

## 1-18 北海道南西沖地震震源域の海底変動調査と余震観測

### Stationary Observation, Diving Observations and Observation by Ocean Bottom Seismometer at aftershock area of the Hokkaido-Nansei-Oki Earthquake

海洋科学技術センター  
Japan Marine Science and Technology Center

#### 1. はじめに

海洋科学技術センターは、'93年北海道南西沖地震に対して、地震発生直後の海底変動状況の把握及び地震断層の特定を主たる目的として、ディープトウ（深海曳航体）、「ドルフィン3K」及び「しんかい2000」による深海観察調査と、海底ステーション及び海底地震計による連続観測を実施した。その結果、今回の地震によると思われる多くの裂か、斜面崩壊、地震の影響と考えられる大量の生物死、地震が引き金となった海底の濁りなど、多くの知見が得られたので以下に報告する。これら研究の一部は、科学技術庁科学技術振興調整費の課題「平成5年北海道南西沖地震に関する緊急研究」により実施された。

#### 2. 調査日程

下記の日程で調査を実施した。各調査の測線と観測点を第1図、第2図及び第3図に示す。

- (1) 平成5年7月31日～8月4日 第1次深海曳航調査（調査船「かいよう」）
- (2) 平成5年8月12日～8月22日 「ドルフィン3K」及び「しんかい2000」による調査
- (3) 平成5年8月30日～9月7日 第2次深海曳航調査、海底地震計及び海底ステーション観測（「かいよう」）
- (4) 平成6年3月21日～4月20日 海底地震計による余震観測

#### 3. 調査結果のまとめ

##### (1) 深海観察調査

###### a) 海底表層構造

奥尻島の西及び南西側斜面は、至るところで海底地滑りや崖崩れの跡が観察された。また海底には、多くの開口割れ目が形成されていた（写真1、写真2）。斜面域で観察された割れ目の多くは斜面崩壊に伴うもので、方向は等深線と平行な南北性が多いが、平坦面では東西性も増加する。また、カニやナマコ等の生物が異常に密集していた。海底の一部が変色しており、伏在の断層等からメタンなどの化学物質がしみ出している可能性が示唆された。噴砂の痕跡が初めて観察された（写真7）。

奥尻島西側海域の北部は、斜面全体が淘汰の悪い土石流堆積物で広く覆われ、裂か等の変動地形が観察された場所は少ない。同海域南部では島に近い急崖部は同様に土石流堆積物で覆われていたが、深部平坦面では裂か、噴砂、変色域が卓越していた。

本震震央の奥尻海嶺域では、広範囲にわたり裂かを伴う強い変形表層構造が確認された。特に東側麓で規模の大きな裂か群や破壊地形、海底付近での海水の濁りが見られた。

## b) 地震断層

海底表面にまで現われていると考えられた本震による地震断層はこの一連の目視観察からは明瞭に特定できなかった。しかし噴砂や生物群集の分布する地点及び、地盤の膨れ上がり等、非常に強い表層の破壊が起きている地点が奥尻島西斜面上にほぼ線上に分布することが認められ、また特に激しい破壊域が、さらに深い水深 2500m 付近に集中していることが明らかにされた。

チャープソナー（深海曳航式高精度サブボトムプロファイラ）の DT-6 S と DT-8 S の両測線において断層構造が認められた（第 4 図）。カメラ観察からの最も破壊の激しい地点が、チャープソナーによる断層構造が認められる地域とよく一致する。カメラ調査による単位距離あたりの海底崩壊構造数の分布とチャープソナーによる推定断層の位置を第 5 図に示す。

## c) 地滑りに伴う生物遺骸と地滑り性堆積物

奥尻島の西及び南西側斜面の谷筋には、土砂に押し流されて死んだと思われる蟹等が多く見られた。急崖の麓には新しい崖錘堆積物が厚く堆積し、本来固着性のヤギ類等の生物もそれら堆積物に埋まっていた（写真 5）。これらは今回の地震が深海生物へも大きな影響を与えたことを示している。裂かんの断面には、過去の地滑り性堆積物の特長を示す堆積構造や、小断層や地層液状化の痕跡を示す堆積構造も確認できた（写真 6）。

## (2) 海底地震計等による余震観測

a) 海底ステーションによる環境変動観測 奥尻島南西沖（北緯 41°58.562′・東経 139°21.730′・水深 1,697m）の地点に海底ステーションを設置し、流向・流速計、水温・塩分計、濁度計、カメラ、ハイドロフォンによる観測を行った。設置海域を第 2 図に示す。毎正時に 40 秒間、ビデオ画像とハイドロフォンデータを記録した。9 月 3 日と 7 日にビデオ画像と濁度計で濁りが観察され、海底地震計や陸上地震観測網で観測された地震との関連性が極めて高いことがわかった。

海底付近の流向は、西北西から北西流が卓越していた。また、流速は最大 7.5cm/sec、最小 1.5cm/sec で、概ね 5cm/sec 以下であった。濁度は、6 時点において増加が認められたが概ね 0.6～1.0ppm の値を示していた。濁度増加時の流速値は 5cm/sec 以下と遅く、流向値の大きな変化もない（第 6 図）。従って、濁りの原因は底層流による堆積物の擾乱ではないと考えられる。ハイドロフォンでは、地震による音響は確認されなかった。

## b) 海底地震計による余震観測（第 1 次）

奥尻島西側斜面水深 1600～1700m の、海底に噴砂や多数の生物が見つかった海域に 4 台の地震計を設置した。地震計の間隔は約 5km とした。（第 2 図）

### i) 震源分布（第 7 図）

地震計のアレイのやや南が、余震活動の活発な海域であった。調査期間中に起こった比較的大きな地震 15 個のうち、ほとんどの地震は水平方向 1km 以内と深さ方向 2km 以内の精度で震源が求められた。余震は北東から東西方向に帯状に分布し、水深 1000m～2200m の範囲に多い。震源の深さは海面から 4km から 18km で、西落ちの面状分布を持ち、北海道南西沖地震の地震断層の破壊面に沿って発生していると考えられる。

## ii) 断層面の推定

震源分布の傾きはN50Wで最大となり、傾斜角は水平より50~60度の角度を持つ。本震のメカニズム解より、震源域は東西圧縮の応力下にあることが報告されており、この結果から地震断層は走向N50W、傾斜50~60Wの逆断層であると推定される。この断層面を海底面まで延長すると、奥尻島南西沖の水深200mより浅い所に到達する。

iii) 代表的な地震波形 第8図に平成5年9月1日午前1時26分の波形の例を示す。これは、P波、S波の他に明瞭なP-S変換波が記録されている。この変換波は今回の地震で多く観測されており、これから海底地震計直下の堆積層の厚さは約0.5kmと見積られた。

## c) 海底地震計による余震観測 (第2次)

平成6年3月下旬から約1ヶ月にわたり3台の海底地震計による観測を行った。

### i) 地震活動

地震計のアレイは、第2図及び第7図に示すように平成5年9月の調査で海底ステーションを設置した付近の、余震活動が活発な海域の南側に設置した。地震計の間隔は5km以下とした。また、調査期間は28日間で、前回の4倍になった。地震の検索は、北海道大学の陸上観測網で奥尻付近に震源決定された地震の時刻をもとに解析した。2台の海底地震計でP波、S波共に読取可能なものは、一日1個から9個で平均4.8個であった(第9図)。

