

秋田沖における海底地震観測†

西澤あずさ*, 青柳恭平**, 篠原雅尚**, 高橋成実***, 末広 潔***, 浅田 昭*

Ocean bottom seismographic observation off Akita, eastern margin of the Japan Sea †

Azusa NISHIZAWA*, Yasuhira AOYAGI**, Masanao SHINOHARA**,
Narumi TAKAHASHI***, Kiyoshi SUYEHIRO*** and Akira ASADA*

Abstract

Microseismicity at the seismic gap of the second kind in the eastern margin of the Japan Sea was investigated using ocean bottom seismographs (OBSs) in Mar. 1995. Small OBS array composed of four instruments detected seismic activity concentrating on the hypocenter region of the 1995 Jan. 22 earthquake with magnitude of 4.0. This region also corresponds to one of the most significant sudden changes in seafloor topography in the seismic gap area off Akita.

1. はじめに

日本海東縁部では、この10数年間に1983年日本海中部地震 ($M_{JMA}7.7$), 1993年北海道南西沖地震 ($M_{JMA}7.8$)と相次いで被害地震が発生し、多大な人的および物質的被害をもたらした。Fukao and Furumoto (1975) は、これらの地震発生以前に日本海東縁で発生した4つの大地震のメカニズムを調べることにより、圧縮軸の方向がほぼ東西の dip-slip の逆断層が卓越することを示していた。これらの地震発生メカニズムは日本海東縁における新生プレート境界の誕生に伴うプレート間地震として中村 (1983) 以来議論されている。

日本海東縁部における、1926年から1993年までの気象庁による震央位置を Fig. 1 (右) に、大竹 (1994) によってまとめられた大地震の震源域を Fig. 1 (左) に示す。この領域において震源域は線状に配列し、ここにプレート境界が存在するという最近の学説を裏付けているようにも見える。大

竹 (1994) は、この地震列をたどると、地震空白域、すなわちプレート境界の未破壊領域が明瞭に認められ、それは北海道南西沖地震の南側 (図中 A) および男鹿半島沖 (B) であると述べている。後者は、17世紀の中頃以来大地震がなく日本海東縁部の次の大地震の最有力候補地であり、 $M7.5$ 程度の地震を起こす可能性を持つとしている。

東北大学理学部 (1995) の報告によると、秋田沖の飛島において1995年1月頃から異常な地殻歪、傾斜変化が見られていた。想定される地震空白域に1995年1月22日に $M4.0$ (Fig. 2, 星印) を最大とするやや活発な地震活動があった。1983年5月26日日本海中部地震の本震 ($M_{JMA}7.7$) の12日前には本震の破壊開始地点付近で $M5.0$ を含む顕著な前震活動があったため、この活動が同様な前震活動に対応している可能性が危惧された。

一方、松澤 (1995) は微小地震観測の結果から、1995年10月の時点で秋田県沖において第2種地震空白域が形成されている可能性を示している。そ

† Received 1996 February 13th Accepted 1996 March 12th

* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory

** 千葉大学理学部 Faculty of Science, Chiba University

*** 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, the University of Tokyo

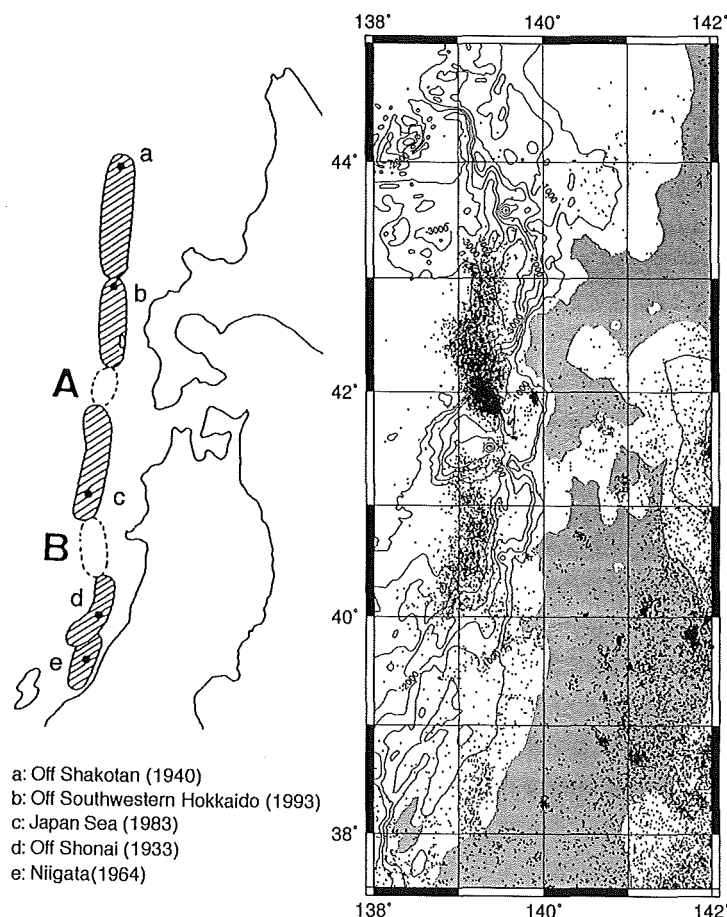


Fig. 1 Left : Source regions of the large earthquakes and seismic gaps by Ohtake (1994) in the eastern margin of the Japan Sea. Right : Epicenter distribution during 1926-1993 by Japan Meteorological Agency.

の判定が正しければ2年以内に $M7.5$ の地震が発生する可能性があるとしている。

秋田沖地震空白域は海底地形の起伏が大きく複雑であり、存在するとされるプレート境界の位置も確定されておらず、どの領域が来るべき地震の断層域となりうるか推定することが困難である。しかしながら、大中 (1994) は岩石破壊実験に基づいて、前震活動域が地震核、すなわち大破壊の開始点になりうる可能性を示している。このような問題も含めて、大地震の前にはどのような性質の地震活動が存在するのかを調べることは極めて重要である。

日本海東縁部における海底地震観測はこれまでに陸上では検知できない、詳細な震源分布を提供してきた (例えば、Urabe *et al.* (1985), Nosaka and Suyehiro (1987), 日野他 (1994), 青柳他

(1995)). 前述の問題の解明のためには、震源域直上の海底での観測が不可欠である。以上により、秋田沖地震空白域における地震発生の際の特性を調べるために1995年3月に海底地震観測を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験および解析

