

## 2000年7月の三宅島・神津島・新島近海における海底地震観測（速報）<sup>†</sup>

西澤あずさ\*, 小野智三\*\*, 大谷康夫\*\*, 志岐俊郎\*\*

### Ocean Bottom Seismographic Observation around the Miyake-jima, Kozu-shima and Nii-jima in July, 2000 (Preliminary Report)<sup>†</sup>

Azusa NISHIZAWA\*, Tomozo ONO\*\*, Yasuo OTANI\*\* and Toshiro SHIKI\*\*

#### Abstract

Active earthquake swarm had begun around the Miyake-jima, Kozu-shima and Nii-jima with volcanic activity of the Miyake-jima on June 26, 2000. We, Hydrographic Department, carried out several geological and geophysical surveys to elucidate the present seismic and volcanic activity of this region since July 2000. The survey includes multi-beam swath bathymetry, single-channel seismic reflection, sidescan imaging, microseismicity, magnetic and gravity measurements. In this paper, we preliminarily report mainly hypocenter distribution deduced from ocean bottom seismographic observation.

#### 1. はじめに

2000年6月26日18時半頃（日本時間）より三宅島において火山性の地震活動が始まり、翌27日には三宅島西方での変色水が確認され海底噴火が起こったと考えられた。さらに地震活動は西方に拡がり  $M_{\text{MLA}}6.0$ 以上の地震5個を含む活発な群発地震活動となった。8月中旬以降地震活動や地殻変動は静穏化したものの、9月初旬より始まった三宅島における火山ガス( $\text{SO}_2$ 等)の大規模な放出は2001年1月現在においても継続している。この領域の今後の中・長期的な地震火山活動の予測については広く社会的関心を集めており、海上保安庁水路部では、三宅島から神津島・新島にかけての海域の地震・火山活動を精密に把握するために、2000年7月以降測量船「昭洋」・「明洋」を用いた複数回の航海により海底地形・地磁気・重力・反射地震探査・地震活動等の調査を実施した。こ

こでは主に、東京大学地震研究所及び海洋科学技術センターと共同で行った海底地震観測の暫定結果として、水路部所有の海底地震計8台の記録から求められた地震活動について速報する。

#### 2. 調査

海底地震計(Ocean Bottom Seismograph : OBS)の設置は、2000年7月9-18日に海上保安庁水路部の測量船「昭洋」による火山噴火予知調査の際に行われた。伊豆半島沖の海底地形図をFig. 1に、海底地震計の位置をFig. 2に示す。海底地震計の設置位置は、東京大学地震研究所において設置直前までに求められていた震源分布をもとに、震源域全体を囲むように決めた。設置したOBSは、水路部8台、東京大学地震研究所7台、海洋科学技術センター5台である。回収は測量船「明洋」により、7月30日-8月3日の期間に実施した。水路部のOBSの設置回収に関連した各パラメタを

<sup>†</sup> Received 2001 January 15th.; Accepted 2001 February 19th.

\* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory.

\*\* 沿岸調査課 Coastal Surveys and Cartography Division.

Table1に示す. OBSの位置測定および時計の校正は, GPS (Global Positioning System) を用いて行った.

海底地形の3次元表示図および「昭洋」に搭載されているマルチビーム音響測深機 SeaBeam2112による後方散乱強度の測定から得られた海底音響画像図上に, 水路部のOBSの設置位置をプロットしたものをFig. 3に示す. 海底音響画像図において色の濃い部分が散乱強度の大きい領域に対応している. OBSは, 海底面ができるだけ平坦なところを選んで設置した.

Table 1 OBS parameters.

OBS	deployment position		(Tokyo Datum) depth		date	time (GMT)	V,H gain (dB)	Hyd gain (dB)	
	N	E	(m)	(m)					
H-1	34	14.3858	139	18.0046	-294	2000/7/11	9:06:00	40	20
H-2	34	16.5473	139	10.3158	-112	2000/7/10	4:34:23	40	20
H-3	34	11.9520	139	23.3859	-443	2000/7/11	0:12:20	60	20
H-4	34	8.4081	139	25.8069	-301	2000/7/10	17:29:57	60	20
H-5	34	3.0420	139	26.0620	-328	2000/7/10	10:49:59	60	20
H-6	33	4.8891	139	20.1301	-346	2000/7/10	10:07:11	40	20
H-7	34	8.4125	139	15.5683	-422	2000/7/11	6:37:37	40	20
H-8	34	9.8034	139	19.6877	-414	2000/7/11	0:49:12	40	20

OBS	retrieval position		(Tokyo Datum) depth		date	time (GMT)	
	N	E	(m)	(m)			
H-1	34	14.3430	139	17.9874	-288	2000/8/2	6:51
H-2	34	16.7094	139	9.8202	-108	2000/8/2	9:05
H-3	34	11.8992	139	23.5362	-443	2000/8/1	3:57
H-4	34	8.5344	139	25.5960	-309	2000/7/31	5:57
H-5	34	2.9376	139	26.1630	-326	2000/7/31	4:23
H-6	33	4.8582	139	19.8486	-334	2000/7/31	7:42
H-7	34	8.3724	139	15.4776	-423	2000/8/1	7:00
H-8	34	9.7416	139	19.7328	-413	2000/8/1	5:24

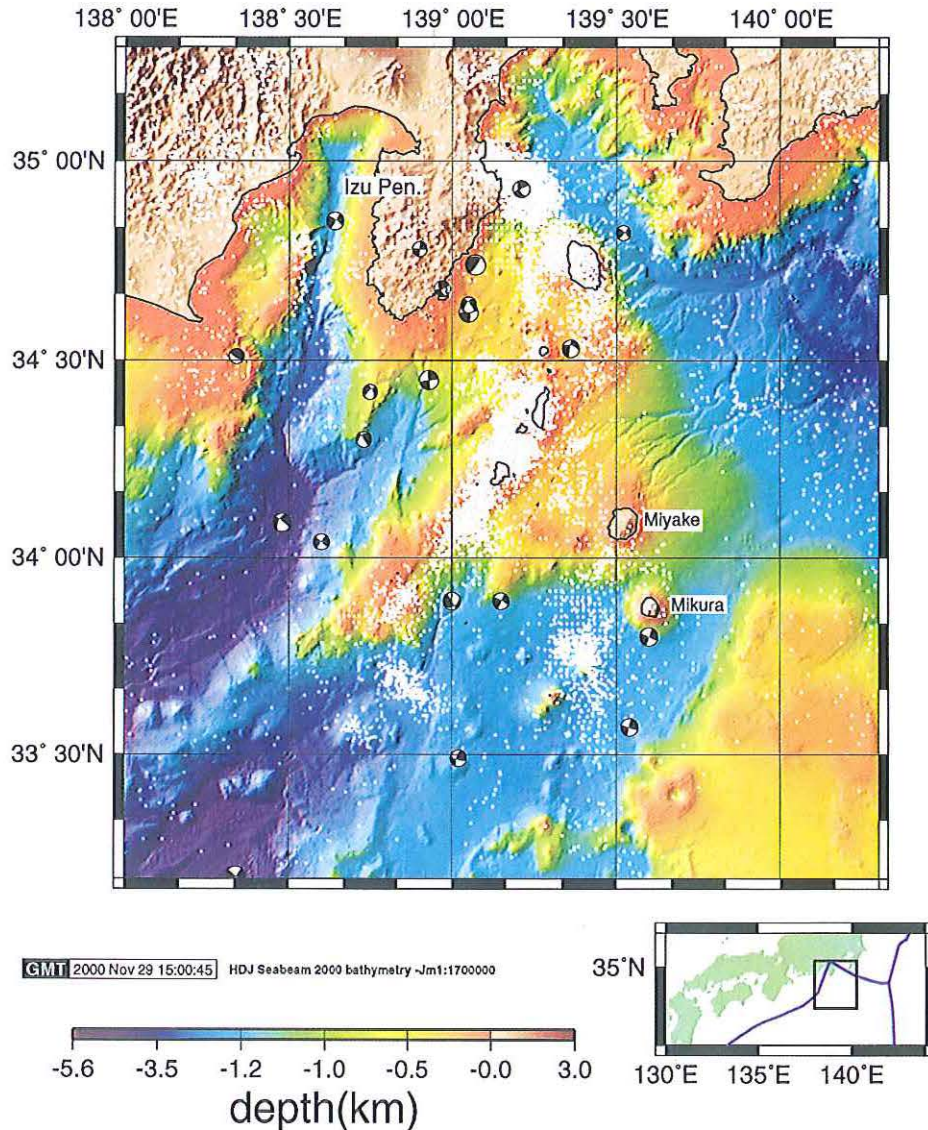


Fig. 1 Seafloor topography off Izu Peninsula. The bathymetry data were obtained by multibeam swath survey systems (SeaBeam) of Hydrographic Department, Japan. Small circles are epicenters with  $M \geq 2$  and depth  $\leq 50$  km by JMA during 1926 - 1998 July. Focal mechanisms of the earthquakes shallower than 50 km during 1977-2000 June 27 are by the Harvard centroid-moment tensor (CMT) catalog.