### ii) 代表的な地震波形とS-P時間の分布

3つのタイプの代表的な地震波形を第10~12図に示す。第10図は、アレイ北側(OBS3側)の地震で、S波の立ち上がりが不明瞭である。第11図はアレイ南側(OBS2側)の地震で、S波の立ち上がりが明瞭である。第12図は、前者に比べて震央距離がやや遠く、観測期間の後半に多く観測されている。2台の地震計でのS-P時間をプロットすると、OBS2側のS-P時間の長いものがやや多く、平成5年9月の観測と同様、アレイの北側海域が活動的であることを示唆する(第13図)。

## d) 海底地震観測のまとめ

### i) 地震活動の経時変化

平成5年9月には、西下がりの浅い地震活動が見られた。平成6年3月は、前回の震源域の上で観測を行い、観測期間を通じて地震計付近の地震活動が観測された(第14図)。平成5年9月では、北海道大学の陸上記録で観測されたアレイ近傍の地震に絞り、約1週間の観測期間中の震源決定を行った。この解析で、65個の読み取りと震源決定ができた。平成6年3月は、同様の解析を行い、28日間の観測で135個の読み取りができた。第2次調査は震源域に近いこと、地震計が2台なので読み取りの率が高くなるなど地震を多めに見積る傾向があるが、それでも地震の一日当たりの個数は9個から4.8個と半減した。

### ii) 表層変動地形と地震データによる断層面の関係

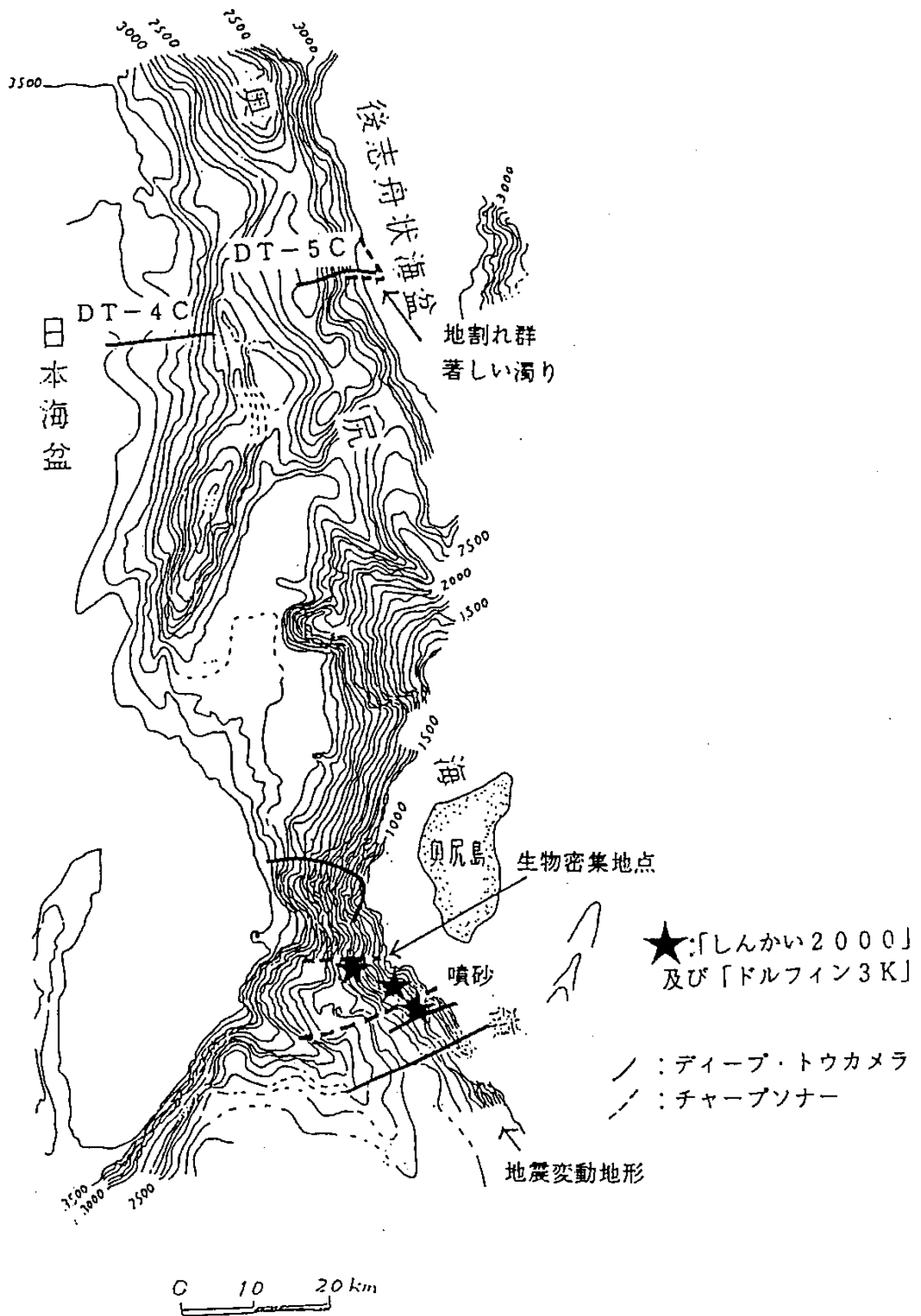
平成5年8月および9月に行われたディープトウや潜水船による表層変動地形調査から、地震に関連すると見られる奥尻島南西沖の変動地形や生物密集地域は、水深1300~2000mの範囲にあることがわかった。一方、今回の観測で震源分布より得られた断層面を海底面まで延長すると、奥尻島に近い水深200m位の海域に達する。両者の結果は矛盾するようであるが、断層面内で特に変位の大

きい領域が水深 1300～2000mの海域であったり、断層面の傾斜が浅部で変化するなどの解釈が考えられる。また、震源の直上であるために、地震の強い震動による斜面崩壊が発生した可能性もあり、ステーションで観測された濁りの発生はこれを裏付けるものと考えられる。

