

昭和58年日本海中部地震震源域の目視調査

堀田 宏^{*1} 門馬 大和^{*1} 大塚 清^{*1}
橋本 惇^{*1} 田中 武男^{*1}

昭和58年5月26日に日本海でマグニチュード7.7という大きな地震が起り、津波と合せて大きな被害をもたらした。

科学技術庁は、この地震について科学技術振興調整費による緊急研究として取組むこととなり、海洋科学技術センターはそのうちで「震域域の局所的目視調査」の委託を受けた。

この目視調査には、昭和52年度以来開発を進めてきた曳航式深海底探査システムおよび最近開発した曳航式深海用カラーTVを用いた。

水深約3,000mの震源域の海底表面には、多くの地割れと盛り上がりが認められた。これらの地割れや盛り上がりは、ほとんど堆積物をかぶっていないものとかかなりの堆積物をかぶっているものがあり、このことから同じ海域で何回も破壊が繰り返し起こっていることが考えられる。

震源域の北方約40kmの海域で多くの黄色の斑点が発見された。その形状等から海底から何らかの物質が噴出したものと思われるが、低温型の熱水噴出の可能性も示唆されている。

The First Trial of Direct Observations on the Sea-bed in the Epicentral Area of an Earthquake in the Japan Sea

Hiroshi Hotta^{*2} Hiroyasu Momma^{*2} Kiyoshi Ohtsuka^{*2}
Jun Hashimoto^{*2} Takeo Tanaka^{*2}

On 26 May 1983, a great earthquake occurred in the Japan Sea with a magnitude estimated at M 7.7 on the Richter scale. The earthquake and resulting tsunamis caused serious damage and many casualties, including over 100 missing, in the coastal area facing the Japan Sea.

Science and Technology Agency (STA) organized an urgent research program in co-operation with many governmental institutions in order to study phenomena related to the earthquake.

JAMSTEC had a contract with STA to make direct observations of the sea-bed in the epicentral area by means of deep towed cameras and side-looking sonar accompanied by a subbottom profiler.

*1 深海開発技術部深海研究運航室

*2 Deep Sea Research and Submersible Operation Department

Many cracks and small sized pressure ridges were observed through color TV monitor and photos were also taken. The differing layers of sediment covering the cracks and ridges in the area suggests that destruction of sea-bed occurred repeatedly in the past.

Many yellow to orange colored patches were observed in the area about 40 km north of the epicentral area, which suggests the spouting out of something from the inside of sea-beds.

1. はじめに

昭和58年5月26日、青森県釧路崎の西方約85 Kmの日本海でマグニチュード7.7という大きな地震が起こり、これに伴う津波と合わせて日本海沿岸部に大きな被害をもたらした。