海底地震計 (Ocean Bottom Seismograph : OBS) は1995年1月22日の $M4.0$ (Fig. 2, 星印) の震央付近にほぼ10kmの広がり的小アレイを形成するように設置した。OBSの設置は1995年3月14日に洞海タグボート株式会社「あじあ丸」(981 ton) で、回収は4月15日に海上保安庁測量船「天洋」(770ton) で行われた。OBSの設置位置を Table 1 及び Fig. 3 に示す。使用した海底地震計は、DAT (デジタルオーディオテープ) レコー

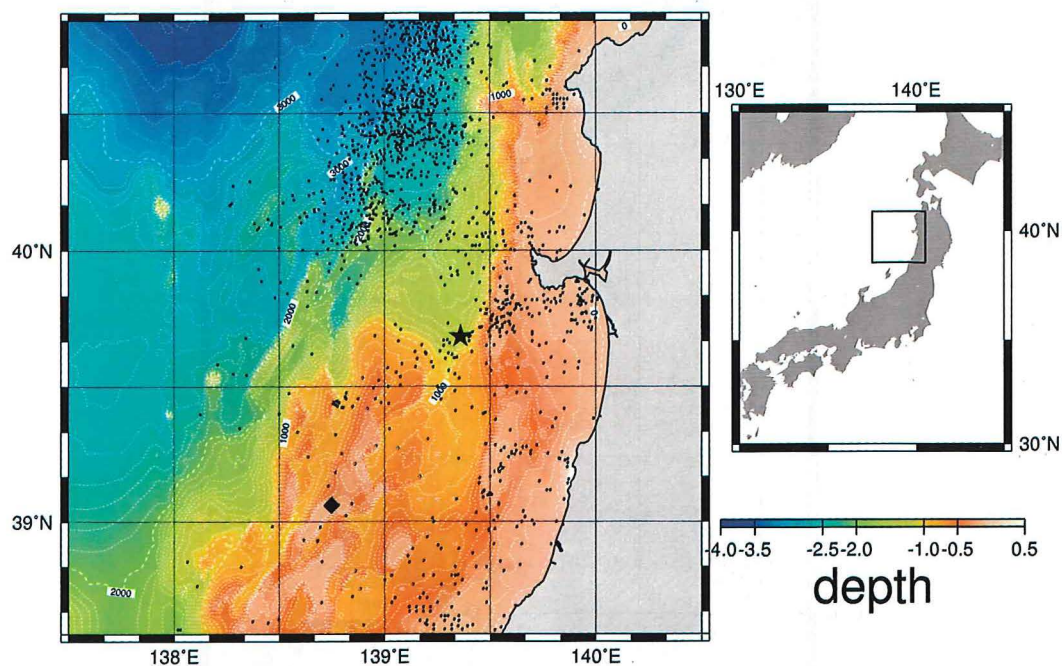


Fig. 2 Bathymetric map off Akita region obtained by SeaBeam 2000, Hydrographic Department. Contour interval is 100m. The epicenters of the 1995 Jan. 22 earthquake ($M4.0$) and 1993 Jul. 24 ($M5.1$) reported by Tohoku University are shown by an asterisk and a diamond, respectively. Small solid circles are epicenters determined by Japan Meteorological Agency during 1926-1993.

Table 1. Location of the Ocean Bottom Seismographs

station name	latitude	longitude	water depth
AKP1	39°41.03'N	139°21.59'E	1372m
AKP2	39°42.71'N	139°15.83'E	1399m
AKP3	39°44.51'N	139°23.60'E	1372m
AKP4	39°45.53'N	139°18.30'E	1501m

ダーを内蔵し(篠原ほか, 1993), 90 m長のテープを使用することにより約17日間の連続記録を得ることができる。各OBSはセンサーとして固有周波数4.5Hzの上下動地震計1成分および水平動2成分を有し, さらに, AKP1とAKP4はハイドロフォンを持つ。これらのセンサーの出力はそれぞれ100Hzでサンプリングされ, 時計の情報とともにDATに記録される。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。

観測期間は1995年3月14日より3月30日までで, 各OBSにおいて良好な記録が得られた。

DATに記録された連続記録をワークステーション上で検測し, イベントリストを作成した。イベント数はノイズとの判別がつきにくい微小のものを含めると約300個であった。このイベントリストに基づいて地震部分のデータの切り出しを行い, 波形検測プログラムwin(ト部・東田, 1991)を用いて検測を行った。これらのイベントのうち3点以上の観測点でP波及びS波の到着時刻を読み取れたものに対して震源決定を行った。

震源決定において, Ludwig *et al.* (1975)による大和海盆の速度構造モデルを簡略化し, 速度勾配を持つ3層から成る水平成層構造モデルを仮定した。使用した震源決定プログラムは, Hirata and Matsu'ura (1985)によるHYPOMHである。各OBSの観測点補正は, 観測点間の水深差を補正するための地形補正と観測点下の堆積層の厚さを補正するための堆積層補正より成る。堆積層補正は, Ludwig *et al.* (1975)の堆積層の速度を参考とし堆積層内のP波速度を2.0km/s, V_p/V_s を6.1と仮定し, OBS直下の堆積層と基盤間で生じ

