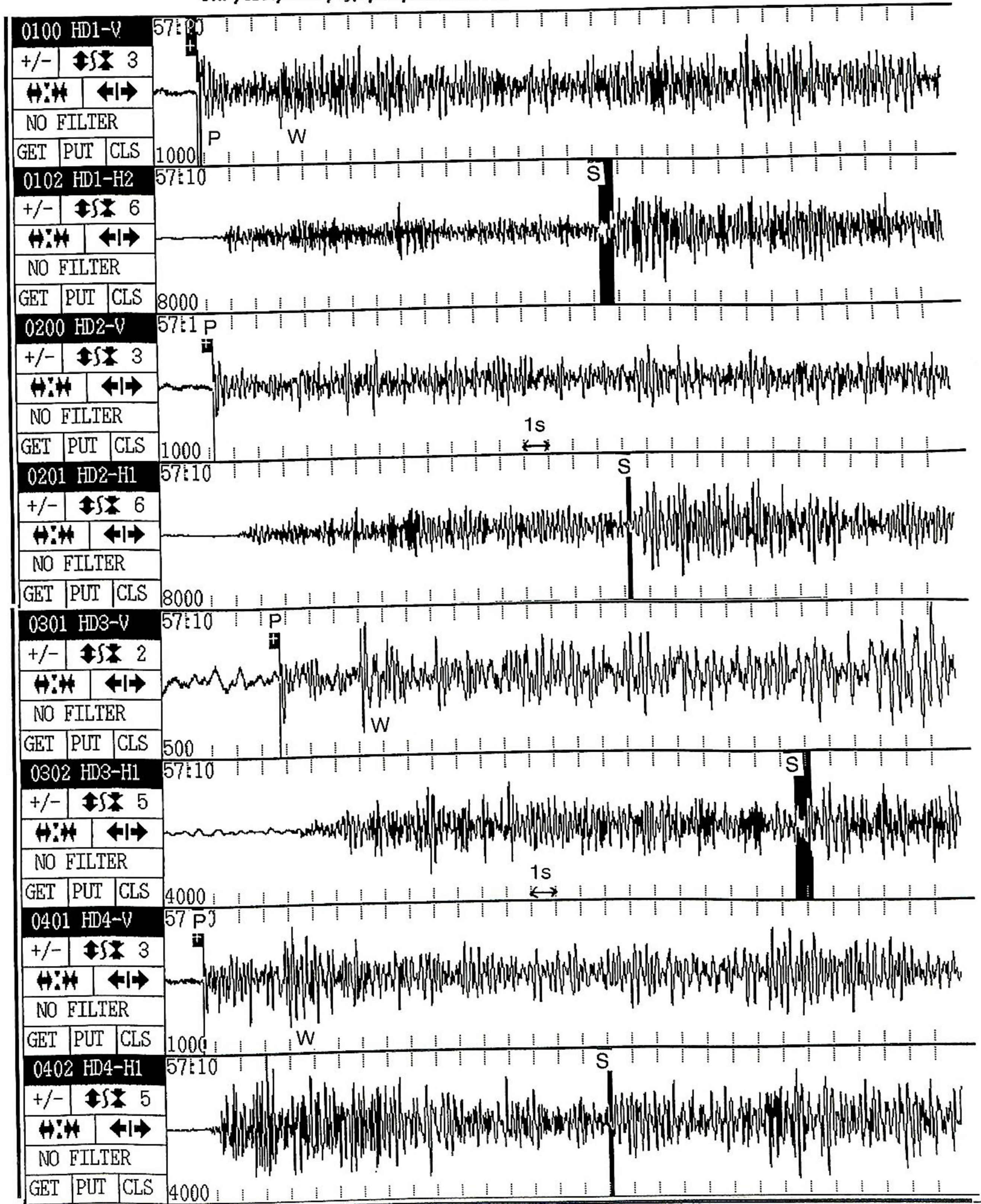


図 9 4 台すべての地震計で P 波, S 波の到着時刻を読みとることのできた微小地震の記録例。観測点名及び記録成分は、各トレースの左側に記載してある。P, S はそれぞれの地震の P 波, S 波の到着時, W は海面反射波を示す

Fig. 9 Example of seismograms with clear P and S wave arrivals. Station name and 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.