*Ocean Bottom Seismographic Observation around the Miyake-jima, Kozu-shima and Nii-jima  
in July, 2000 (Preliminary Report)*

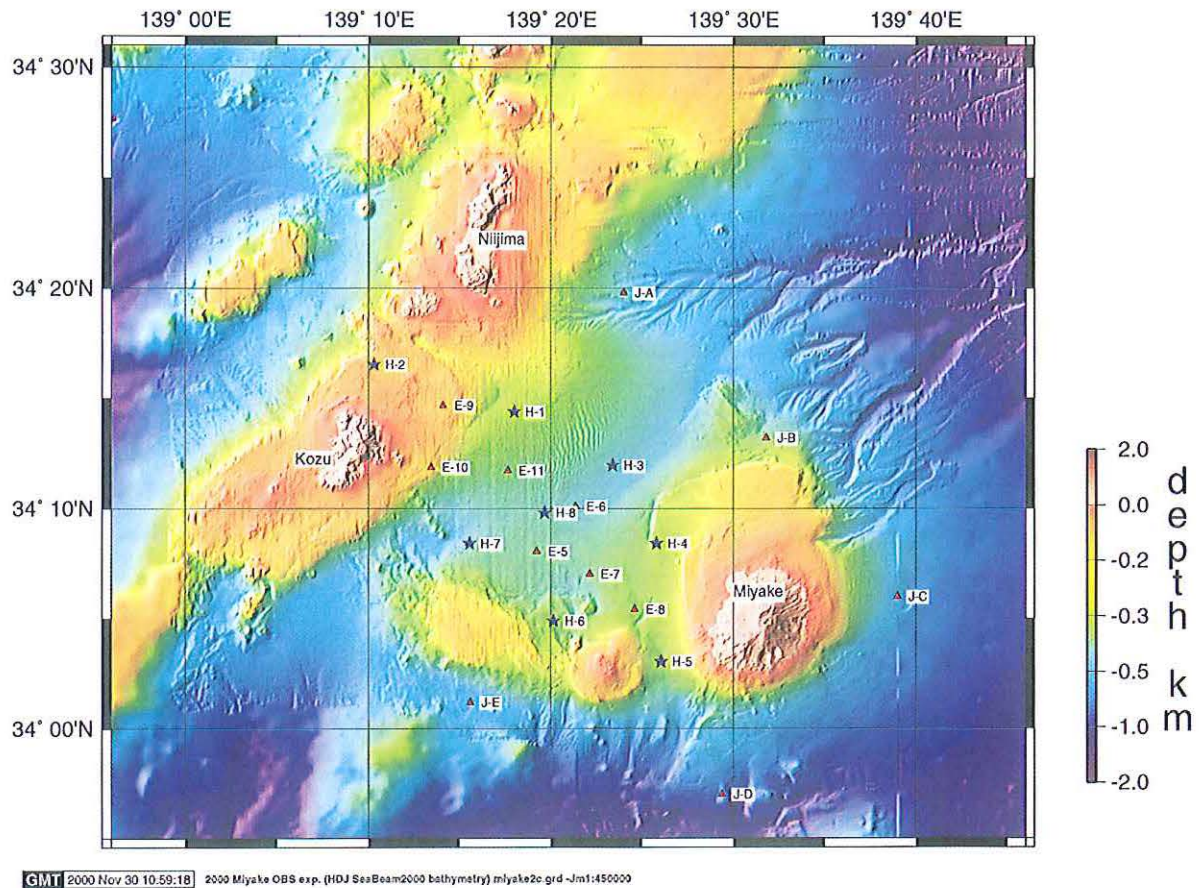


Fig. 2 Location of the OBSs (asterisks and triangles) on the shaded bathymetry obtained by SeaBeam systems on of Hydrographic Department, Japan. The data of the OBSs indicated by blue asterisks are used for hypocenter calculation in this paper.

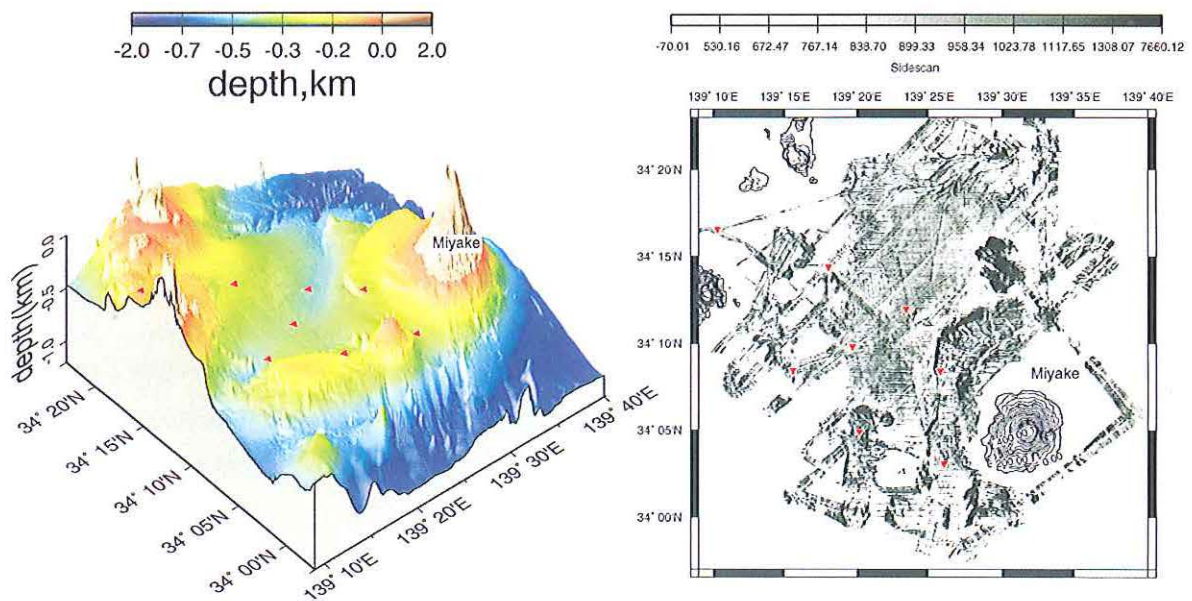


Fig. 3 OBS position (red triangles) on the three-dimensional view of the bathymetry (left) and on the sidescan image (right) around the Miyake-jima, Kozu-shima and Nii-jima area. The blank areas on the sidescan image are data gaps and areas producing strong backscatter are shown in dark tone. The sidescan data were obtained by SeaBeam 2112 system on *S/V Shoyo*.