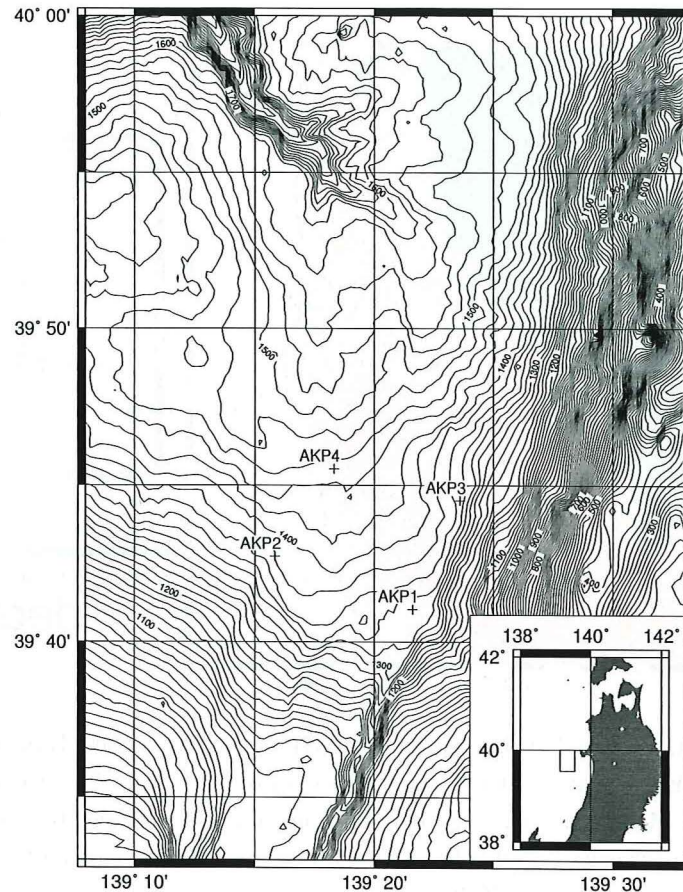


Fig. 3 Positions of the OBSs. Contour interval in the bathymetric map is 20m. The epicenter of the 1995 Jan.22 earthquake with magnitude of 4.0 (Tohoku University) is the very point of AKP1.

た PS 変換波の走時から堆積層の厚さを推定することにより導出した。このようにして得られた P 波の読み取り値に対する観測点補正值は、AKP1~AKP4 に対してそれぞれ 0.61, 0.56, 0.56, 0.49 秒、S 波の読み取り値に対しては 0.16, -0.24, -0.35, -0.51 秒である。

3. 結果

観測期間中の地震活動の概要を把握するためにドラムイメージの記録を作成した。各観測点で得られたほぼ連続な記録を Figs. 4~7 に示す。3 点以上の OBS で共通して P 波及び S 波の到着時刻を読み取れた地震の数は 54 個であり、地震活動は全体的に低かった。連続記録上で顕著な、継続時間が 20 分程度の紡錘形の振動は船の運航ノイズである。例えば、各 OBS で月曜を除く毎日 15 時頃に見られる振動は新潟—釧路間のフェリーの運航

によるノイズに相当する。観測期間中の月曜日は 3 月 20 日及び 27 日であり、この日はフェリーの運休日に対応している。

また、各 OBS 連続記録に共通して見られるのは、数多くのパルス状のイベントである。AKP1 での波形例を Fig. 8 に示す。これらのイベントは S 波の判別が不可能であり、バースト的に発生している場合が多い。また、これらのイベントの振幅は小さく、個々の OBS で独立に記録されている。これらは例えば生物の活動によるノイズかまたは S-P 時間がほぼ 0 秒である極微小地震であるとも解釈できる。

地震と考えられるイベントは 183 個であったが、そのうち 131 個が AKP1 での S-P 時間が約 1.5 秒の地震であった。これらの地震の大部分は AKP1 のみで観測される極微小なもので、3 台以上の OBS で共通に観測され震源決定されたもの

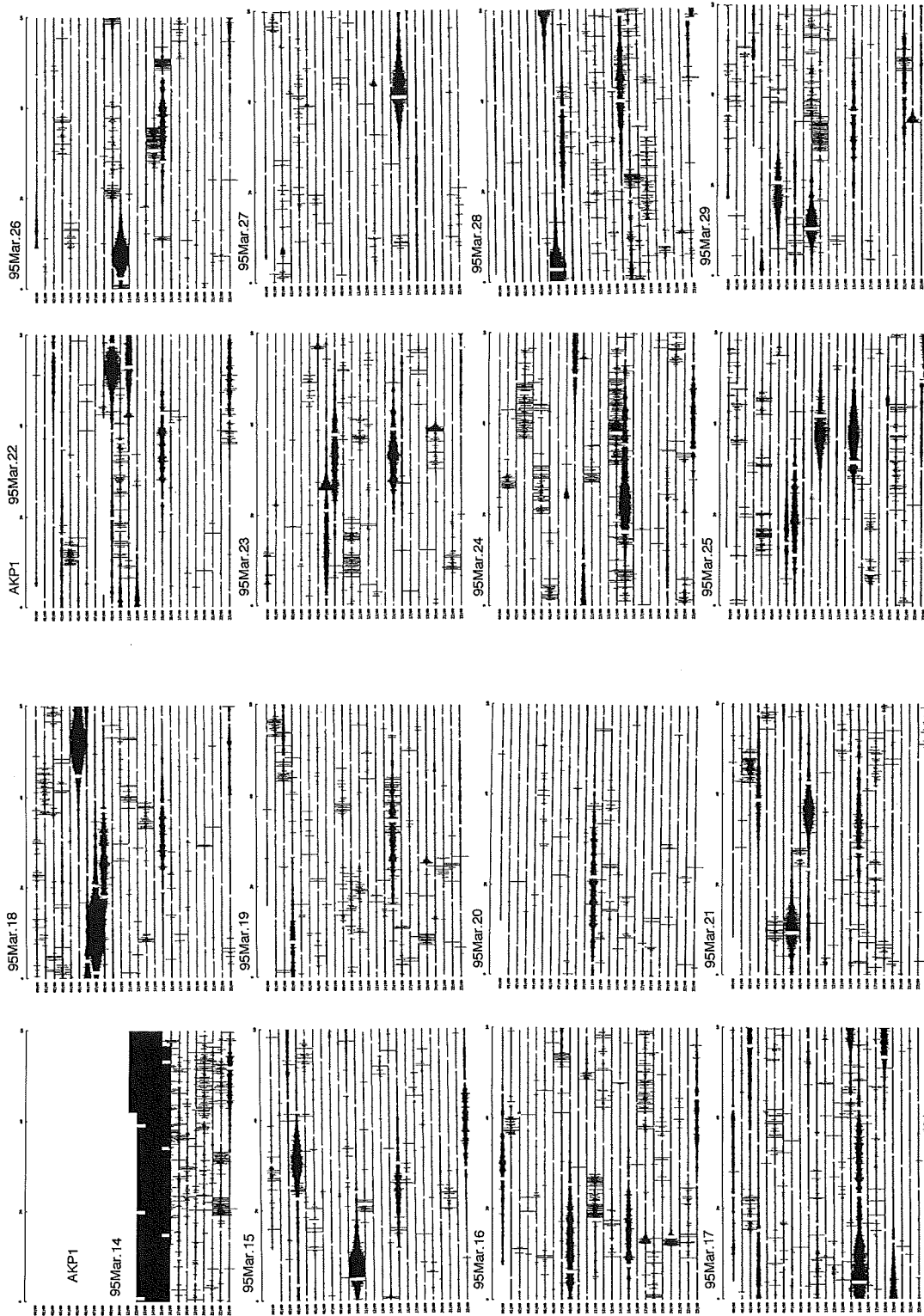


Fig. 4 Drum image records during the observation period (95 Mar 14-95 Mar 29) for the OBS station AKP1. The signal component is vertical seismometer. The records for 1hour are aligned on a trace.