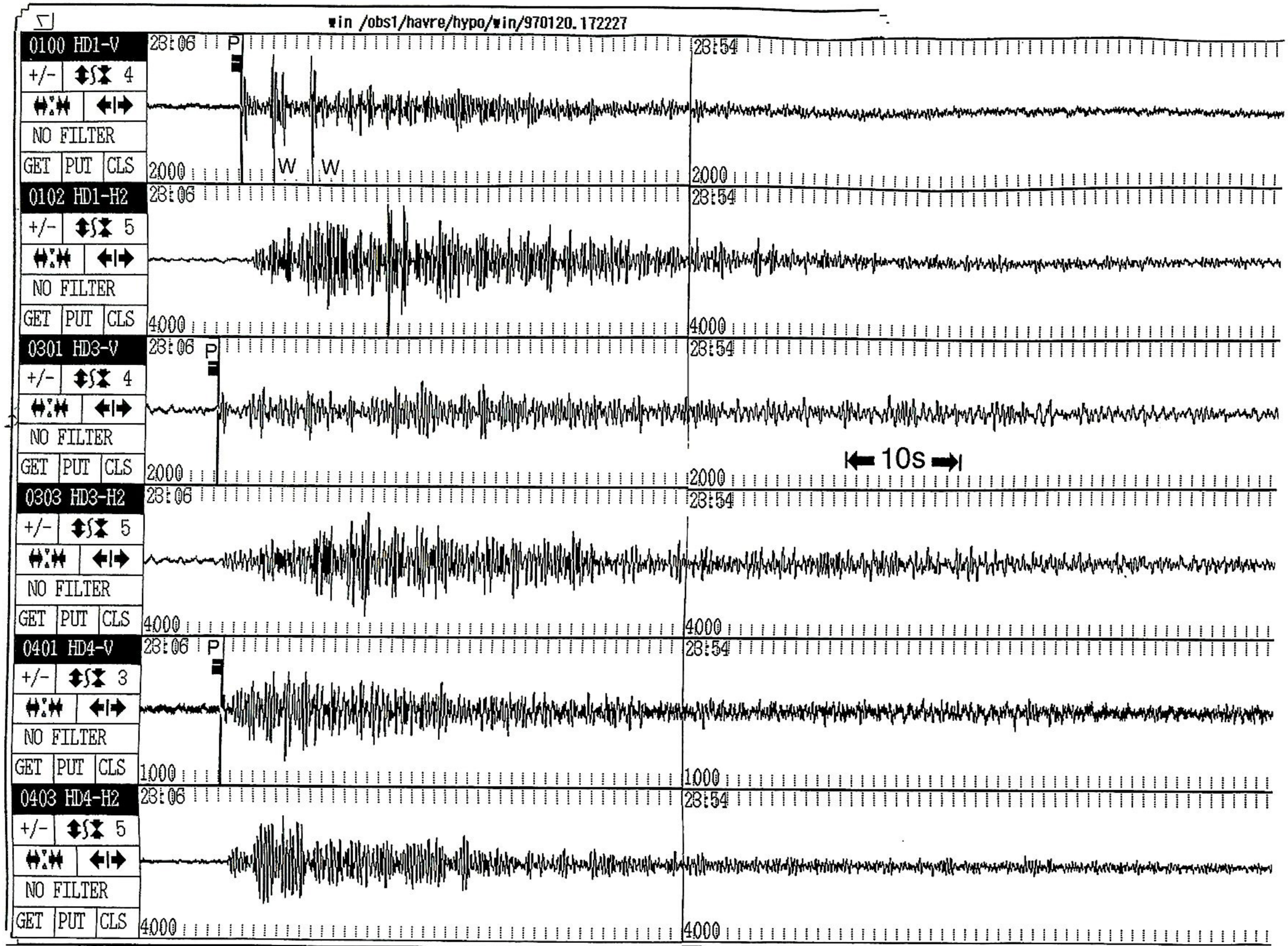


図 10 フィジーの南部で発生した深発地震の地震記象例
 Fig. 10 Seismogram of a deep event at south of Fiji.