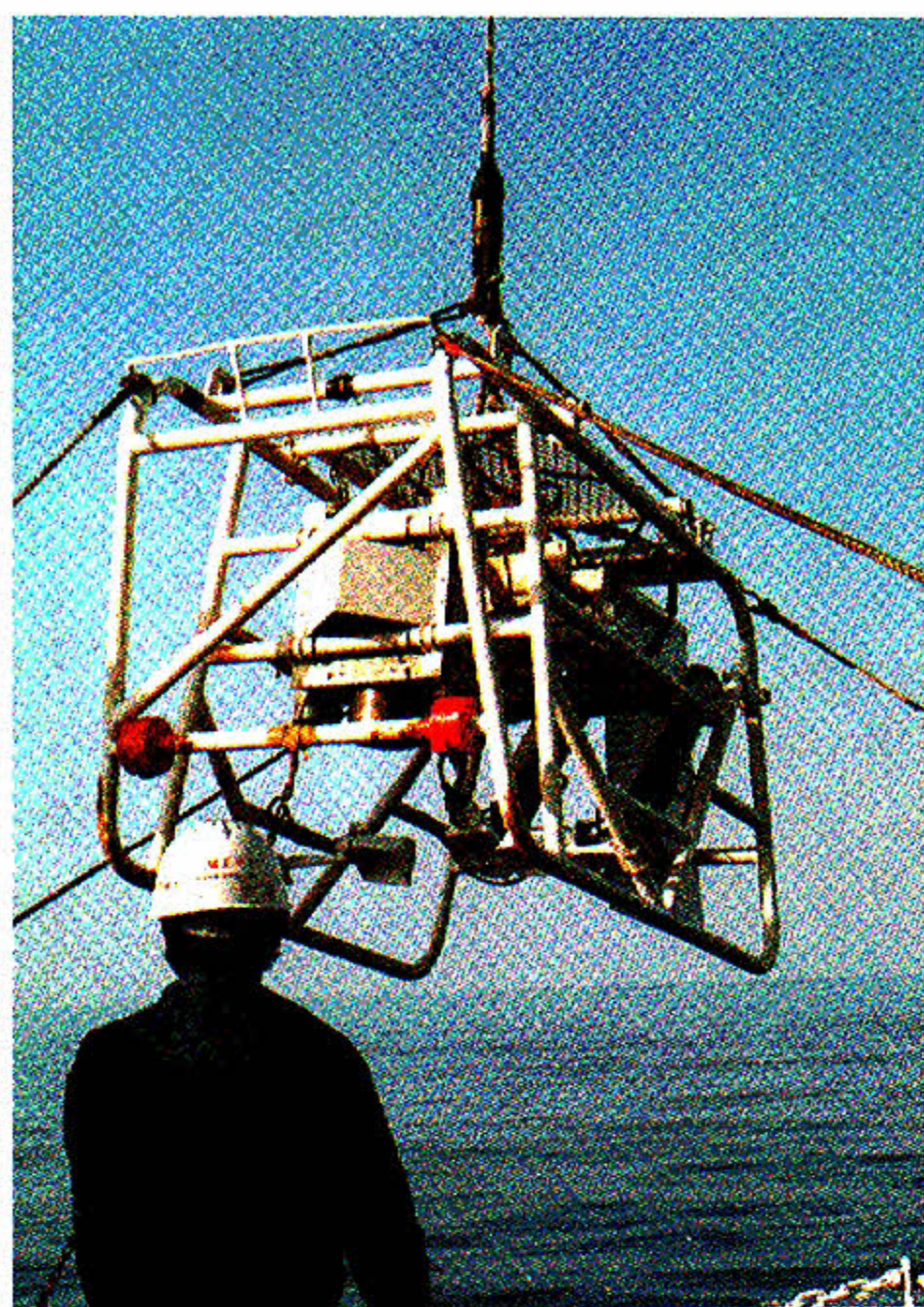
科学技術庁は、直ちに科学技術振興調整費による「昭和58年(1983年)日本海中部地震に関する緊急研究」を行うこととなった。当センターは、そのうちで「震源域の局所的目視調査」を分担することとなり、その委託を受けた。

2. 深海底の精密調査の方法

震源域の局所的目視調査の手法として最も確度の高い方法は、有人潜水調査船によるものと考えられる。我が国においても、そのような調査の要求にこたえることができるように、2,000 mまで潜航可能な潜水調査船「しんかい2000」が建造され、58年7月以降、研究のための潜航を始めていた。しかし、今回の昭和58年日本海中部地震の震央は、調査計画の段階の7月頃には、気象庁から北緯40.4度、東経138.9度として発表されており、この付近の水深は2,900 m~3,000 mであって、「しんかい2000」の潜航能力を遥かに越える深海底であることがわかっていった。したがって、潜水調査船「しんかい2000」の利用は、あり得なかった。

潜水船に代って深海底の目視を行う方法として、当センターでは、特殊なソーナーやTVカメラ等を装備した探査装置をケーブルによって海底付近に吊り下ろし、これを曳航して、海底の微細地形や海底表層近くの微細地質構造を探査する、いわゆる曳航式深海底探査装置の開発を行ってき