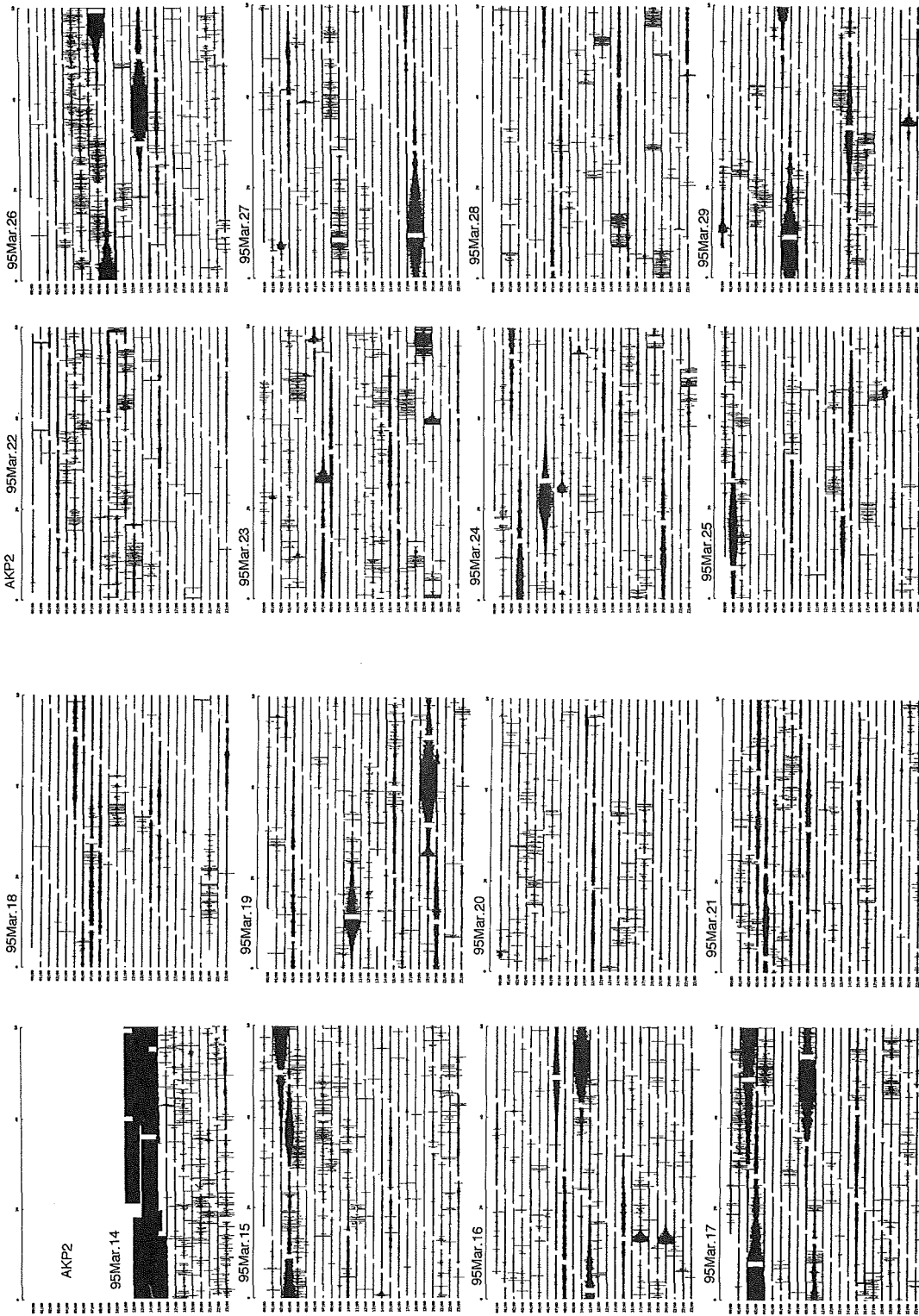


Fig. 5 Same as Fig. 4 but for the OBS station AKP2.