#### 4. 謝辞

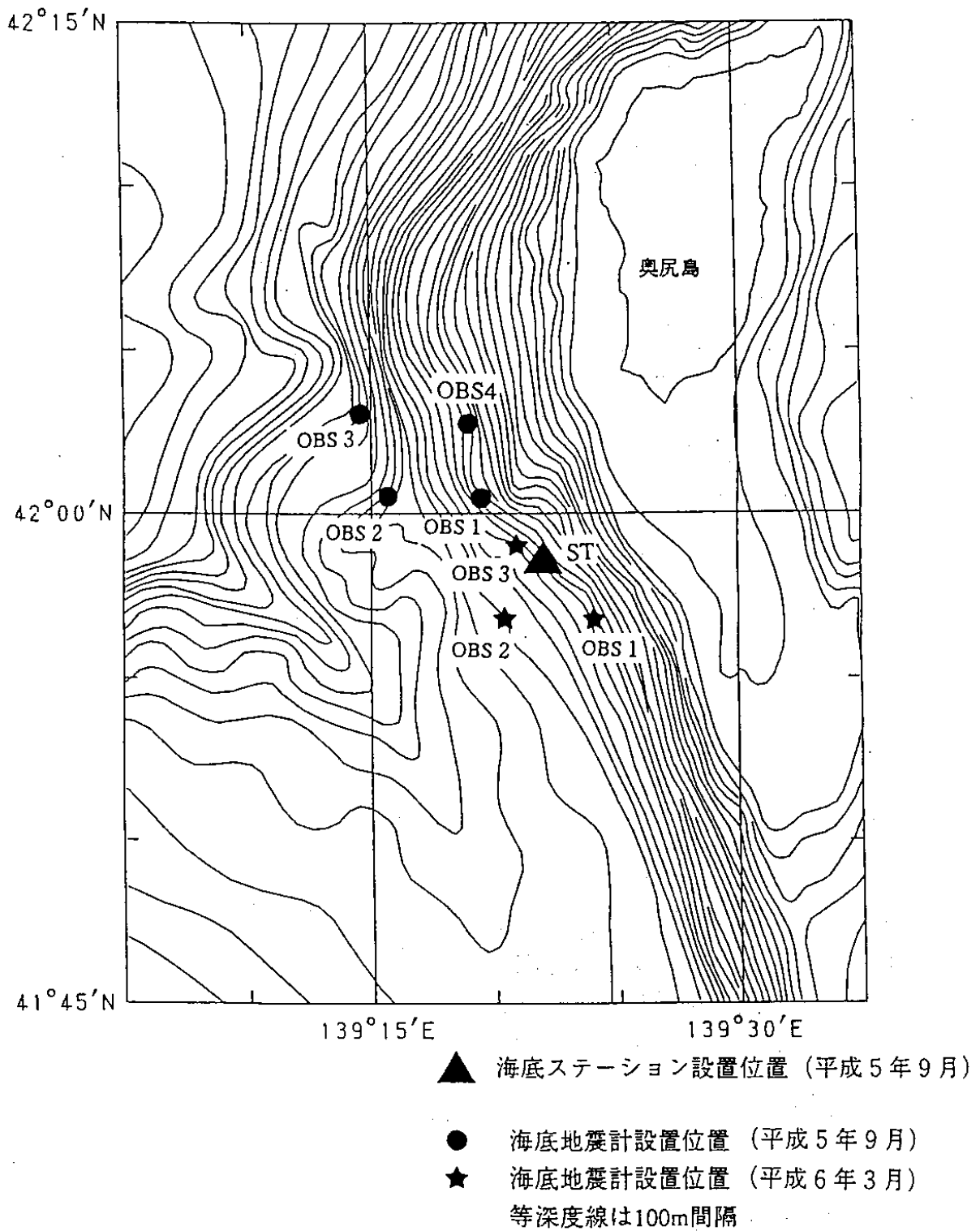
「しんかい 2000」, 「ドルフィン 3 K」潜航調査では多くの内外の研究者の協力を得た。「しんかい 2000」での観察者は以下の方々である(順不同, 敬称略)。藤岡, 田中(以上海洋科学技術センター), 加藤(水路部), 竹内(富山大), 倉本(地調)。「ドルフィン 3 K」調査では, 田中, 松本(海洋科学技術センター), 徳山(海洋研), 徐(静岡大, 現九州大), 倉本(地調)。曳航調査及び海底地震観測(第1次)参加者は門馬, 田中, 松本, 満澤, 海宝(海洋科学技術センター), 倉本(地調), 篠原(海洋研, 現千葉大), 青柳(千葉大)。海底地震観測(第1次)は末広, 篠原(海洋研)との共同研究である。海底地震観測(第2次)は宮本, 海宝(海洋科学技術センター)による。以上の諸氏の協力により観測を行った。

研究上の参考資料および潜水船行動の安全確認のために, 北海道大学より, 震源分布, 震源パラメータに関する未発表データを送って戴いた。また, 海上保安庁水路部からは, 調査直後のシービーム 2000 による精密海底地形図を提供して戴いた。



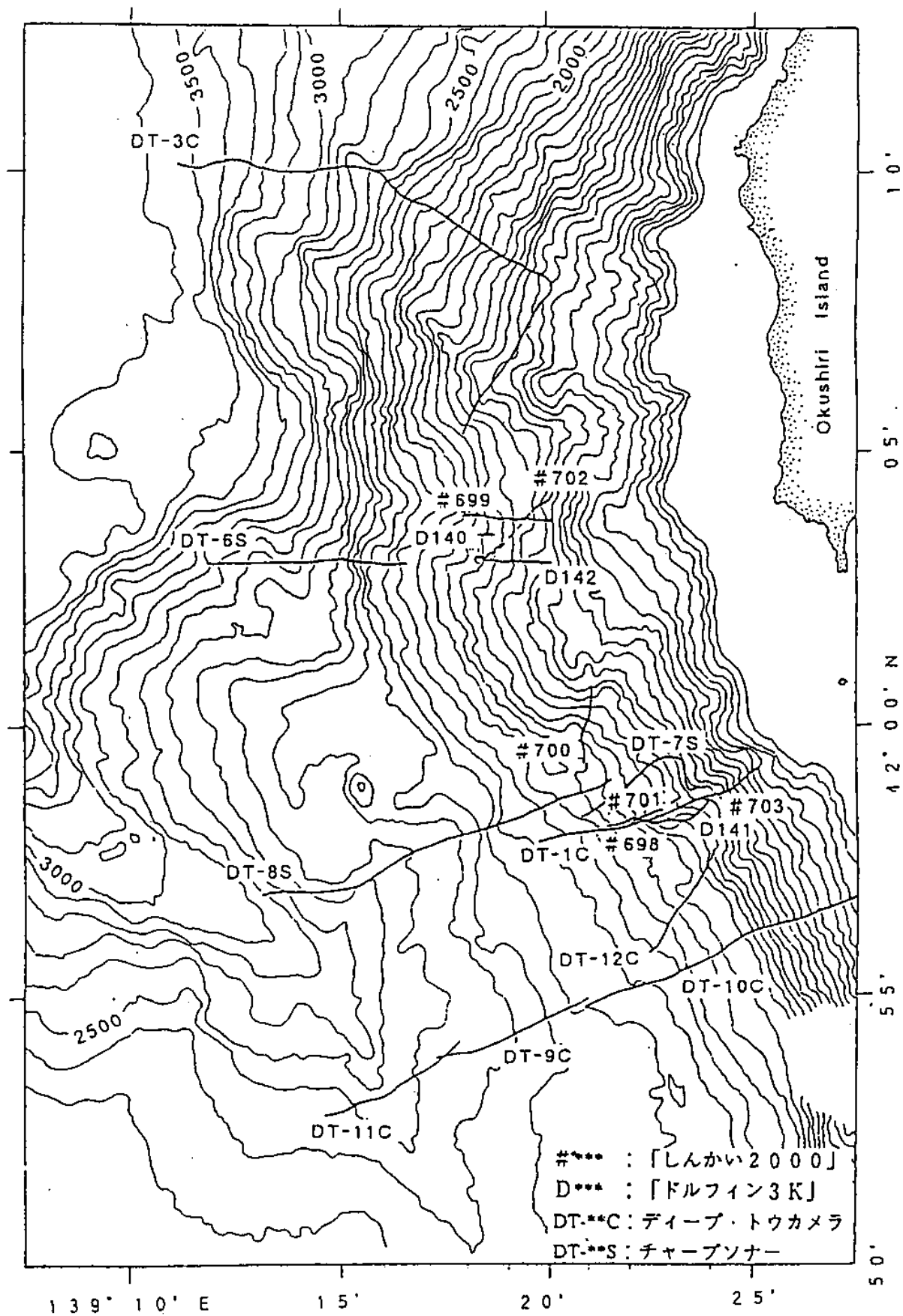
第1図 調査測線図。海底地形は、海上保安庁水路部のシービーム 2000 による精密海底地形図を使  
わせて戴いた。

Fig.1 Location of survey lines. Bathymetry was cited from seabeam 2000 of Hydrographic office.