用いたOBSは音響切離装置付の自己浮上式であり、センサーとして固有周期4.5Hzの上下動地震計1成分および水平動直交2成分、さらにハイドロフォンを有する。それぞれのセンサーの出力はDAT(デジタルオーディオテープ)上に16 bit, 100 Hzで記録される(篠原等, 1993)。H3を除く他のOBS7台は、記録部に2台のDAT装置を装備しており、観測期間の地震活動度にもよるが連続40日間程度の観測が可能である。H6の1台目のDAT装置がテープの装填が不適切であったため記録が得られなかったことを除いては、他のOBSの記録は正常に得ることができた。調査期間は活発な地震活動期間であるため、地震計のアンプゲインを通常の観測時よりも小さくする必要があった。Table 1に示すように、より活動度が高いと推定された位置に設置したOBSに対しては通常より20dB小さくしたが、記録をみるとそれでもまだゲインは大きすぎる傾向にあり、S波の到着時を読み取ることが困難であった。一方、P波到着時の読み取りに関しては、ハイドロフォン記録も参照すると、地震計アレイ内で発生したほとんどの地震に対して波形の立ち上がりが鋭いため、読み取り誤差は0.01sec(サンプリング間隔)程度であった。

### 3. 解析および結果

水路部のOBSによる自然地震活動の観測期間は、2000年7月11日より7月31日(世界標準時)までである。観測期間中の地震活動の全容をつかむために、OBS H2, H5, H8に対する連続記録をそれぞれFig. 4, 5, 6に示した。Fig. 4には上下動地震計の出力例を、Fig. 5, 6にはハイドロフォンセンサーの出力例を、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。観測期間のS/Nにもよるが、およそ26分毎にDATレコーダ書き込み時の振動が記録されている。全体的に地震活動が高いが、特に7月11, 12, 20, 23, 25, 30日が活発である。観測期間中に発生した $M_{JMA}6.0$ 以上の地震は、7月15日1時30分( $M_{JMA}6.4$ )と7月30日12時25分( $M_{JMA}6.4$ )の地震(いずれも世界標準時)の計2個である。

震源決定のためのイベントリストは東京大学地震研究所の陸上の観測点(卜部及び酒井, 2000)で決められた地震約1850個から作成した。このイベントリストに基づいてDATの連続記録から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(卜部及び東田, 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。今回の群発地震活動度は非常に高かったため全期間を通して同基準の震源決定処理が終了していなかったことから、イベントリスト中の7月28-30日の期間はイベント数が非常に小さかった。この期間については8台すべてのOBSの連続記録から読み取りを行った。読み取った地震の総数はおよそ3200個である。Fig. 7には、読み取りの例としてOBS H8近傍で発生した地震の記象例を示す。

震源決定はHirata & Matsuura (1987)によってコーディングされたHYPOMHを用いて行った。P波の速度構造モデルには、東京大学地震研究所で三宅島周辺で使用されているモデル(ERI Model)と、Nishizawa et al. (1996)による伊豆大島北西沖の構造とTakahashi et al. (1998)による伊豆小笠原弧の島弧下の構造を結合して簡略化した構造モデル(Model0)を使用した。これらのモデルをFig. 8に示す。いずれのモデルにおいても $V_p/V_s$ は1.73とした。

Fig. 9にはP波またはS波の読み取り値がある観測点が7点以上あり、かつP波の到着時のO-C(観測値-計算値)時間の標準偏差が0.1秒以内の地震の震源分布を、2つの構造モデルに対して示した。この基準で求められた地震の総数は約1900個である。Fig. 9の(a)(b)各図において、震央分布の下の深さ断面図は、求められた震源を時計回りに50度回転させ南側から見た図であり、右側の図は同様に回転させ東側から見た図である。ERI Modelに対する震源決定の結果は、Model0に比較して震源の深さ方向に対する拡がりが大きく、特に浅部においては、ERI Modelでは2-3kmまで地震活動が見られるが、Model0では5km以深となっている。どちらの構造モデルにおいても、時計回りに50度回転させ南側から見た断面図では、浅

Ocean Bottom Seismographic Observation around the Miyake-jima, Koze-shima and Nii-jima  
in July, 2000 (Preliminary Report)

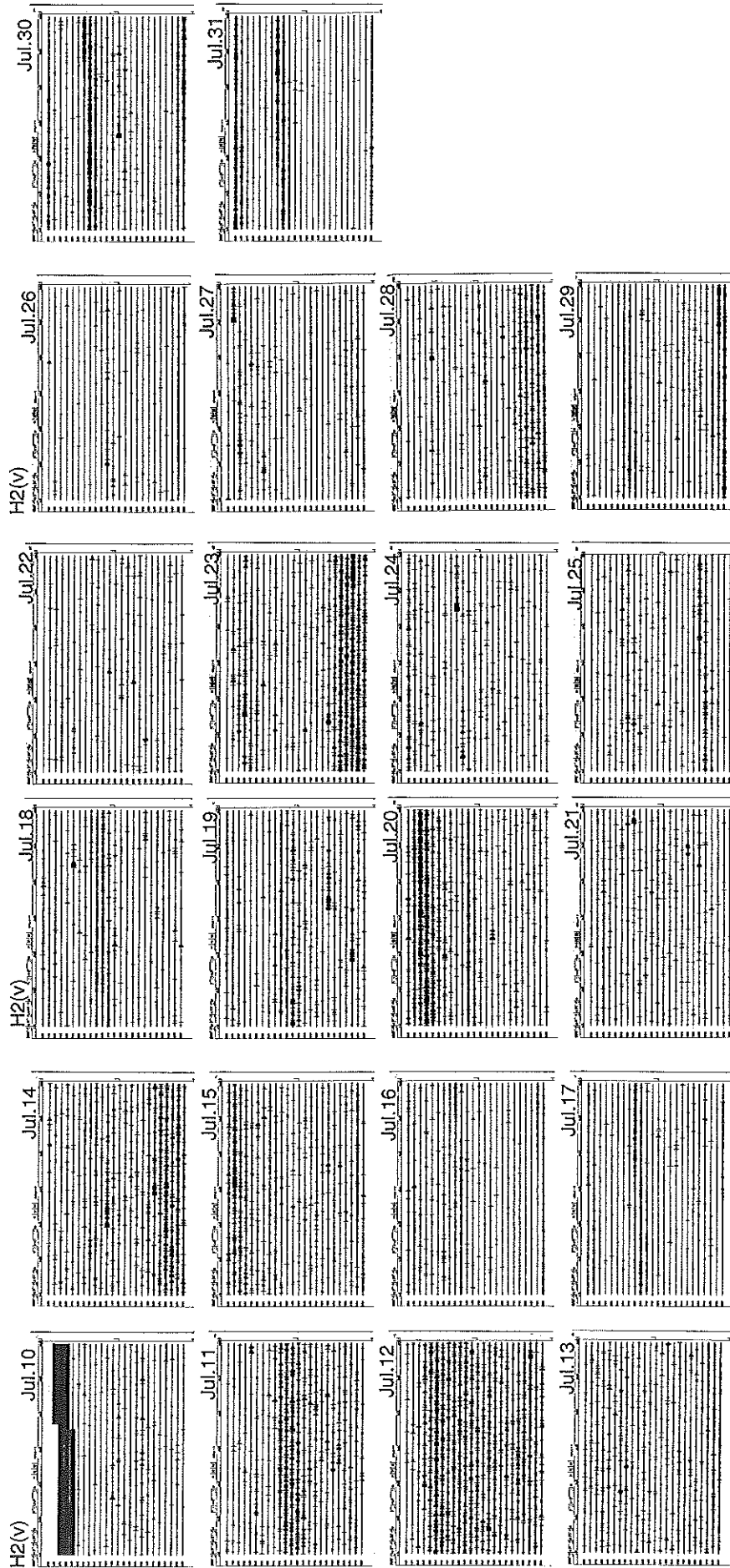


Fig. 4 Continuous records during the observation at OBS H2. The signal component is vertical seismometer. The records for one hour are aligned on a trace.