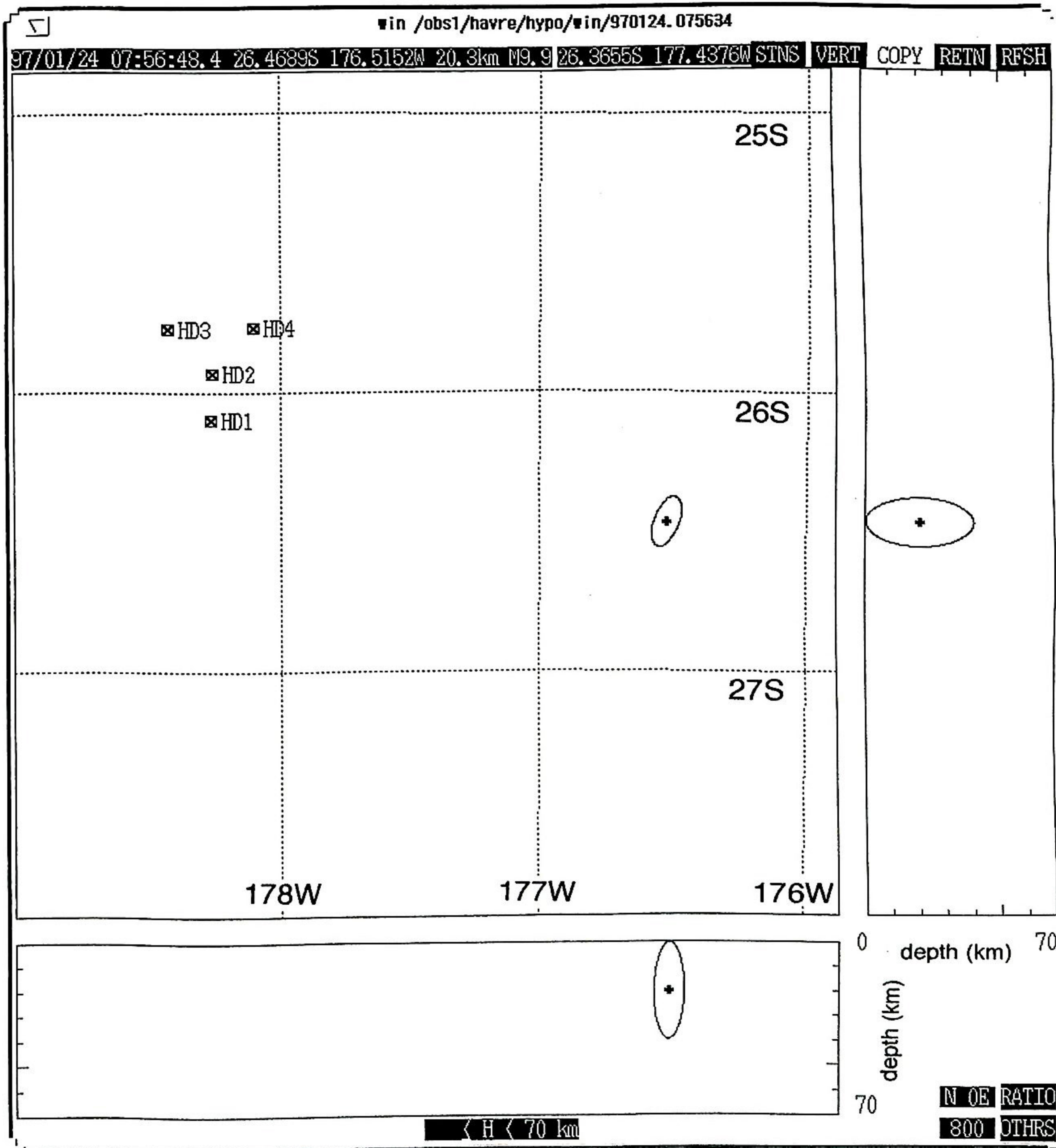


図 11 図 9 で示した地震に対して求められた震源の位置。誤差楕円も同時に示した
 Fig. 11 Hypocenter position of the event shown in Fig. 9. Error ellipse of the focus is also plotted. Square with cross indicates the position of OBSH.