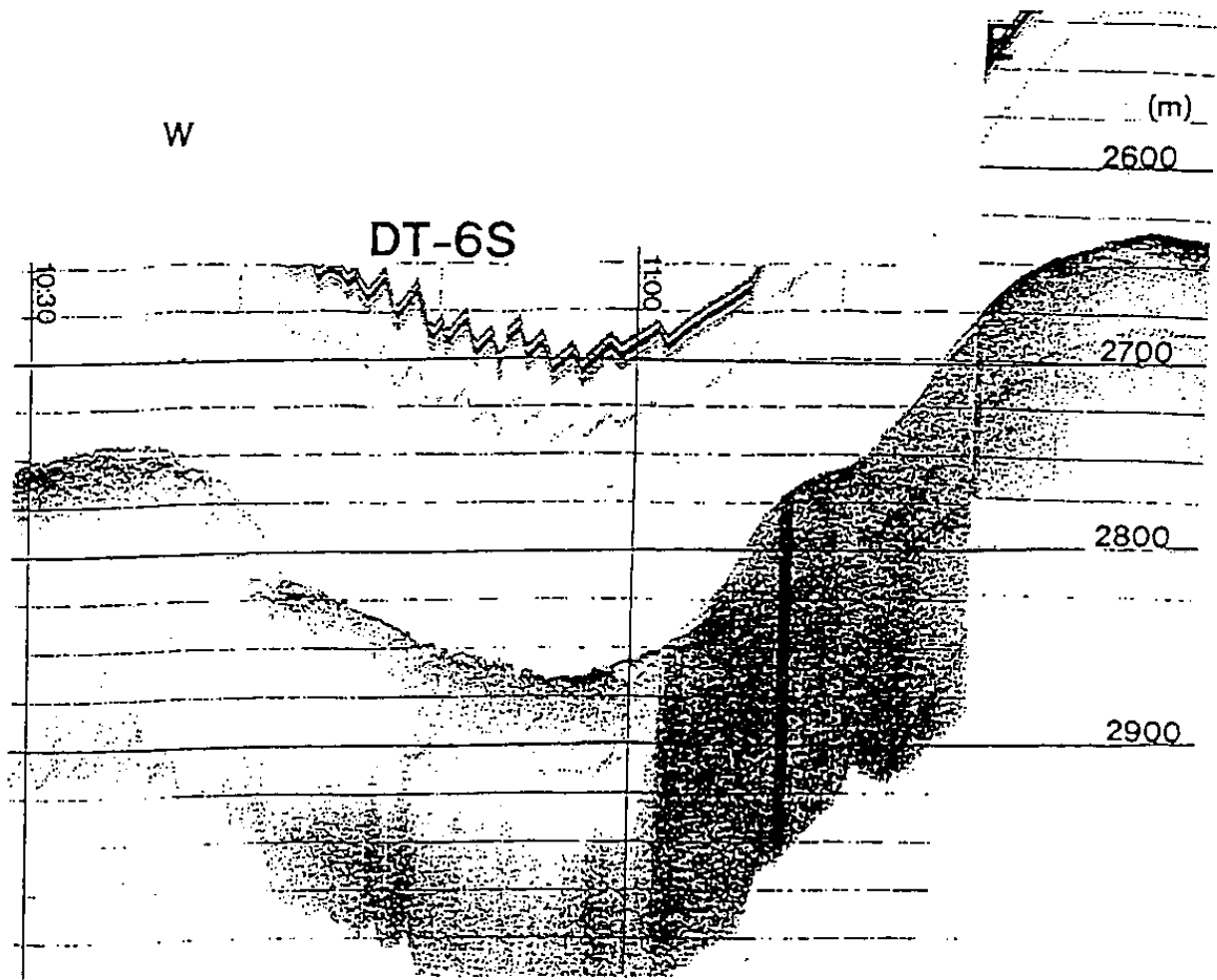
第2図 平成5年9月及び平成6年3月に設置した海底地震計及び海底ステーションの位置。

Fig. 2 Location of OBSs and Deep sea observatory deployed on Sept '93 and Mar. '94.



第3図 奥尻島西～南西沖における調査測線図。海上保安庁水路部のシービーム2000による精密海底地形図を使わせて戴いた。

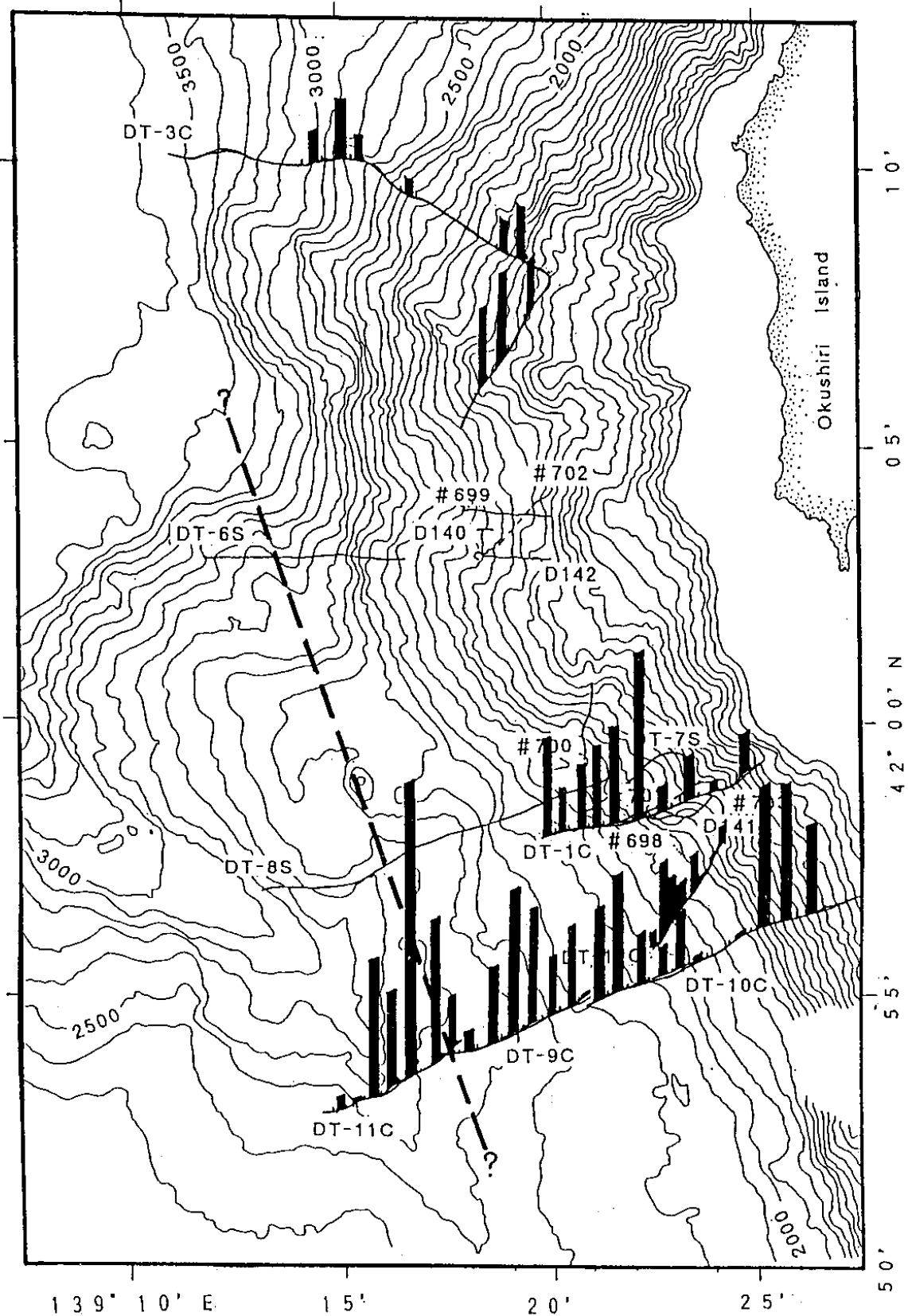
Fig. 3 Location of survey lines in W to SW area off Okushiri island. Bathymetry was cited from seabeam 2000 of Hydrographic office.