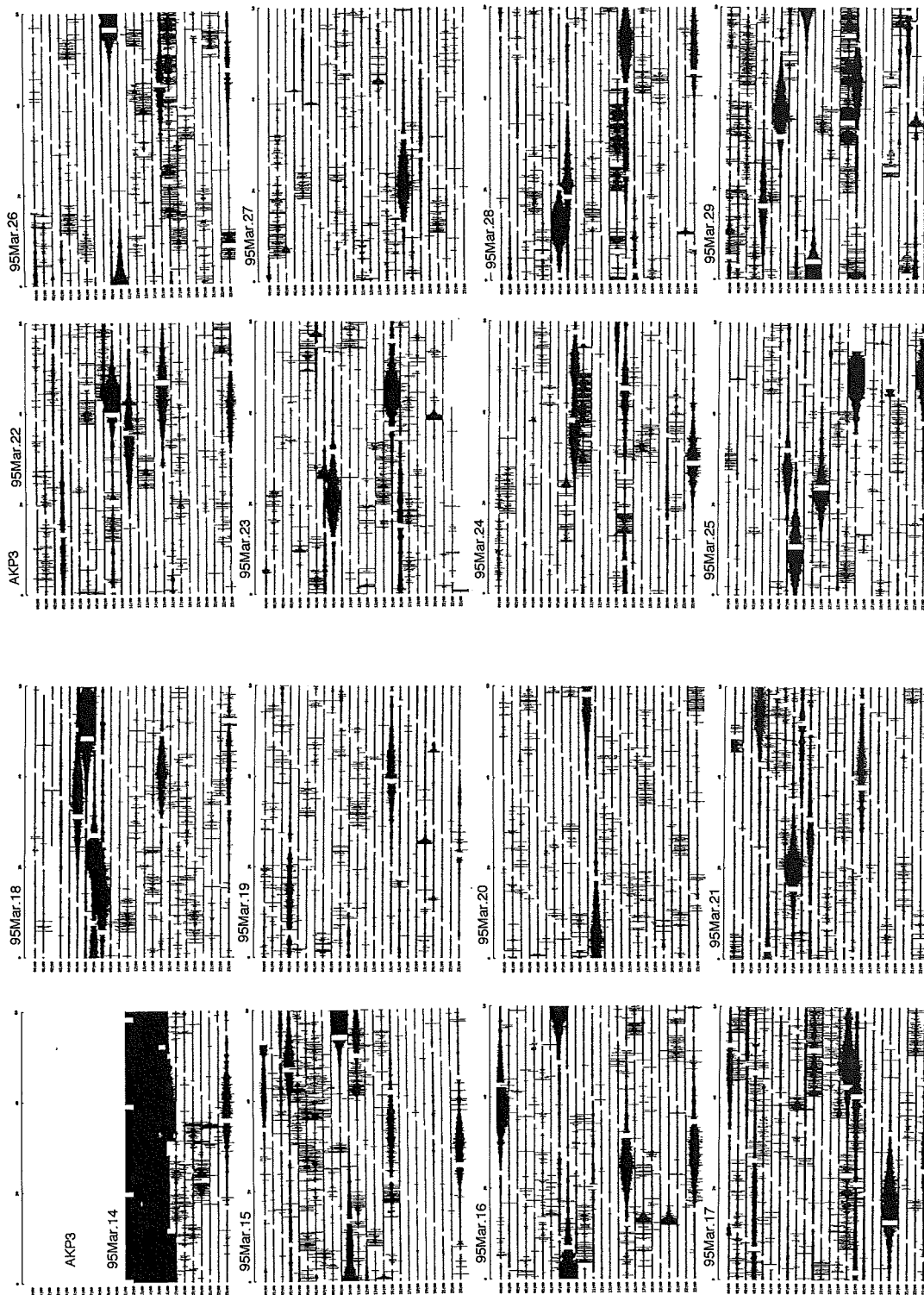


Fig. 6 Same as Fig. 4 but for the OBS station AKP3.

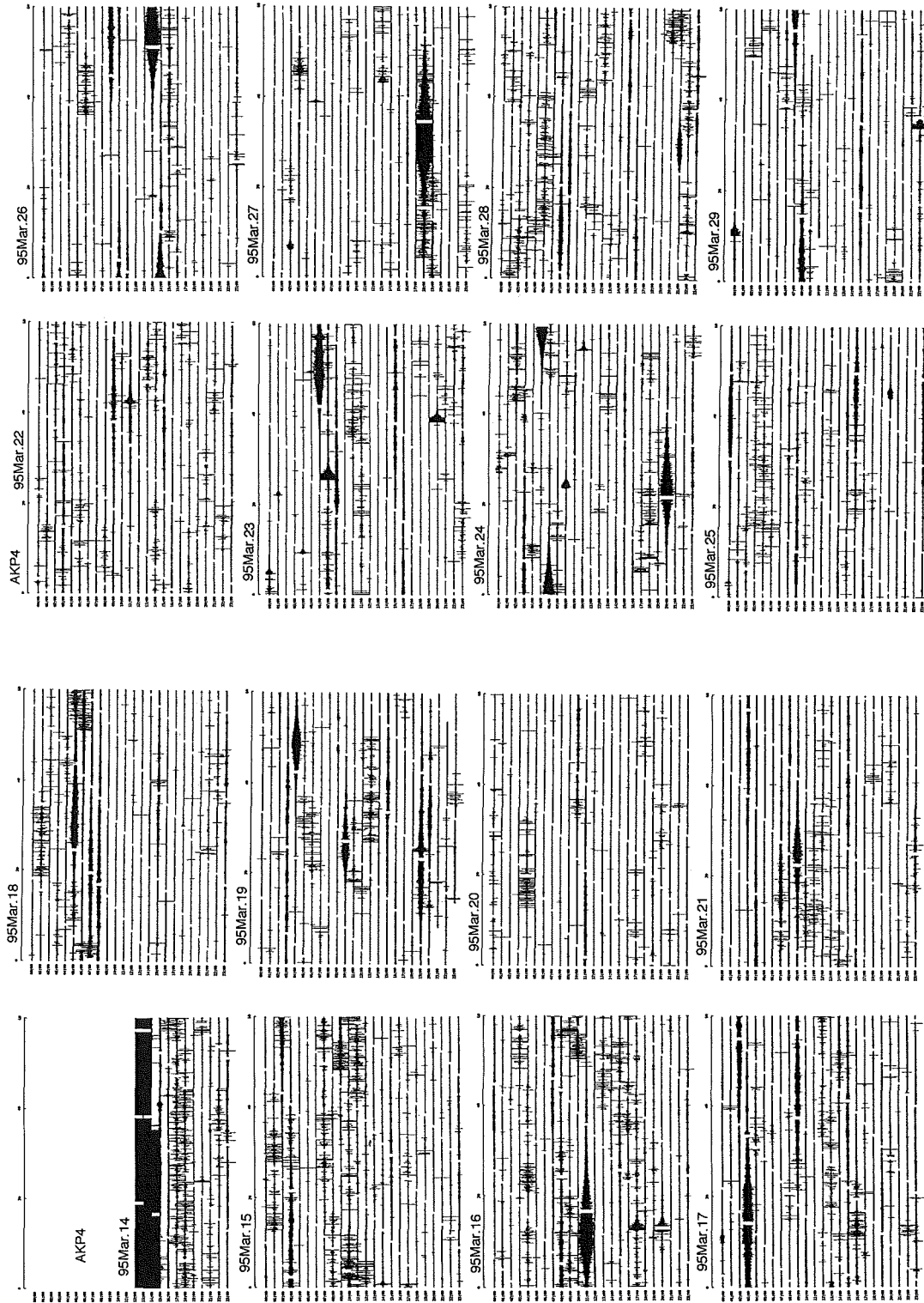


Fig. 7 Same as Fig. 4 but for the OBS station AKP4.