て示したものである。海底地震計アレイの南東部の地震活動は、NGDCによる過去の活動域とほぼ一致しており、図3のメカニズム解からも推定されるように、太平洋プレートのオーストラリアプレート下への沈み込みによる低角逆断層タイプの活動であると考えられる。ま

た、アレイ北東部の活動域も過去に多少の活動が存在する領域に対応している。この活動はアレイの外にあるため震源の深さを制約できないが、そのメカニズムを決めることはこの地域の複雑なテクトニクスを決める上で興味深い。今後の課題となろう。一方、図3によれば

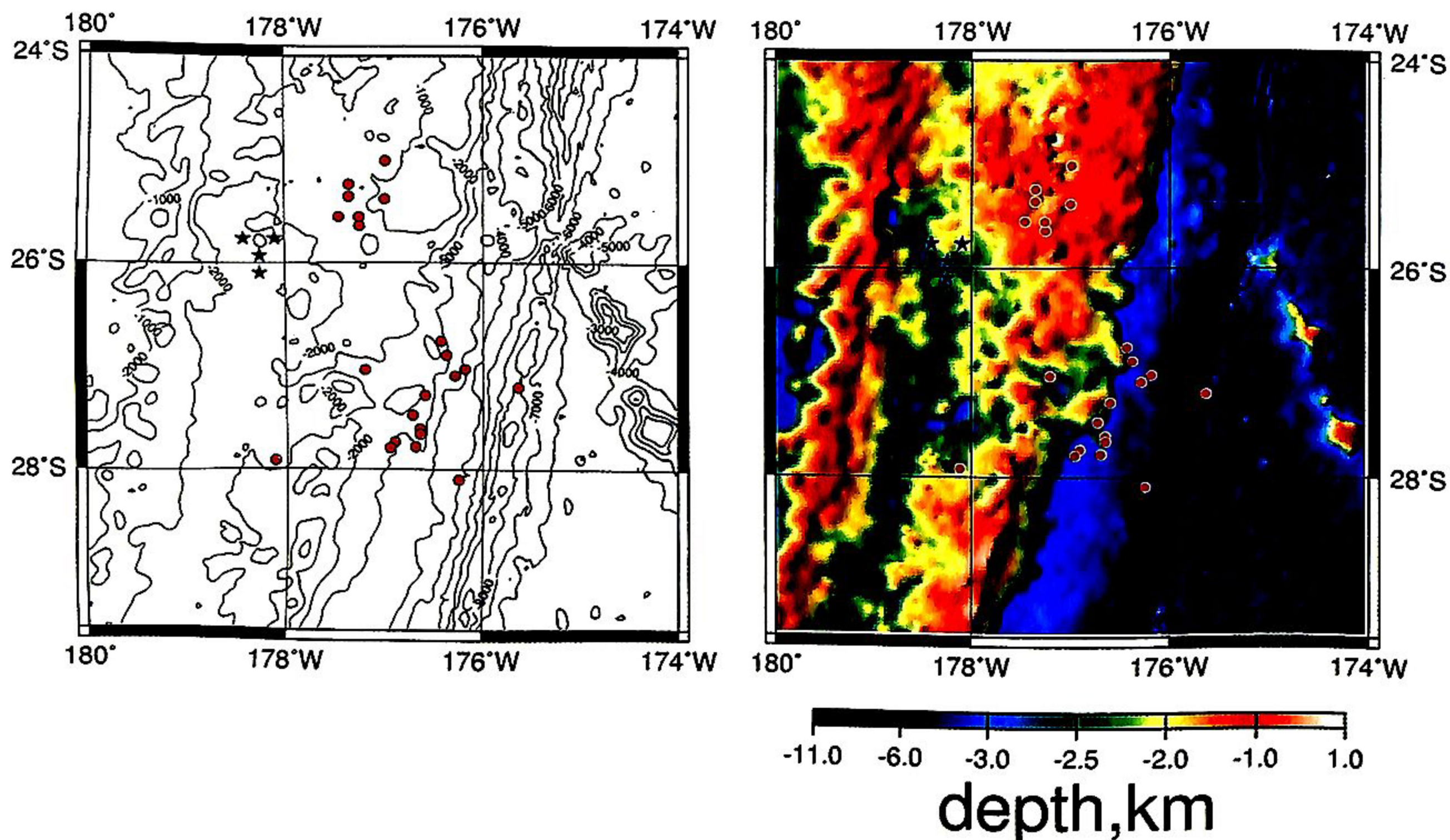


図 12 観測期間中に震源決定された地震の震央の位置。青星印と赤丸はそれぞれ OBSH の位置及び震央を示す。左は等深線図（等深線間隔は 1,000m）、右は陰影図

Fig. 12 Epicenter distribution determined by OBSH observation during the experimental period. Blue asterisks and red circles are positions of OBSHs and epicenters, respectively. Left figure is contour map (contour interval : 1,000 m) and right is shaded relief map.

Lau 海盆南端部の南緯 24 度近傍では正断層タイプの地震活動が活発であり、この地域における rifting あるいは海洋底拡大の可能性を示唆しているが、今回の観測ではこの地域の活動は検出されなかった。

Parson and Write (1996) は Lau-Havre-Taupo 系におけるテクトニックモデルを提唱している。彼らによれば、Havre トラフ南緯 32-26 度の範囲におけるテクトニクスとして rift graben を推定しているが、Havre トラフ北端部の本微小地震観測からは対応する活動の存在は示されなかった。