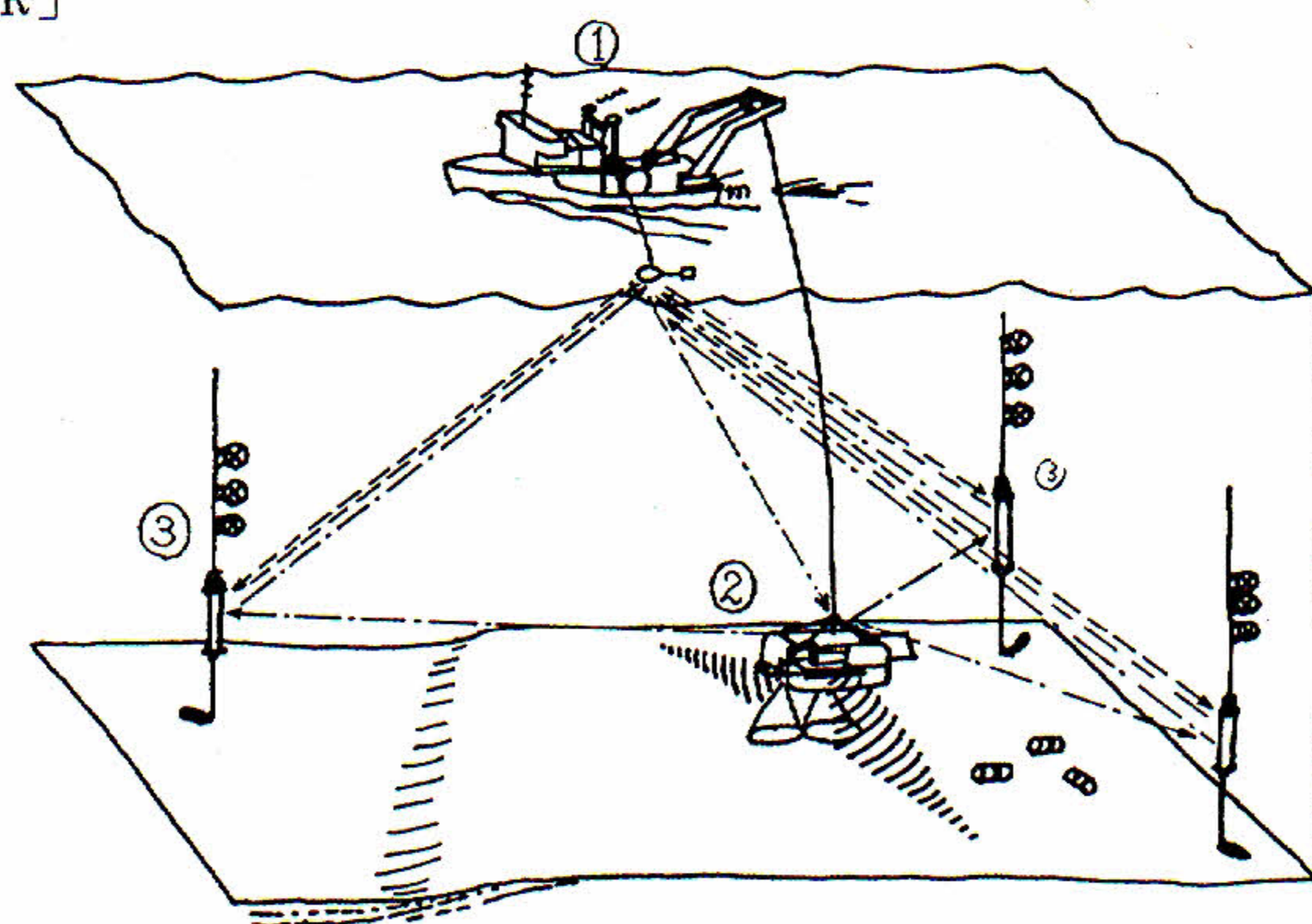
た。^{1,2,3,4)}これらの研究を基に、57年度には、「しんかい2000」の支援母船「なつしま」の調査機器として、世界的にも優れた小型カラーTVカメラを装備した曳航装置(愛称「DEEP EXPLORER」)を開発していたので(図1a)、これを使用して海底の直接観察を行うこととした。ただし、TVカメラによって海底を観察しながら別に装備したスチールカメラで写真を撮影できる範囲は、精々3 m程度の幅しか期待できないので、広い海域の調査には、甚だ効率が良くない。そこで、あらかじめ海底の微細地形を調査し、断層等の存在位置が知られていれば調査効率をあげることができる。このために、6,000 m級の深海底における人工物体の探索を行うことを目的として、科学技術庁原子力安全局からの委託の下に開発を進めてきた側方探索ソーナーおよび海底下探索ソーナー等を利用することとした。これは、最大約1,000 mの幅にわたって数m程度の凹凸を判別できる側方探索ソーナーと海底下数10 mまでの音響的地質構造断面を得ることのできる海底下探索ソーナーを装備し、これに曳航装置の曳航深度の検出および音波の伝播状況を把握するために温度、塩分を測定できる、CTDセンサーを装備した曳航装置(愛称「DEEP SEA SURVEYOR」)である(図1b)。これらの装置を図1cの様に、支援母船「なつしま」に装備されている2重外装同軸ケーブルで海底付近に吊り下ろし、海底に近接して曳航し、局所的目視調査を実施しようとするものである。