第4図 測線DT-6Sにおけるチャープソナー記録の例

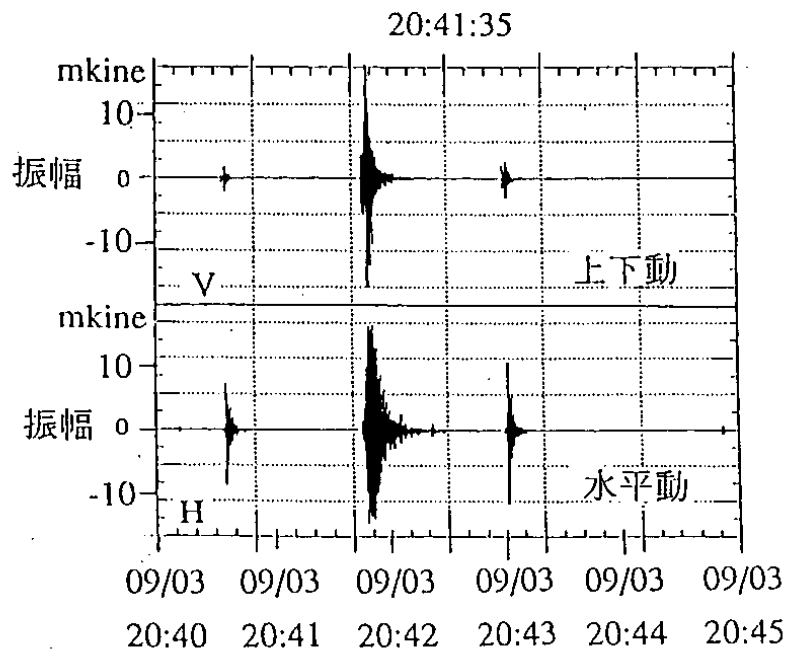
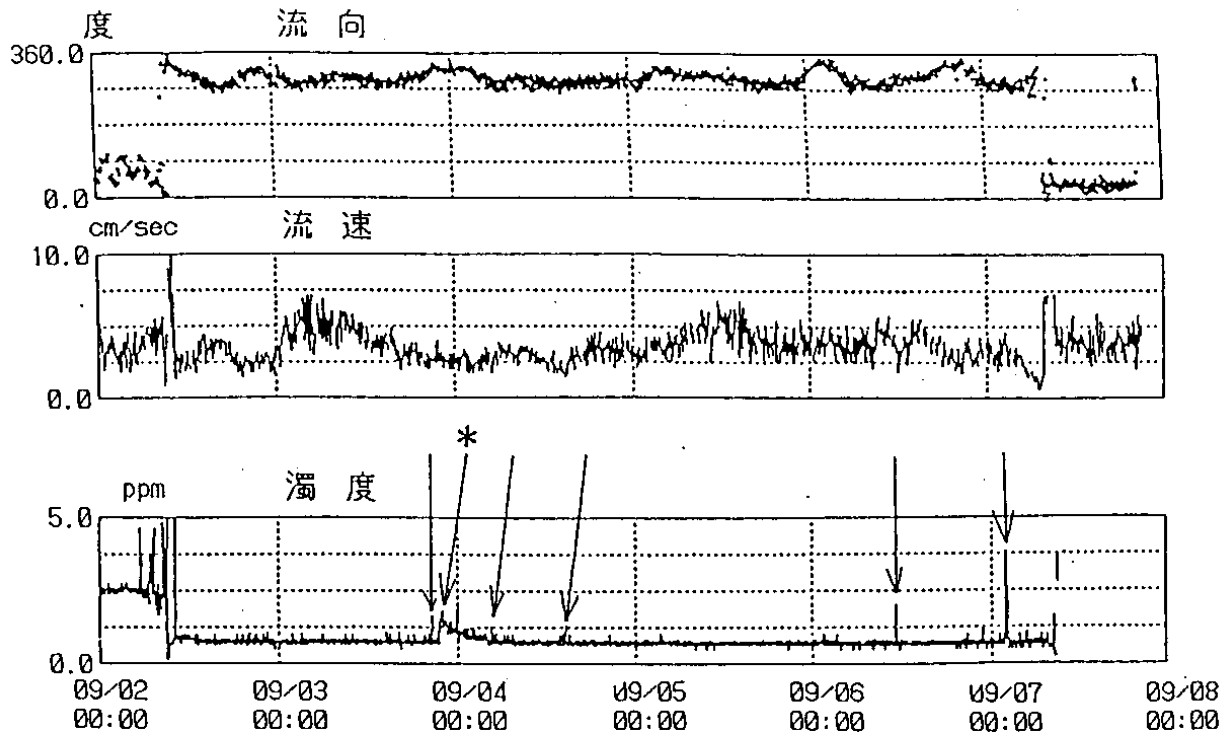
Fig.4 Example of Chirp sonar profile of DT-6S.





第5図 カメラ調査で得られた単位面積あたりの海底破壊構造数の分布及びチャープソナーによる推定断層位置。海上保安庁水路部のシービーム2000による精密海底地形図を使わせて戴いた。

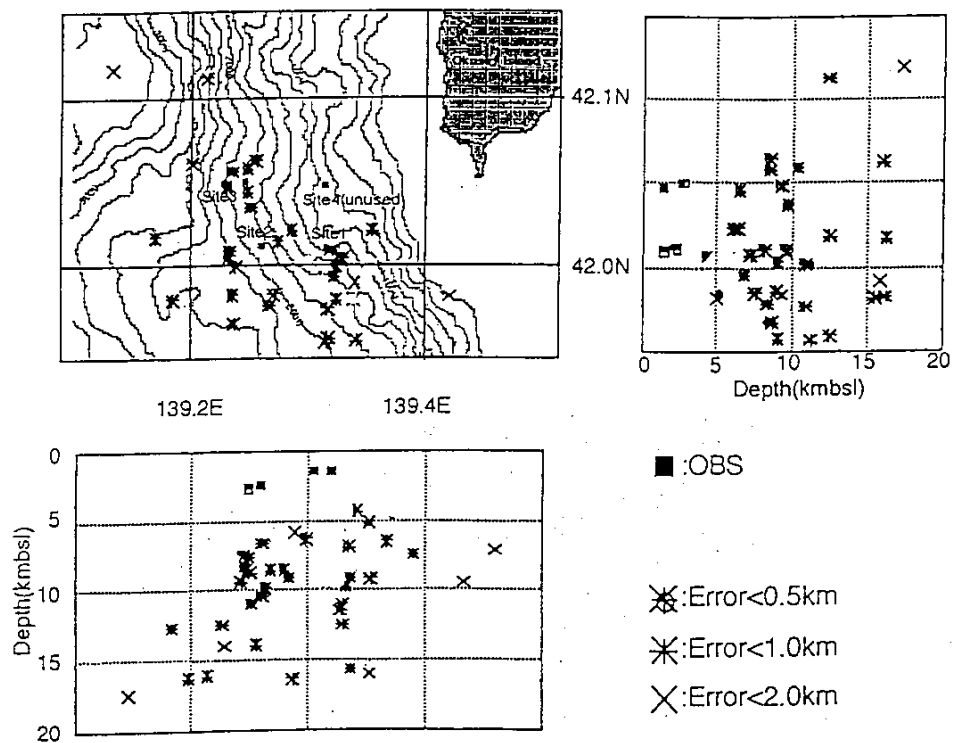
Fig. 5 Distribution of the density of deformed structure within square meters along the camera survey line and location of estimated fault by chirp sonar records. Bathymetry was cited from seabeam 2000 of Hydrographic office.