ここで、現在拡大を継続していると考えられている背弧海盆としてのマリアナトラフ及び沖縄トラフにおける海底地震観測について振り返ると、マリアナトラフ北緯 18 度付近ではたった 1.5 日間の観測においても S-P 時間が 3 秒以下の微小地震を 30 個以上も記録するような活発な地震活動が示された (Kasahara *et al.*, 1993)。また、中部沖縄トラフでは、海洋性地殻はまだ形成されていないが、いくつかの群発活動を含む活発な微小地震活動が観測されており、さらに地震記象上に P, S 相以外にマグマシートからの反射波と考えられる X 相が存在

するとしている (Nagumo *et al.*, 1984)。

一方中央海嶺域においては、低速拡大中の大西洋中央海嶺軸近傍の熱水マウンド TAG では活発な微小地震活動が検出されており (西澤ほか, 1995)、地震活動が低いとされている東太平洋海膨南部の高速拡大軸上に設置された OBSH でもマグマの共振を示唆するような単一周波数の減衰波形をもつ地震記象が多く記録されている (海宝ほか, 1996)。

上述の活動域における海底地震観測結果と比較すると、Havre トラフ北端部では地震活動が低く、得られた地震記象上にはいくつかの大振幅の相が見られるが何らかの規則性を示すような X 相は検出されず、特徴的な減衰波形も記録されていない。観測期間が短く普遍的なテクトニクスの性質をみることができなかった可能性が残されているが、現時点では調査域においては rifting あるいは海洋底拡大を特徴づけるような活発な活動はないことが示唆される。とはいえ、求められた地殻構造 (高橋ほか, 1997) は明らかに典型的な島弧の地殻より薄く何らかの変形を受けていることを示すが、変形は非常に緩やかに進行しているのかもしれない。