(a) TVカメラ類を装備した
曳航装置「DEEP SEA
EXPLORER」



(b) 各種ソーナー類を装備した曳航装置
「DEEP SEA SURVEYOR」



- ① 「なつしま」(船)
- ② 曳航体(TVカメラ, スティールカメラ, あるいはソーナー)
- ③ トランスポンダ
- ① 「Natushima」(research ship equiped A-frame crane and gimbaled sheave)
- ② Deep towed vehicle (TV and still cameras and/or sonars)
- ③ Acoustic transponder and its mooring system

(c) 深海底探索調査システムの概念図

図1 曳航式深海底探索システム

Schematic illustration of the deep towed survey system

3. 調査測線の配置

調査測線の配置については、当時、本震の位置として発表されていた比緯 40.4 度、東経 138.9 度を中心に計画した。一方、この海域については、地質調査所が昭和 53 年 (1978) に海底地質調査を実施しており、その結果、いくつかの断層を指摘していたが、その一つがちょうど本震の位置に一致したということで注目された。⁵⁾ また、水路部では地震発生直後から同海域の海底地形や地質構造等の調査を行い、その結果、この海域の断層は単純に連なるものではなく断続する“断層列”であることを明らかにした。⁶⁾ これらのデータ等か

ら今回の地震は、本震の位置から約 $N 20^{\circ} E$ の走向で北方に連なる断層列が活動した可能性もあるとの示唆もあり、図 2 に示すように、断層列を東西に横切る測線を約 20 km 間隔で 2 箇所、北に配置した。

4. 海底の目視調査の実施

調査は、昭和 58 年 9 月 14 日から 9 月 25 日までの 12 日間に実施した。ソーナーによる精査の測線には頭に S を、またカメラによる測線には C を付けて表わしてあるが (図 2)、その測線長は、それぞれ約 80 km と 51 km であり、延べ約