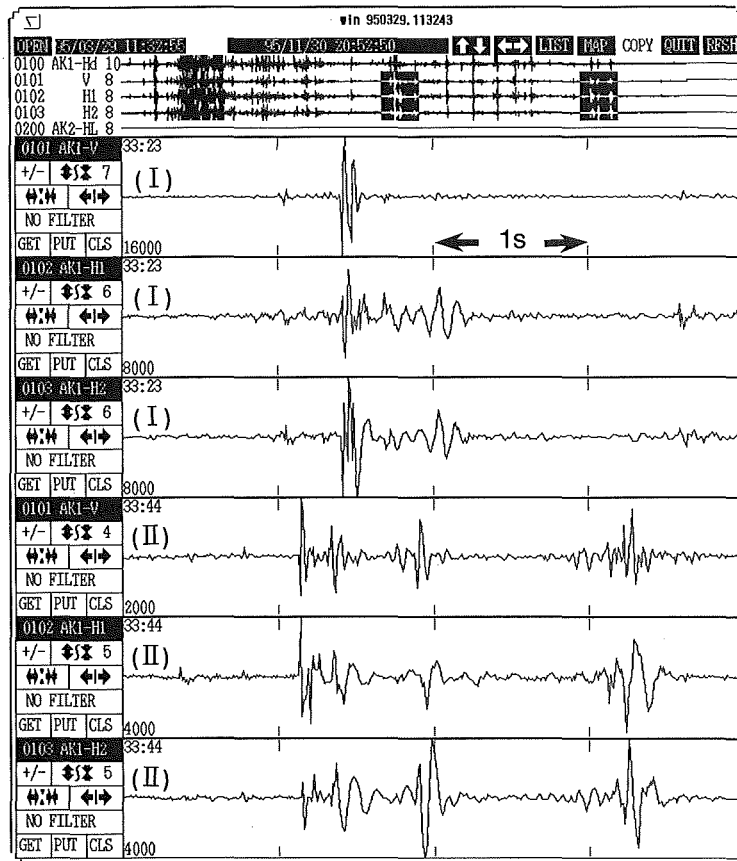


Fig. 8 Examples of impulsive events recorded at AKP1. Tick interval corresponds to 1s. Station name and sensor component are given at left of each trace.

は131個のうちの26個である。各 OBS で観測され、震源決定された地震記象例を Fig. 9 に、AKP1 のみで観測された記象例を Fig.10 に示す。Fig.10 で示した波形は上下動地震計の出力であり、いずれも同じ振幅でプロットしてある。初動の約1.8秒後の大きな振幅は、初動の海面反射である。初動の極性が up のものは全体のおよそ80%を占めており、それらの波形は振幅の大小はあるがかなりよく似ている。すなわち、これらの地震がごく近傍で発生していることを示唆する。

3点以上の OBS でP波及びS波の到着時刻の読み取りが可能であった54個の地震について震源決定を行った。1 km以内の精度で震源決定できた地震の震源分布を Fig.11に示す。図中黒丸は AKP1での S-P 時間が約1.5秒の地震であり、その他の地震が+印で示してある。波形の相似性から予想されたように震源は観測点 AKP1近傍に集中している。これらの地震は海底直下から6 km

以浅に発生している。OBS アレイ内で AKP1近傍以外の地震は3個のみしか決められず、それらはすべて15km以深である。

4. 議論

OBS 観測期間中、東北大学理学部地震予知・噴火予知観測センターの陸上地震観測網で決められた調査域内の地震の個数は2個のみ (Fig.11, 黒六角形) であった。それらの地震のマグニチュードは、 $F-P$ 継続時間より求める東北大マグニチュードでそれぞれ2.3と3.2である。すなわち、OBS 観測によって震源を決めることのできたほとんどの地震は $M2.3$ より規模の小さい地震であると言える。一方、陸上観測網と OBS アレイでそれぞれ独立して決定した震源の間で系統的な位置のずれが存在するかどうかは、共通に観測された地震の個数が少ないため不明である。しかしながら、図中で位置が大きく移動している東北大マグ

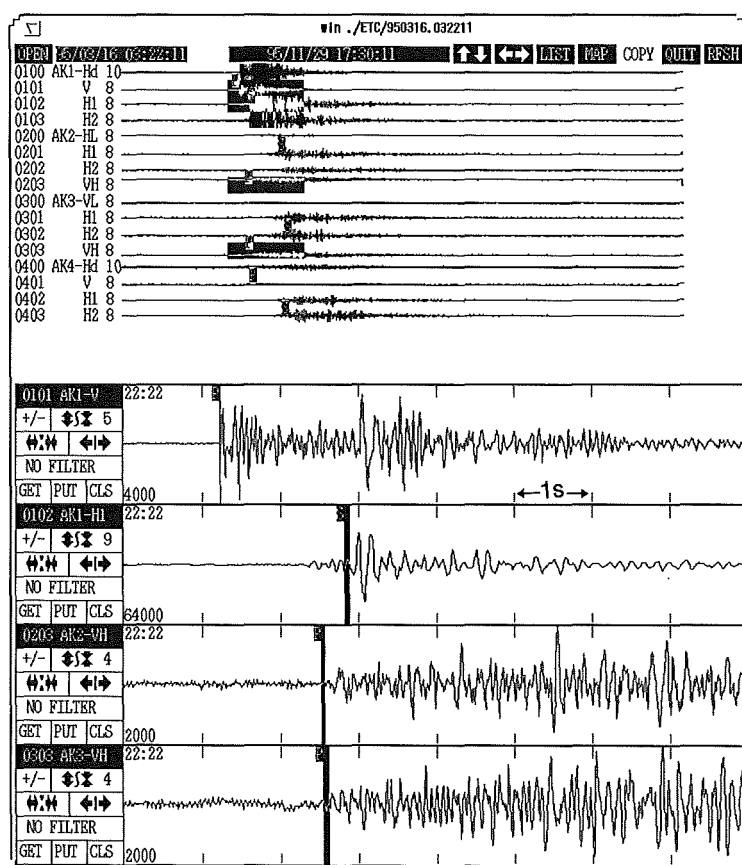


Fig. 9 An example of seismograms obtained by each station. Tick interval corresponds to 1s. The hypocenter of this earthquake is determined in the vicinity of AKP1.