第6図 流速・濁度・地震の観測結果の比較。

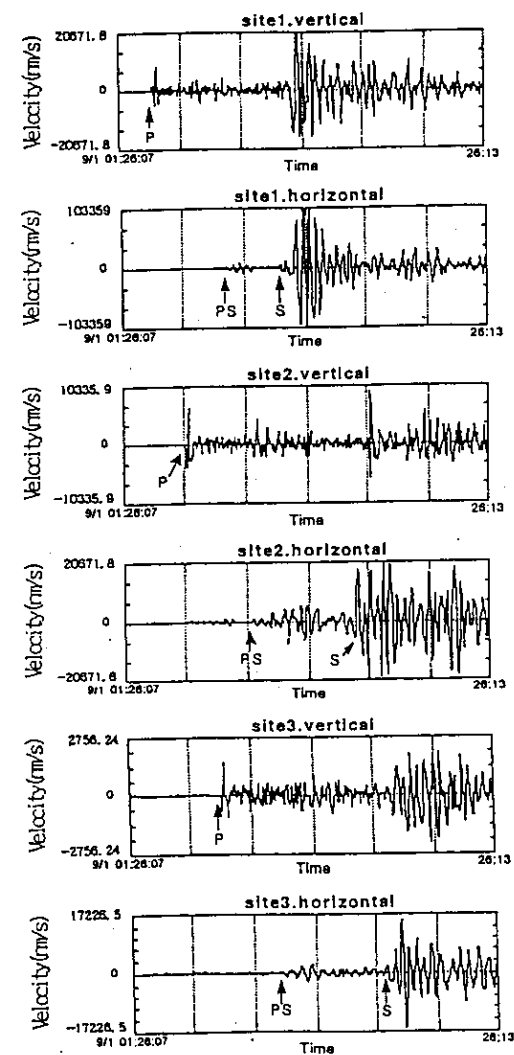
濁度の増加は6回認められたが、9月3日21時50分の濁度値の増加（\*で示す）に1時間程先立って比較的大振幅の余震が観測された。濁りは、22時のテレビ記録でも認められた。流向、流速にはほとんど変化がなく、低層流による濁度の増加ではないと考えられる。

Fig.6 Comparison among current, attenuation and seismogram.



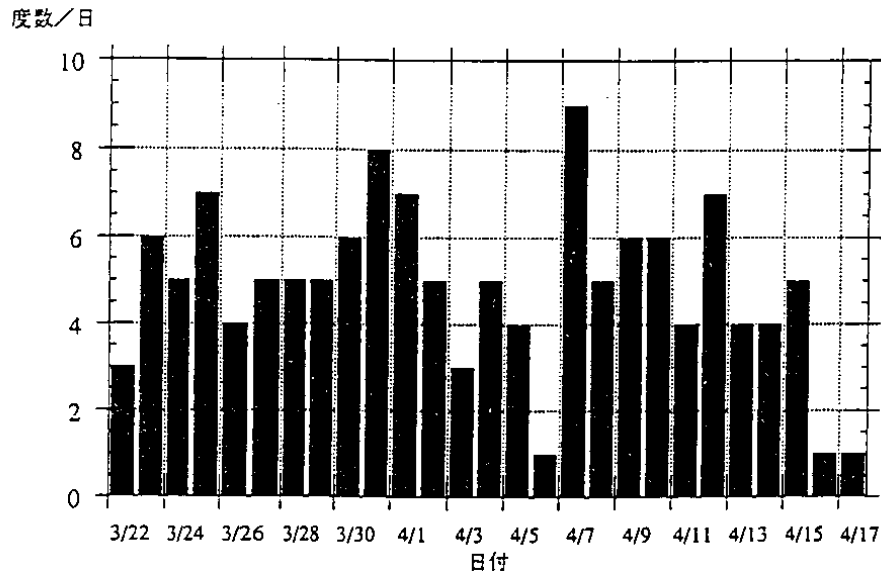
第7図 平成5年9月の第1次観測による余震の分布  
 Fig.7 Distribution of epicenters of aftershock (1993.8.31-1993. 9.6)

波形の例 (9/1 01:26:5.771発生)



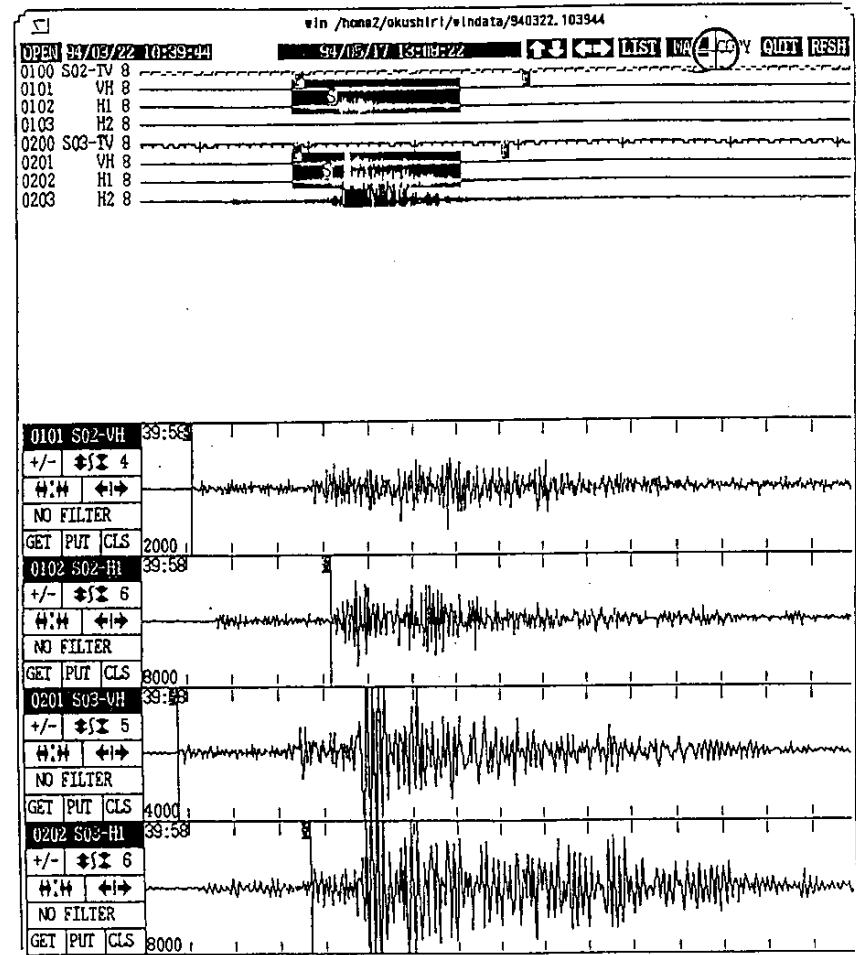
第8図 平成5年9月の第1次観測で得られた代表的な波形。  
 P S 変換波が見られる。

Fig.8 Examples of the typical seismic wave pattern (1993. 9).