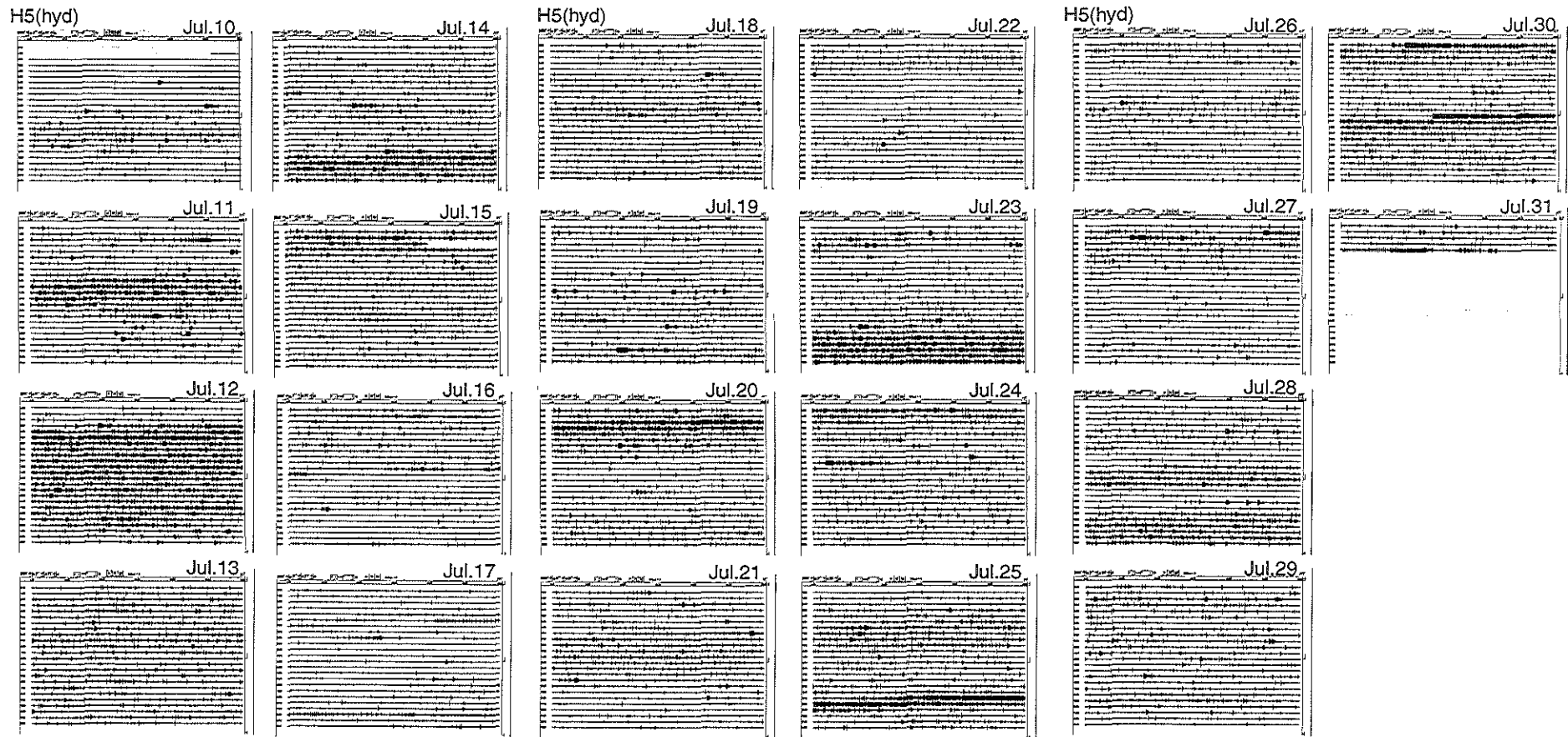


Fig. 5 Continuous records during the observation at OBS H5. The signal component is hydrophone. The records for one hour are aligned on a trace.





Fig. 6 Continuous records during the observation at OBS H8. The signal component is hydrophone. The records for one hour are aligned on a trace.

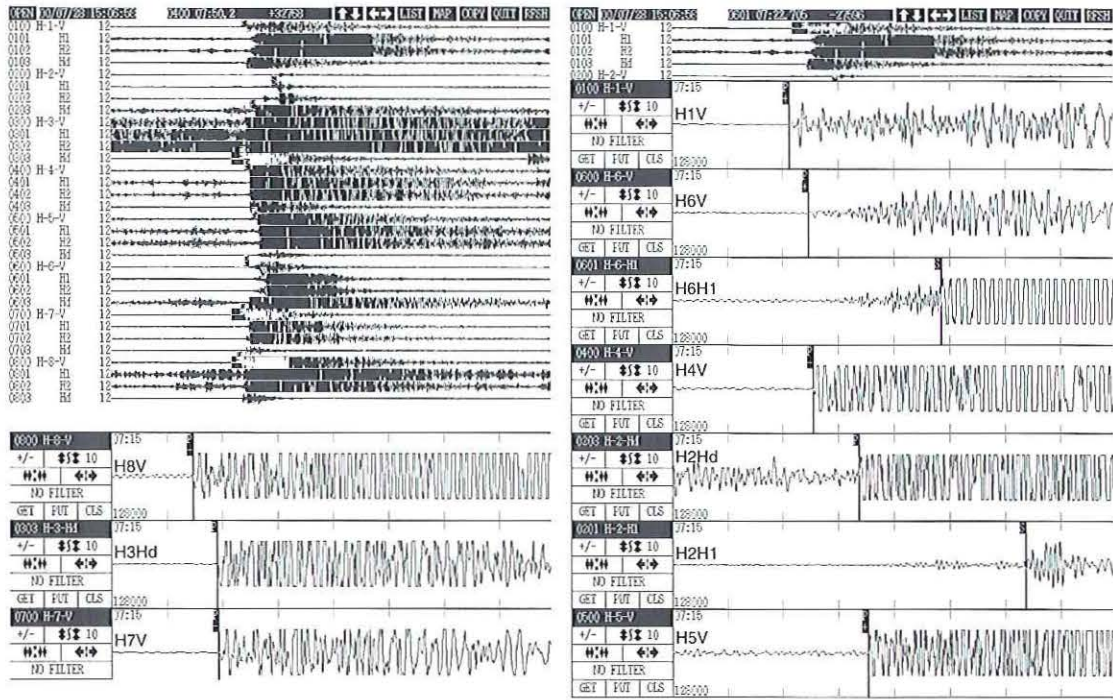


Fig. 7 Seismograms of the earthquake occurred near OBS H8. The OBS name and sensor component are shown at the upper left of each trace. Tick interval corresponds to 1 s.

### 2000 Miyake

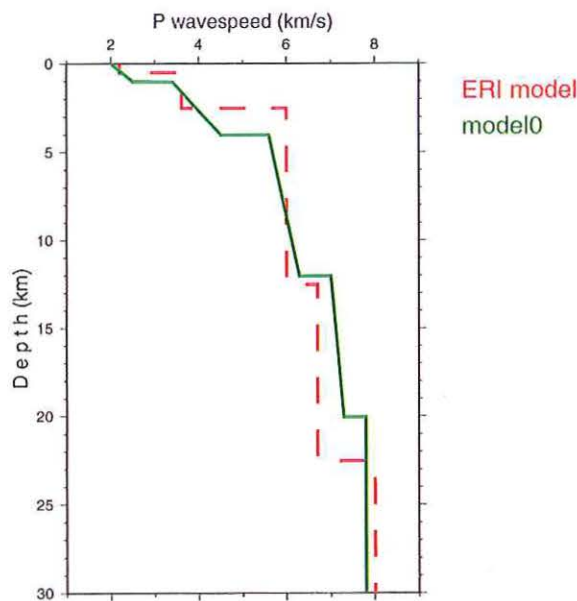


Fig. 8 P wavespeed models for hypocenter calculation.