ニチュード2.3の地震は、AKP1でのS-P時間が1.5秒であるため、浅い方の震源位置、すなわちOBSデータから求められた位置が正しいであろう。

1995年1月～3月の地震活動域は、大竹（1994）や松澤（1995）により推定されている地震空白域の陸側の端部付近に位置する。松澤（1995）は、1978年以降の太平洋側も含めた東北地方のM7以上の地震5個について本震発生前の地震活動を調査した結果、本震の震央の位置が空白域が拡大し始める地点に対応していることを示した。将来発生しうる秋田沖の地震も同様であるとすれば、推定される本震の破壊開始点の位置は、本研究で検出された地震活動域のより海側、南西側となる。すなわちこの地震活動は前震活動ではなく、震源断層の端における活動であったのかもしれない。実際、1996年3月10日現在、該当地域において大地震は未だ発生していない。

地震活動と海底地形との間に関連があるかどうかを調べるため、求められた震央をSea Beam 2000で得られた精密な海底地形図上にプロットした。Fig.12は海底地形の凹凸を強調するための陰影図に震央を重ねたものである。震源の集中している場所は最上深海長谷が屈曲している場所であり、Fig.2においても明らかなように等深線がその走行を90度転換している地点に相当する。この地点は、その東側には南北に延びる急崖があり、この付近の海盆地形を示す最上トラフにおいて最も複雑な領域であると言える。

中村（1983）により推定された新生プレート境界の秋田県沖における位置は、本研究の調査域のおよそ100km西側に存在する。プレート境界と本研究の地震活動との関係は現在のところ不明であるが、今後、海域における微小地震の観測を積み重ね、海底地形の他にさらに地磁気・重力などの情報とも統合することにより、この地域のプレート

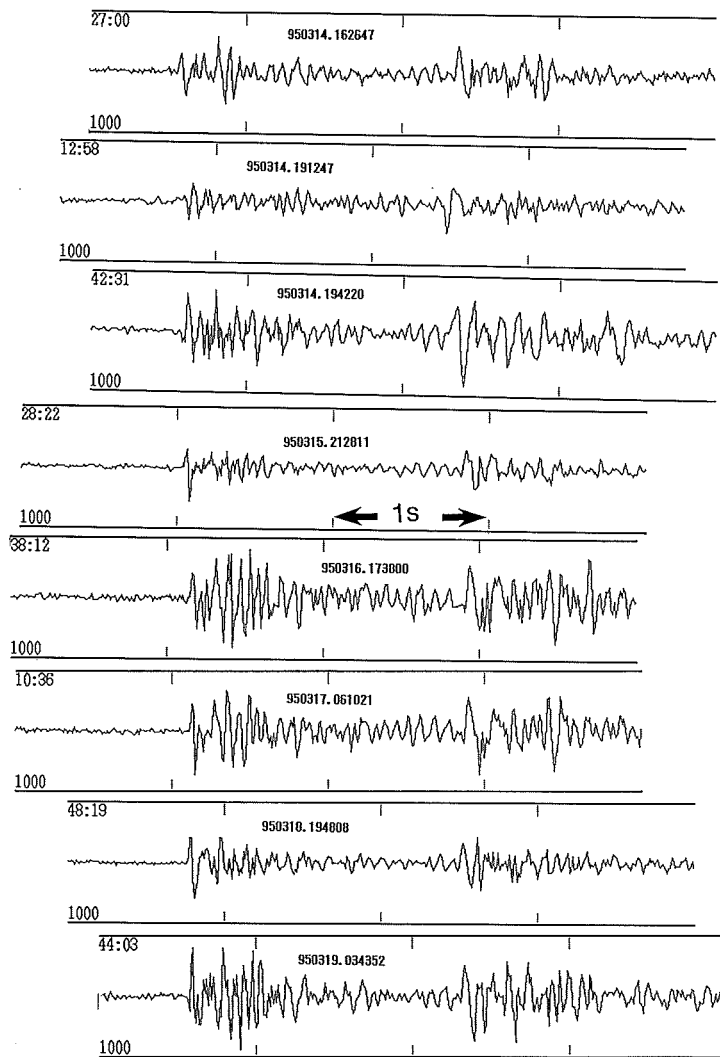


Fig.10 Seismograms of vertical component with $S-P$ time of about 1.5s recorded at AKP1. Tick interval indicates 1s. The time of the OBS clock is shown at upper part of each trace.

活動の性質を捉えることが可能となろう。例えば、1995年10月、秋田県酒田沖における深部地震波速度構造を求めるために、大容量エアガンとOBSおよび120chのマルチチャネルストリーマーを用いた探査を行った（倉本・他、1996）が、これらの解析結果もプレート境界に関連した構造の不均質を検出するための重要な手がかりとなろう。

またこの構造探査と同時に3月の観測点であるAKP1に2台のOBSを約250m離して設置し、Fig. 8で見られたパルス状のイベントが地震であるかどうかを確かめる実験を行った。現在データ解析中であるが、どちらのOBSにも3月と同様のイベントが観測されているにもかかわらず、同時には観測されていないことがわかった。このこ

とから、これらのイベントの発生理由は未だ不明であるが、たとえば生物などの地震ではない原因によって発生したと推定される。

5. まとめ

日本海東縁部に想定される地震空白域の1つにあたる秋田沖において、1995年3月に海底地震計を用いた微小地震観測を行った。3月14日から30日までの4台のOBSによる観測の結果、以下が示された。

1. 観測期間中3台以上のOBSで同時に観測された地震の個数は54であり地震活動は全体的に低かった。遠地地震も含めると全OBSの記録では16日間で183個の地震を検出した。

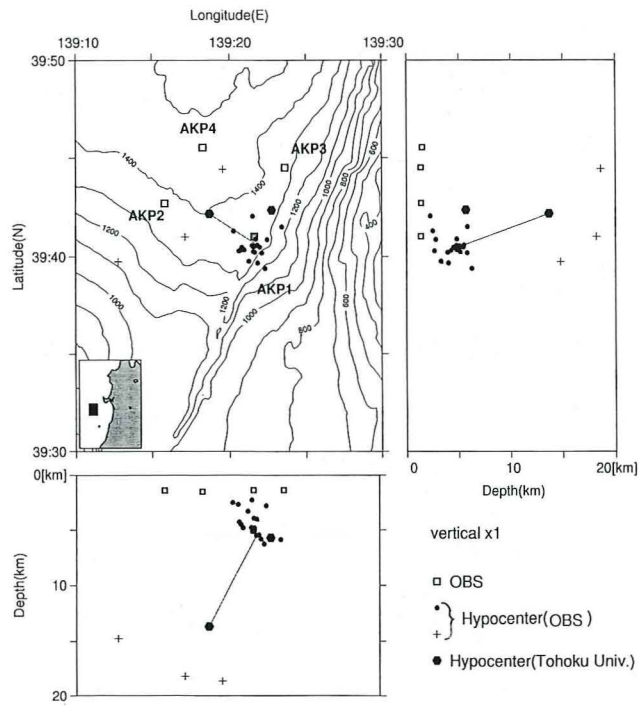


Fig.11 Hypocenter distribution obtained from the OBS data. Solid circles are hypocenters with $S-P$ time of about 1.5s at AKP1 and crosses are the others. Two solid large hexagons indicate hypocenters determined by the land network of Tohoku University during this OBS observation.