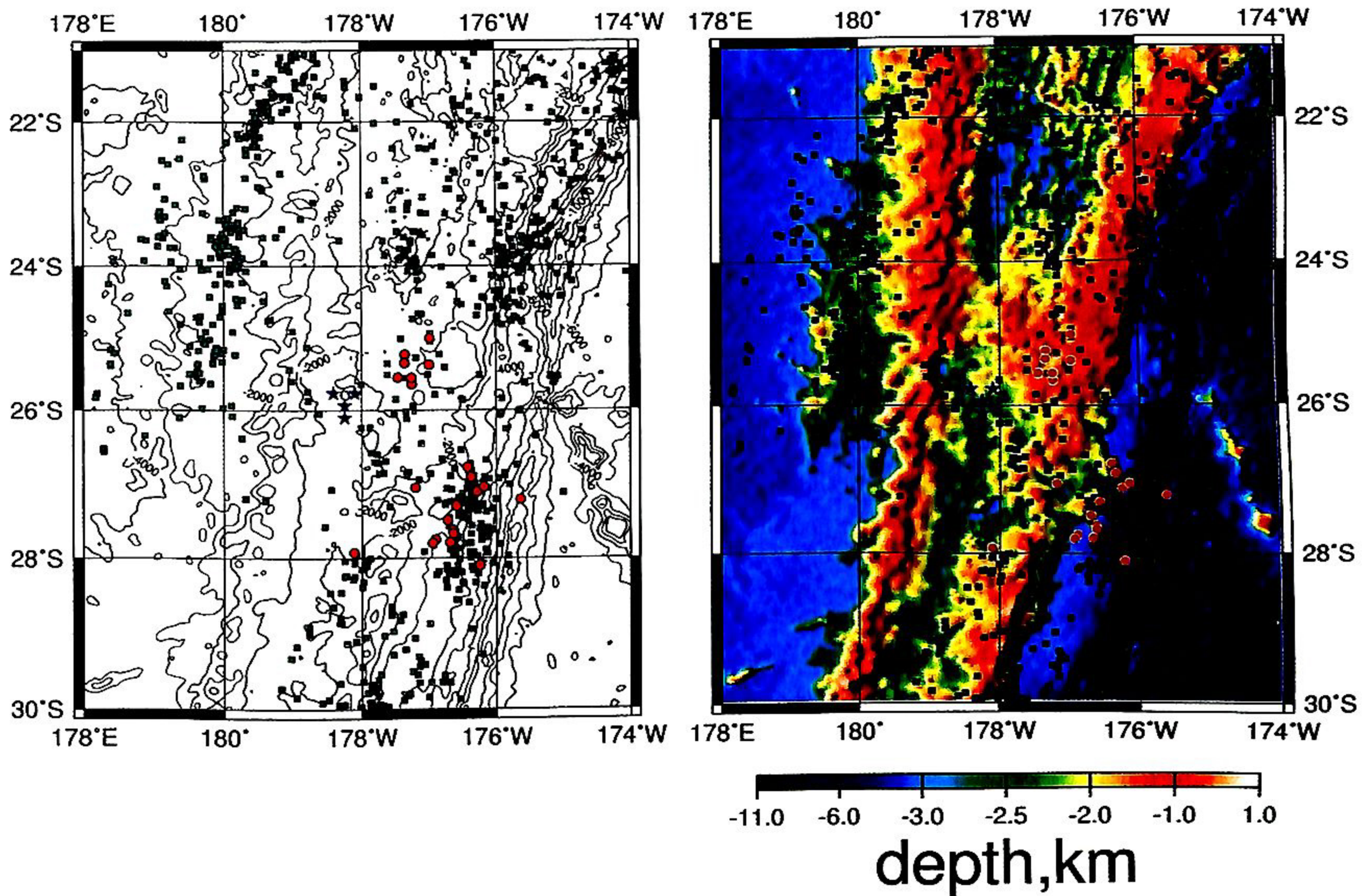


図 13 本研究で得られた地震の震央の位置及び NGDC の地震データベースによる 1980 年から 1990 年までの $M \geq 5$ の震央の位置 (緑四角)。左は等深線図 (等深線間隔は 1,000 m), 右は陰影図
 Fig. 13 Epicenter distribution obtained in this study (red circles) and NGDC epicenters with $M \geq 5$ during 1980–1990 (green squares). Left figure is contour map (contour interval : 1,000 m) and right is shaded relief map.