部で広がりをもつ震源分布は、深部では幅2-3kmの板状の部分に集中していることがわかる。この幅に関する誤差は、震源決定に用いた速度構造モデルに依存するが、300m以内である。浅部と深部の震源分布の広がりを比較するために、Fig. 10

にはModel0に対して求められた震源をいくつかの深さ範囲に分割したものを示した。11km以深において、震源分布は北西-南東方向の明瞭な線状配列を示している。

Model0に対して得られた震源の時空間分布をFig. 11に示した。7月28-30日は、前述したように陸上で決められた震源リストではなくOBSの連続記録から検測を行ったので、他の期間よりも地震数が多く見える。震源はすでに陸上の観測からも指摘されている（例えば酒井等，2000）ように、北西-南東走向の線状の震源域を双方向に移動していることがわかる。7月28-30日の3日間の震源分布を1日毎にプロットしたものをFig. 12に示す。OBS H8近傍は、観測期間を通じて活動度が高い領域であるが、特に7月28日は活動が集中しており、その他の領域では地震活動が低い。ところが、震源分布を時計回りに50度回転させ西側から見た断面図を見ると、28日の活動域が29、30日には地震活動が低くなっているようにみえるのは、興味深い。今後、他機関のOBSデータとの併合処理等により、さらに震源決定を高精度化した上での検討が必要である。



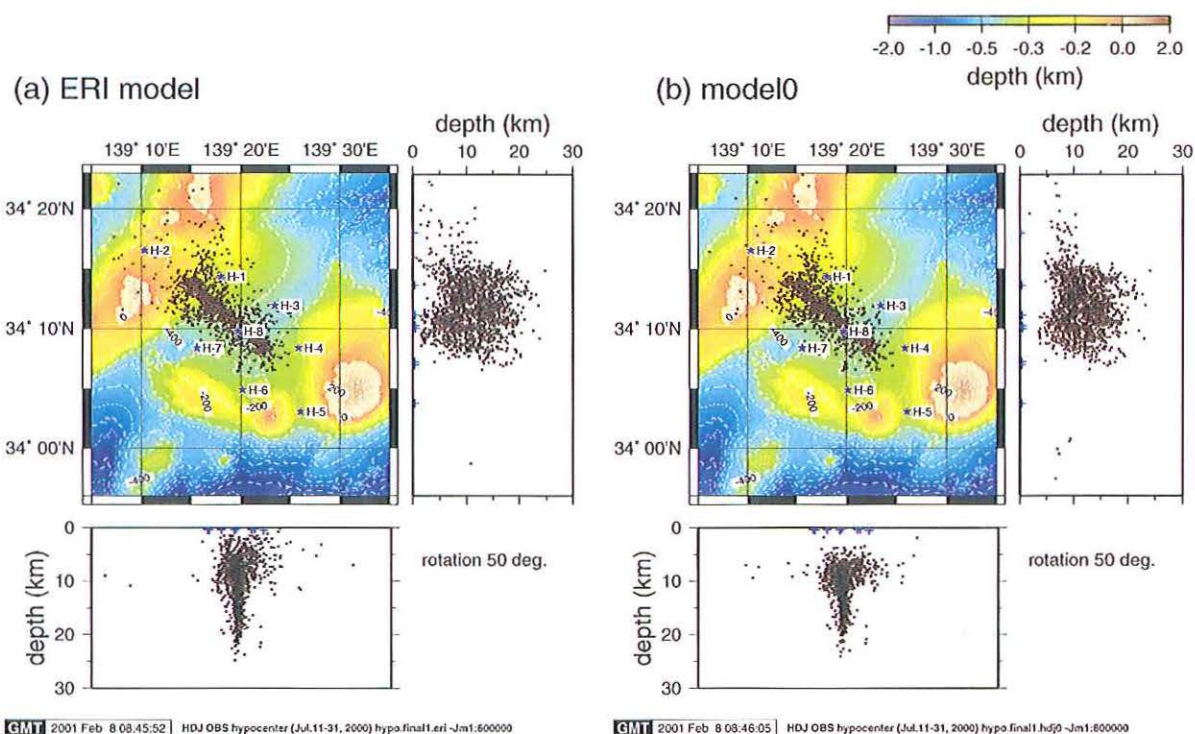


Fig. 9 Hypocenter distribution determined by OBS observation during Jul.11 - 31, 2000. Asterisks and circles are positions of OBSs and hypocenters, respectively. Results for ERI model (left) and for model0 (right) are shown.

#### 4. 議論および結論

Fig. 13には、調査域でこれまでに実施された SeaBeam調査データを総合して得られた海底地形の陰影図と2000年7月に測量船「昭洋」の SeaBeam2112で得られた海底音響画像図上に、水路部のOBS 8台によって求められた地震の震央をプロットしたものを示す。震央は北西-南東方向のほぼ一直線上に分布するが、震央直下には対応するような地形の変化は見られない。ただし、震央分布の走向は神津島南東沖の小海丘列の走向とほぼ平行である。

また、北緯34度12分、東経139度15分付近にはほぼ円状の地震活動の空白域が見られるが、これも海底地形との相関はない。海底音響画像図ではやや反射強度の高い領域が存在するようにもみえるが、データが不十分であり関連性は不明である。震源決定の結果によれば、震源の深さは地表まで達していないので、海底面の構造との関連性を検出するのは困難であるかもしれない。

反射探査結果はこの震源域、特に三宅島と神津島間の海底の凹地には、往復走時0.5secを越えるような厚い堆積物が存在することを示し、火成岩の基盤深度分布を求めることが困難であることを示す(Figs.14-16)。しかしながら、2000年10月の測量船「明洋」で得られたFig. 16の反射地震断面図を良く見ると、OBS H8の東部に貫入岩状のものがいくつか検出できる。これらの貫入が今回の火山・地震活動に関連しているかどうかは不明であるが、OBS H8の近傍は震源域の中でも地震活動の最も高い領域であり、*b*値が大きい(井出等, 2000)という特徴的な地点に対応していることは興味深い。

Fig. 17には、海底地形の陰影図上に、今回求められた震央分布、2000年6月27日から8月31日の期間のHarvard大のCMT解、および同期間の気象庁マグニチュード6以上の地震の震央を示した。Fig. 1と比較すると、この期間中に決められたCMT解の数が、大きく増加したことがわかる。また、OBS観測で検出された北緯34度12分、東経139度