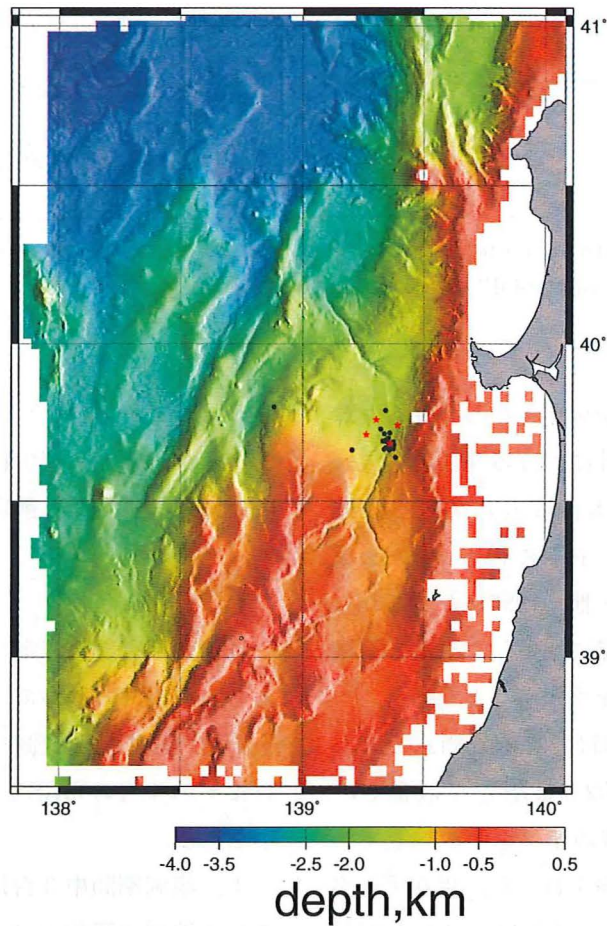


Fig.12 Epicenter distribution determined by OBS observation on the fine bathymetric map. Red asterisks and closed circles are positions of OBSs and epicenters, respectively. The bathymetric map is shaded map and illumination angle is from east.

2. 上記の地震のうち131個は、1995年1月22日のM4.0の震源域であるAKP1の直下に集中して発生した地震である。記録された波形は非常によく似ており、ごく限られた範囲で発生していることを示唆する。すなわち、今回観測された地震活動はM4.0の地震の余震活動の一部であると考えられる。

3. また、この地震活動の集中域は、Sea Beam 2000による精密な海底地形図上での地形の急変点に対応している。

1996年3月10日現在、秋田沖の微小地震活動は静穏化し、異常な地殻変動の信号も見られなくなっているが、依然としてこの領域は第2種地震空白域に対応している。今後とも、この領域の地震活動を注意深く見守っていく必要がある。

謝 辞

海底地震計の設置時は「あじあ丸」、回収時には測量船「天洋」の船長ならびに乗組員の方の多大な協力を得ました。東北大学理学部地震予知・噴火予知観測センターには、海底地震観測期間中の震源データを提供していただきました。海底地形図のデータは海洋調査課沖野郷子・泉記明両氏により作成されたものです。また、海洋研究室の吉宣好氏、金崎茂氏には海底地震計の準備を手伝っていただきました。査読者の方には有益なコメントをいただきました。記して謝意を表わします。なお地形図の作成にはGMT graphic package (Wessel and Smith, 1991) を使用しました。

参 考 文 献

青柳恭平、篠原雅尚、末広潔、海宝由佳、堀田宏：
小スパン海底地震計アレイによる北海道南
西沖地震の余震観測(2)，地球惑星科学関連
学会1995年合同大会予稿集，641 (1995)。
Fukao, Y. and Furumoto, M. : Mechanism of
large earthquake along the eastern mar-
gin of the Japan Sea, *Tectonophysics*, 26,
247-266 (1975)。
日野亮太・金沢敏彦・末広潔・佐藤利典・島村英

紀：海底地震計群列による1993年北海道南
西沖地震の余震分布，月刊海洋，7，35-42
(1994)。

Hirata, N. and Matsu'ura, M. : Maximum-
likelihood estimation of hypocenter with
origin time eliminated using nonlinear
inversion technique, *Phys. Earth and
Planet. Int.*, 47, 50-61 (1985)。

倉本真一・松本剛・平田賢治・一北岳夫・笠原敬
司・西澤あずさ・「かいよう」乗船研究者一
同：日本海東縁における深部地殻構造探
査，地球惑星科学関連学会1996年合同大会
予稿集 (1996)。

Ludwig, W. J., Murauchi, S. and Houtz, R. E. :
Sediments and structure of the Japan
Sea, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 86, 651-664
(1975)。

松澤暢，第2種地震空白域の拡大について，日本
地震学会講演予稿集，2，B92，(1995)。

中村一明，日本海東縁新生海溝の可能性，地震研
究所彙報，58，711-722 (1983)。

Nosaka, M. and Suyehiro, K. : Aftershock dis-
tribution of the 1983 Japan Sea Earth-
quake revealed by ocean-bottom and
land based stations, *J. Phys. Earth*, 35,
209-224 (1987)。

大中康馨，実験室でみる断層運動：地震と断層，
島崎邦彦，松田時彦編，東京大学出版会，
149-172 (1994)。

大竹政和：地震発生のポテンシャルと地震防災対
策，学術月報，47，500-504 (1994)。

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)。

東北大学理学部：最近の東北地方の日本海におけ
る微小地震活動について，地震予知連絡会
会報，54，71-74 (1995)。

東北大学理学部，東北地方における地殻変動連続
観測，地震予知連絡会会報，54，75-78 (1995)

Wessel, P. and W. Smith, 1991 : Free software

helps map and display data, *EOS*, 441,
445-446 (1991).

Urabe T., Suyehiro, K. Iwasaki, T. Hirata, N.
Kanazawa, T., Nishizawa, A. and
Shimamura, H. : Aftershock distribution
of the 1983 Japan Sea Earthquake as
determined from helicopter-dispatched
OBS observation, *J. Phys. Earth*, 33,
133-147 (1985).

ト部卓・東田進也, Win-微小地震観測網波形験測
支援のためのワークステーション・プログ
ラム日本地震学会講演予稿集, 1,
70 (1991).