謝 辞

本研究を進めるにあたり、海洋科学技術センター・松本剛、小林和男、木下肇氏、地質調査所・村上文敏、岸本清行氏の協力を得ました。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」の船長を始め乗組員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、この研究は日仏 NEW STAMER 計画及び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

Collier and Sinha (1990) : Seismic images of a magma chamber beneath the Lau Basin back-arc spreading center, *Nature*, 346, 646–648.
 Collier and Sinha (1992a) : Seismic mapping of a mag-

ma chamber beneath the Valu Fa Ridge, Lau Basin, *J. Geophys. Res.*, 97, 14031–14053.

Collier and Sinha (1992b) : The Valu Fa Ridge : the pattern of volcanic activity at a back arc spreading centre, *Mar. Geol.*, 104, 243–263.

Eguchi, T., Y. Fijinawa and M. Ukawa (1989) : Microearthquakes and tectonics in an active back-arc basin : the Lau Basin, *Phys. Earth Planet. Int.*, 56, 210–229.

Hirata, N. and M. Matsu'ura (1987) : Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Int.*, 47, 50–61.

海宝由佳・西澤あずさ・岸本清行 (1996) : 東太平洋海膨南緯 18 付近における自然地震活動, *月刊地球*, 18, 478–481.

金澤敏彦 (1986) : 7 成分記録・低消費電力の超音波切離装置付海底地震計, *地震学会講演予稿集*, no. 2,

- Kasahara, J. L. Kong, S. Koresawa, C. Igarashi, T. Yamaguchi, M. Suzuki and R. Feng. Lu (1993) : Seismic observation at the Mariana Trough at 18N and its relation to the detailed bathymetry, in Geological and geophysical investigation of Mariana region and Ayu Trough, Preliminary Report of the Hakuho-Maru Cruise KH92-1, ed. J. Segawa, Ocean Research Institute, University of Tokyo, Tokyo, 77-98.
- Lienert, B.R., E. Berg and L. N. Frazer (1986) : Hypocenter ; An earthquake location method using centered scaled and adaptively damped least squares, Bull. Seism. Soc. Am., 76, 771-783.
- Nagumo, S., H. Kinoshita, J. Kasahara, T. Ouchi, H. Tokuyama, T. Asanuma, S. Koresawa, H. Akiyoshi (1986) : Report on DELP 1984 cruises on the middle Okinawa Trough, Part II * Sismic structural studies, Bull. Earthq. Res. Inst., 61, 167-202.
- 西澤あずさ・佐藤利典・笠原順三・藤岡換太郎(1995) : 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—, JAMSTEC 深海研究, 11, 125-135.
- Peirce, C., M. C. Sinha, S. Constable and the EW9512 Scientific Party (1996) : Back-arc basin project, R/V Maurice Ewing cruise 9512, Geophysical investigation of melt bodies beneath the Valu Fa Ridge, Lau Basin (SW Pacific), InterRidge News, 5, 3-8.
- 篠原雅尚・末広 潔・松田滋夫・小沢和男 (1993) : DAT レコーダを用いたデジタル大容量海底地震計, 海洋調査技術報告, 5, 21-31.
- Shor, G. G., Jr., H. K. Kirk and H. W. Menard (1971) : Crustal structure of the Melanesian area, J. Geophys. Res., 76, 2562-2586.
- Smith W. H. F. and D. T. Sandwell (1996) : Bathymetric prediction from dense satellite altimetry and sparse shipboard bathymetry, J. Geophys. Res., 99, 21803-21184.
- 高橋成実・阿部信太郎・西澤あずさ (1997) : Havre トラフ北端部における地震学的調査 ; 2. 地震波速度構造, JAMSTEC 深海研究, 13, 339-351.
- Wessel, P. and W. H. Smith (1991) : Free software helps map and display data. EOS Trans. AGU, 72, 441, 445-446.
- ト部 卓, 東田進也 (1992) : win-微小地震観測網波形観測支援のためのワークステーション・プログラム (強化版), 地震学会講演予稿集, 2, 331.

(原稿受理 : 1997 年 7 月 14 日)