第9図 平成6年の第2次観測による余震の頻度分布

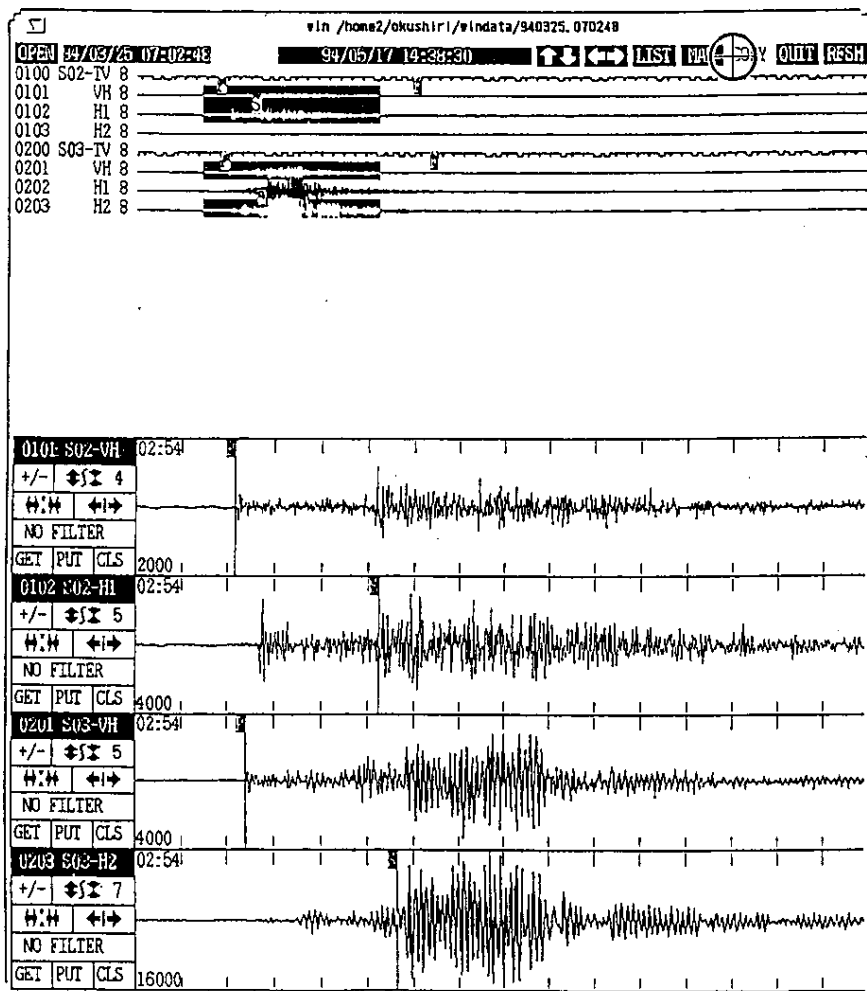
Fig.9 Frequency of aftershocks measured during second observation in 1994.



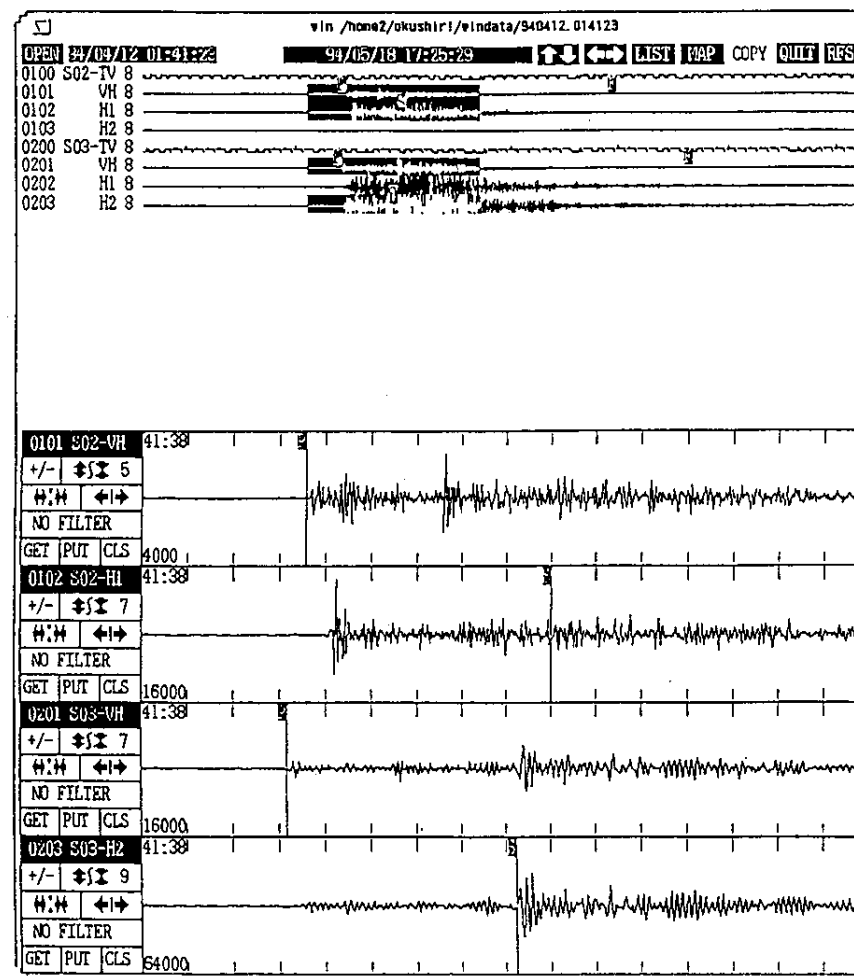
第10図 第2次観測における波形の例

地震計の北側よりの波。S-Ptime 3秒程度。

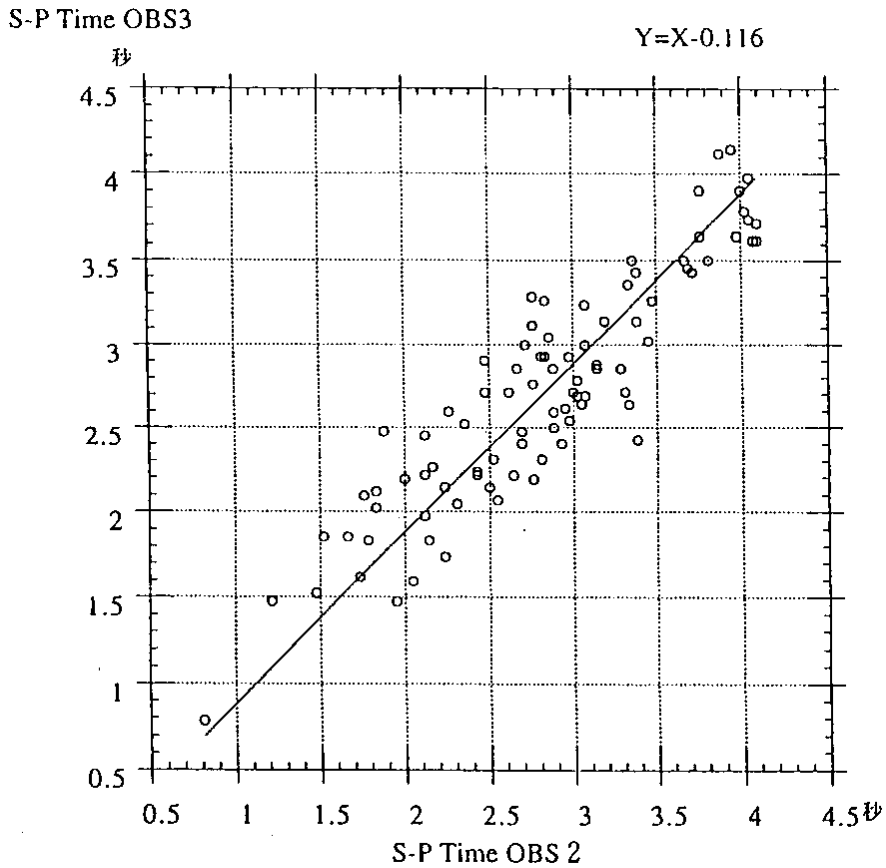
Fig.10 Examples of the typical seismic wave pattern (1994.3-4).