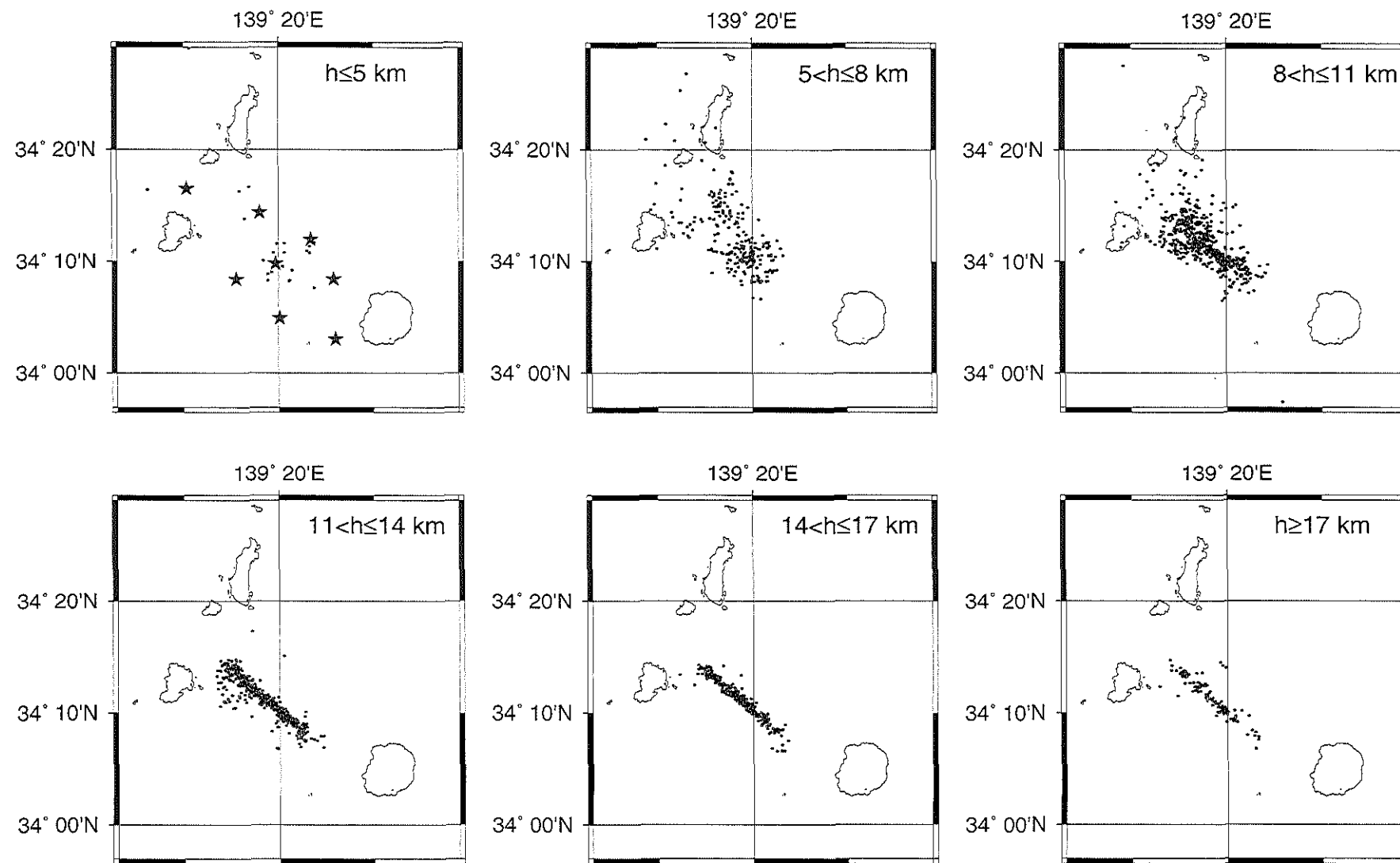


Fig. 10 Depth slices of hypocenter distribution.

*Ocean Bottom Seismographic Observation around the Miyake-jima, Koze-shima and Nii-jima  
in July, 2000 (Preliminary Report)*

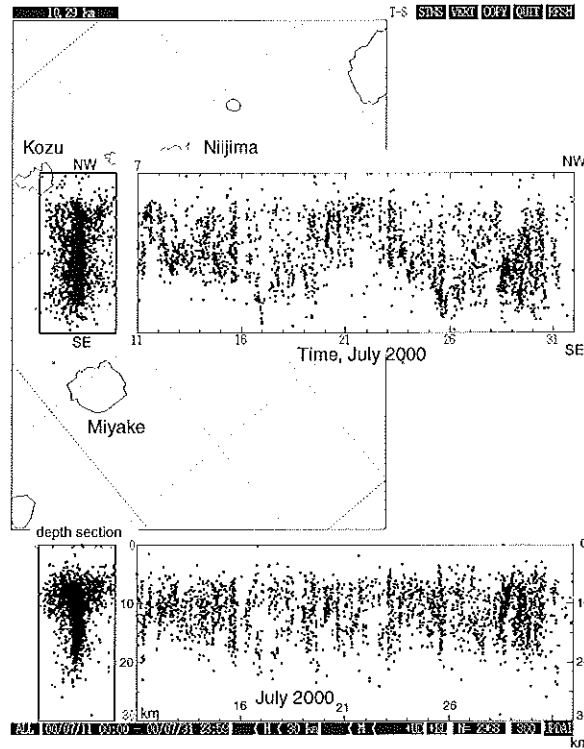


Fig. 11 Time-space distribution of hypocenters during Jul. 11 - 31, 2000.

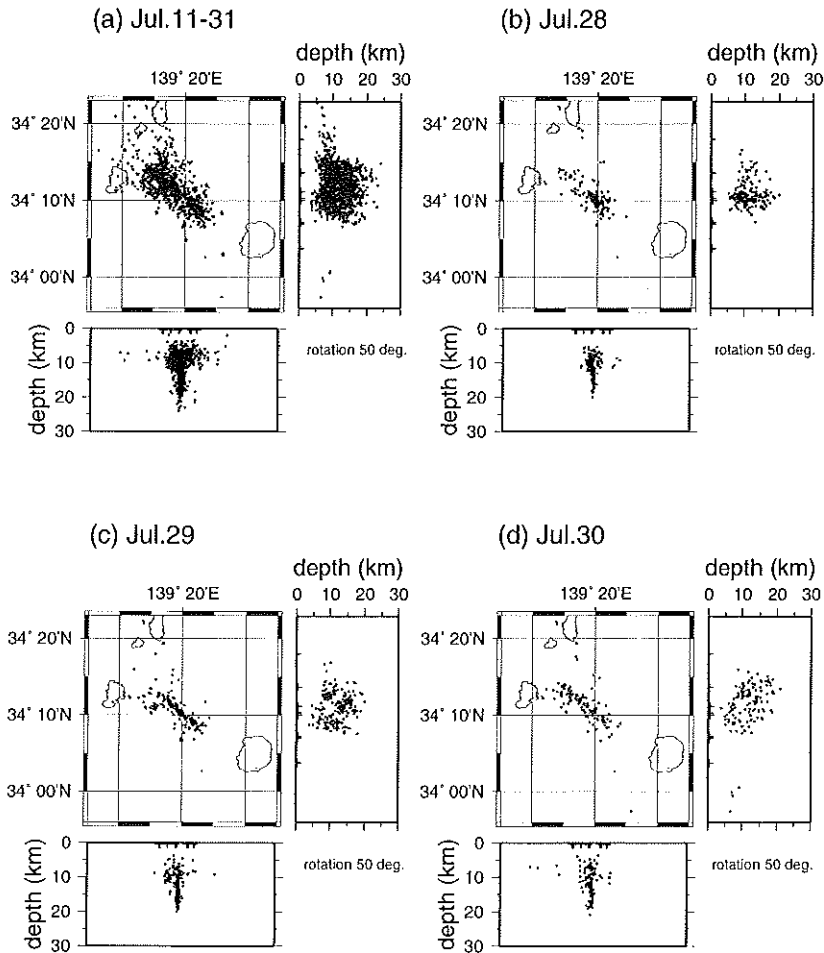


Fig. 12 Hypocenter distribution. (a) Jul. 11-31, 2000, (b) Jul. 28, (c) Jul. 29 and (d) Jul. 30.



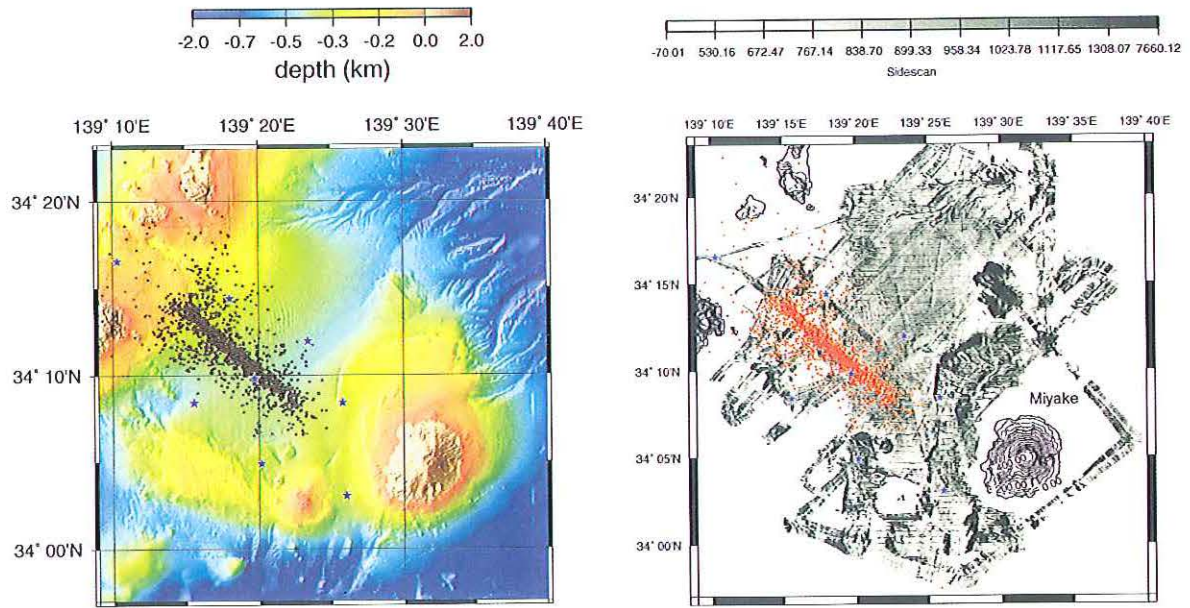


Fig. 13 Epicenter distribution (red circles) determined by OBS observation during Jul.11 - 31, 2000 on the shaded bathymetry (left) and on sidescan image (right).

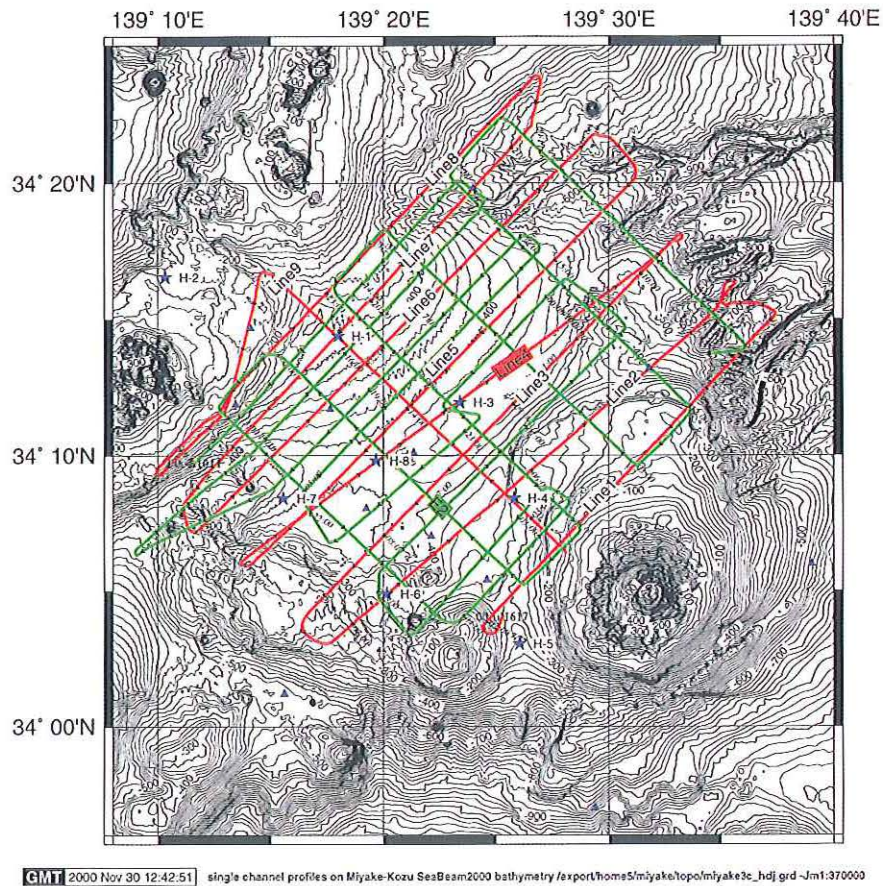


Fig. 14 Position of the single channel airgun reflection profiles. Profiles shown by red lines are obtained by S/V Shoyo and profiles by green lines are by S/V Meiya.

*Ocean Bottom Seismographic Observation around the Miyake-jima, Kozu-shima and Nii-jima  
in July, 2000 (Preliminary Report)*

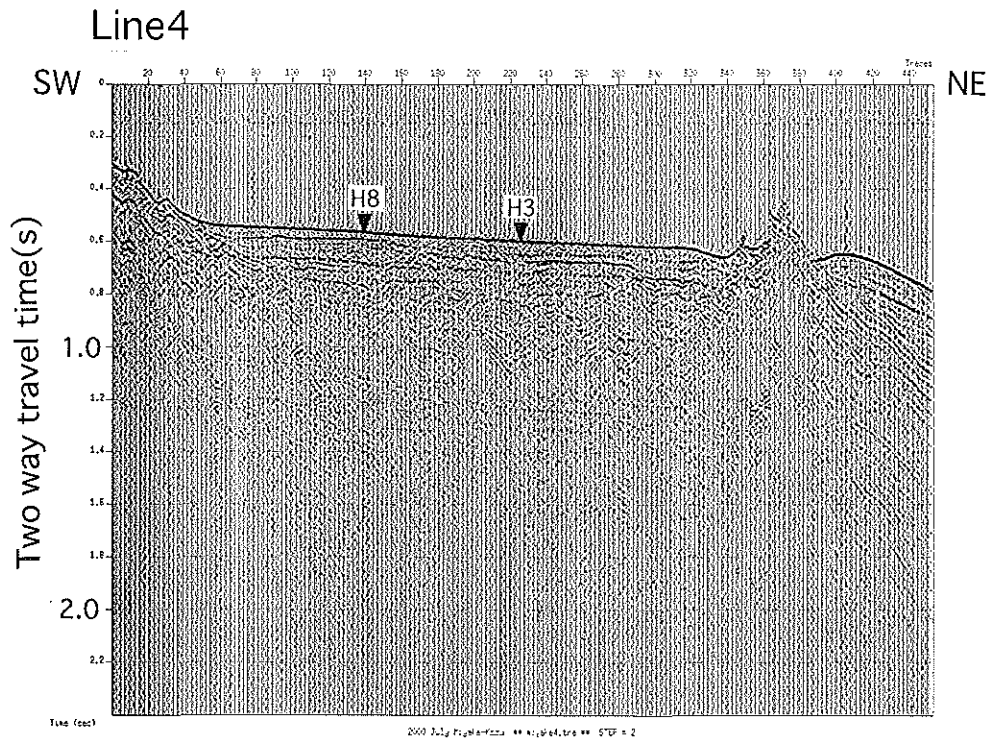


Fig. 15 Single channel reflection profile for Line4. The data have been passed Butterworth bandpass-filtered from 30-150 Hz. The position of the profile is shown in Fig.14.

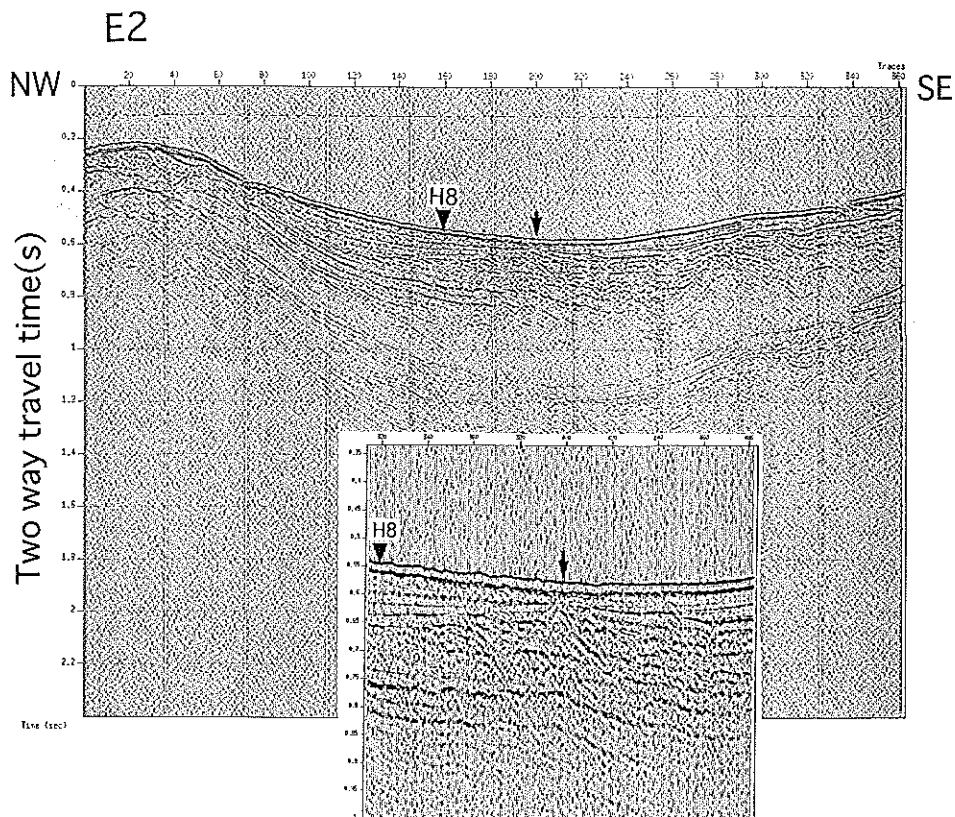


Fig. 16 Single channel reflection profile for line E2. The data have been passed Butterworth bandpass-filtered from 30-150 Hz. The position of the profile is shown in Fig.14.