第 11 図 第 2 次観測における波形の例  
地震計の南側よりの波。S - Ptime 3 秒程度。  
Fig.11 Examples of the typical seismic wave pattern (1994.3-4).

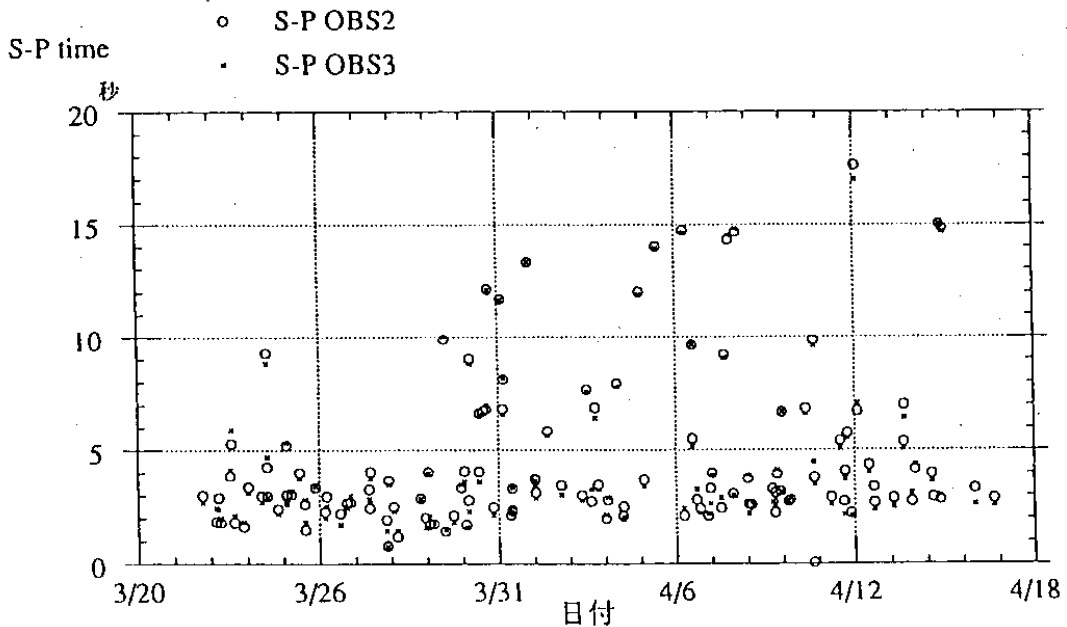


第 12 図 第 2 次観測における波形の例。S - Ptime 5 秒程度。  
Fig.12 Examples of the typical seismic wave pattern (1994.3-4).



第 13 図 平成 6 年の第 2 次観測における OBS2 と OBS3 での S-Ptime の比較。S-Ptime が 4 秒以下の地震について比較した。OBS3 の方が S-Ptime がやや短めの場合が多い。

Fig.13 S-P time diagram of OBS 2 and OBS 3 (1994.3-4).



第 14 図 平成 6 年の第 2 次観測における S-Ptime の頻度分布。地震計の近くでは比較的安定した活動が観測された。地震計からやや離れた場所での活動は、観測される期間とされない期間とがあった。

Fig.14 S-P times and time series diagram (1994.3-4)



写真1 緩やかな斜面に見られる開口割れ目 (水深 1470m)  
Photo.1 Open fissure on a gentler slope (depth 1470m).



写真3 地滑り性の崖付近に見られる未固結堆積岩 (水深 1570m)  
Photo.3 Unconsolidated sediments at landslide scarp (depth 1570m).

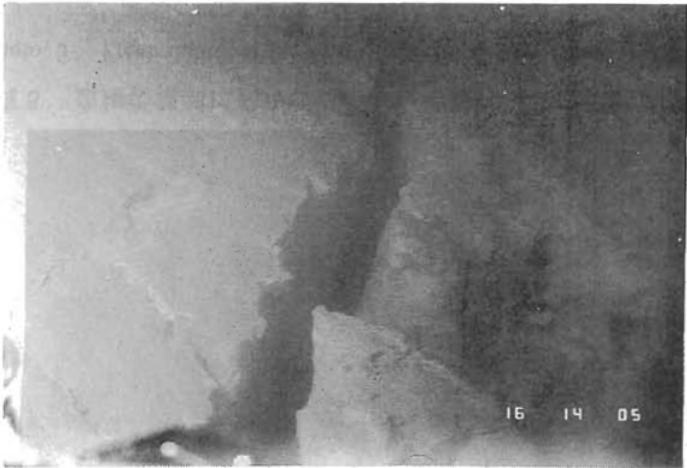


写真2 地滑り性の崖の上方に見られる大きな開口割れ目 (水深 1560m)  
Photo.2 Open fissure on the upper site of landslide scarp (depth 1560m).



写真4 急崖面に露出する板状節理を示す玄武岩 (水深 1220m)  
Photo.4 Jointed basalts on a steep scarp (depth 1220m).



写真5 急崖の基部に見られる新しい崖崩れ堆積物 (水深 1250m)  
Photo.5 Fresh debris at the foot of the steep scarp (depth 1250m).

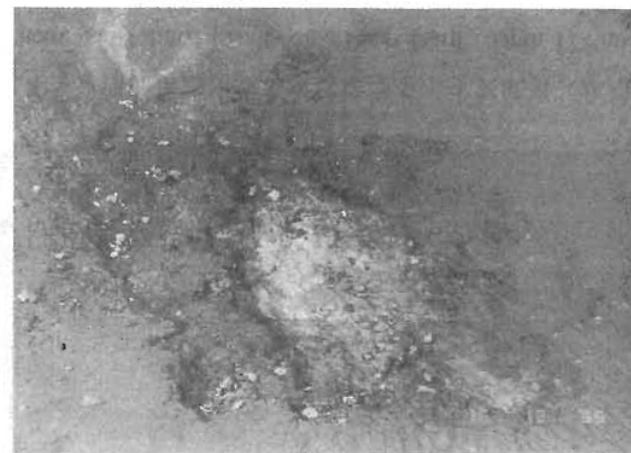


写真7 噴砂の跡 (直径約 1 m) (水深 1705m)  
Photo.7 Sand boiling (diameter 1m, depth 1705m).



写真6 開口割れ目の断面に見られる過去の地滑りの存在を示す堆積構造 (水深 1255m)  
Photo. 6 Old slump structure seen at the wall of the open fissure (depth 255m).

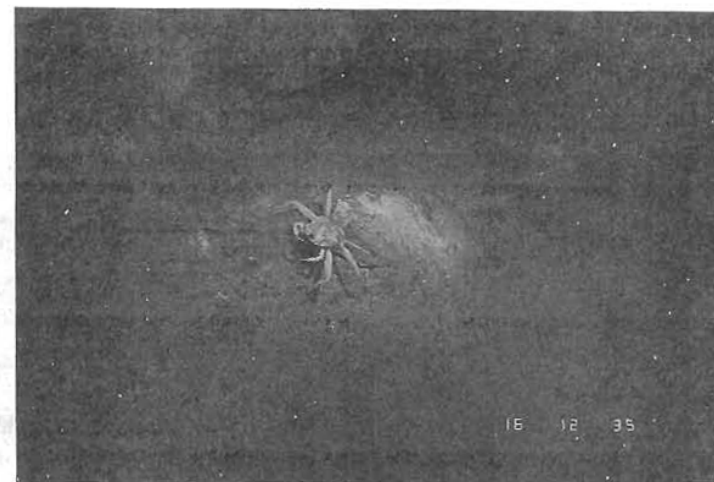


写真8 圧縮によって形成された小さな高まり (水深 1708m)  
Photo.8 Small topographic high (depth 1708m).