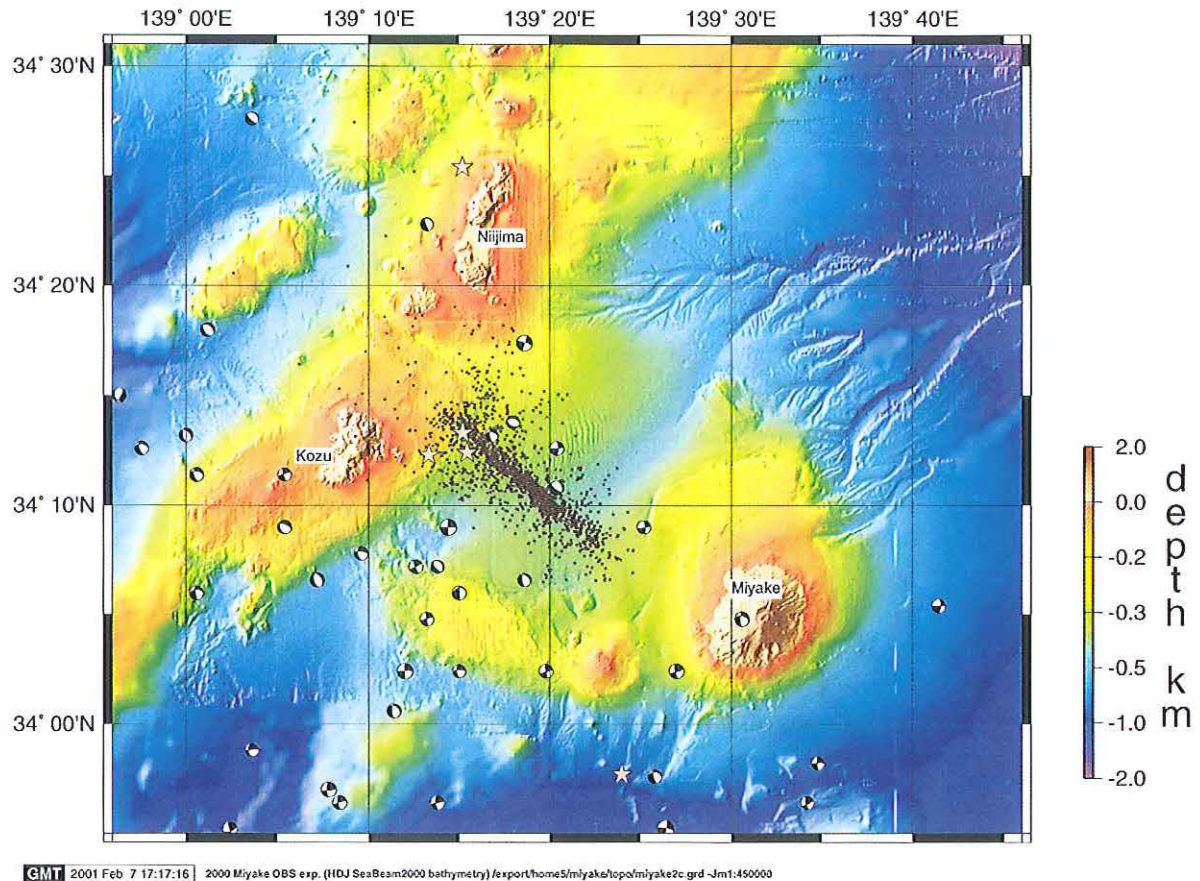


Fig. 17 Centroid-moment tensor (CMT) focal mechanisms, five epicenters with  $M_{JMA} \geq 6$  (pink asterisks), and epicenters obtained in this study (red circles) on the shaded bathymetric map. Focal mechanisms are for the earthquakes shallower than 50 km during June 27 - Aug. 31, 2000 by the Harvard CMT catalog.

15分付近の地震活動の空白域に、 $M_{JMA} \geq 6$ の地震が3個集中しているようにも見える。

水路部のOBS 8台のデータの暫定的な解析から、いくつかの将来検討すべき問題点が提出された。今後、東京大学地震研究所及び海洋科学技術センターのOBSデータとこれらのデータを併合して解析することにより、さらに精度の高い震源分布を求めることが可能となり、これらの問題の解決のための有力な手がかり得ることができるであろう。また2001年1-2月には、水路部測量船「明洋」、「昭洋」及び「天洋」を用いて震源域近傍で屈折法構造探査と自然地震活動観測を行う予定であり、これらのデータ解析結果を総合することにより、三宅島から神津島・新島にかけての海域の地震・火山活動の理解のための重要な情報を提供することができるかと期待している。

#### 謝 辞

本調査にあたり、測量船「昭洋」及び「明洋」の船長をはじめ乗組員の方々および東京大学地震研究所の金澤敏彦、山田知朗、卜部卓、橋本信一、西坂弘正、酒井慎一氏、海洋科学技術センター藤江剛、三ヶ田均氏には大変お世話になりました。査読者の方には原稿を読んでもいただきました。ここに記して謝意を表します。なお地形図の作成にはGMT graphic package (Wessel and Smith, 1998)を使用しました。

#### 要 約

2000年6月26日に三宅島の火山活動とともに始まった三宅島から神津島・新島にかけての海域の地震・火山活動を精密に把握するために、2000年7月以降測量船「昭洋」・「明洋」を用いた複数回の航海により海底地形・地磁気・重力・反射地



震探査・地震活動等の調査を実施した。ここでは主に、東京大学地震研究所及び海洋科学技術センターと共同で行った海底地震観測の暫定結果として、水路部所有の海底地震計8台の記録から求められた地震活動について速報する。

#### 引用文献

井出哲・植田寛子・武尾実: 震源パラメーター, 地震活動からみた伊豆諸島中部群発地震活動の特徴), 地震学会講演予稿集, 2, A03, (2000).

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

Nishizawa, A., Kanazawa, T., Iwasaki, T. and Shimamura, H.: Crustal structure related to the Philippine Sea plate subduction in the northeastern part of the Sagami Trough, Japan, *Phys. Earth Planet. Int.*, 93, 21-36, (1996).

酒井慎一・山田知朗・井出哲・卜部卓・塩原肇・平田直・篠原雅尚・金沢敏彦・萩原弘子・萩野泉・渡辺茂・酒井要・小林勝・橋本信一・羽田敏夫・長田昇・望月将志・西坂弘正・寺田暁彦・中東和夫・長田幸仁・加藤愛太郎・玉木崇之・西澤あずさ・小野智三・大谷康夫・藤江剛・三ヶ田均: 三宅島・神津島近海の地震活動三宅島・神津島近海の地震活動・地震学会講演予稿集, 2, A01, (2000).

篠原雅尚・末広潔・松田滋夫・小沢和男: 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*, 5, 21-31, (1993).

Takahashi, N., K. Suyehiro and M. Shinohara: Implications from the seismic crustal structure of the northern Izu-Bonin arc, *Island Arc*, 7, 383-394, (1998).

卜部卓・東田進也: 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, (1992).

卜部卓・酒井慎一: 伊豆諸島地域における地震観測の現状とそれによって得られた結果, *月刊地球*, 22, 857-863, (2000).

Wessel, P. and Smith, W.H.F. : New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, 79, 579, (1998).