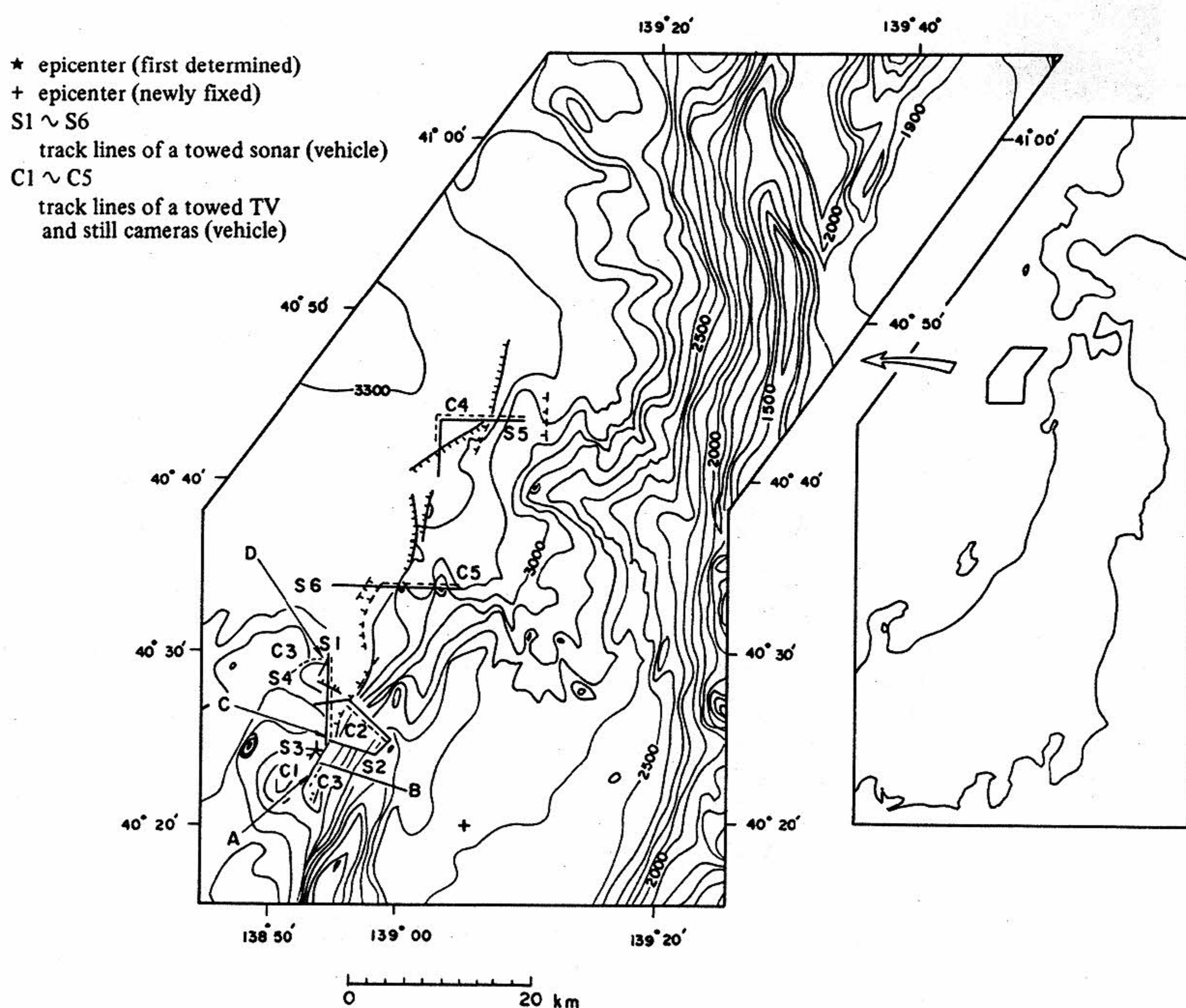


図 2 日本海中部地震震源域海底調査調査測線 (原図は海上保安庁水路部作成)

Bathymetry and track lines of the towed vehicles in the hypocentral region of the May 26, 1983 Nihonkai-Chubu (Bathymetric chart and geologic structures are cited after Maritime Safety Agency report (1984))

131 Kmに及んだ。

最も南の本震の震源域における調査には、位置測定のために、4～5 Km間隔で3本の音響トランスポンダを海底に設置した。しかし、日本海のこの海域では、表面から300～500 mで水温が0.5℃を下まわる海水構造であるため、音波の伝播が悪く、あまり有効ではなかった。したがって、北側の2箇所の調査の際には、音響トランスポンダを設置せず、支援母船「なつしま」の位置は、ロランCの自動受信装置により測定し、海底付近を曳航される探査装置の位置は、ケーブルの繰り出し長やケーブルの各種角度から測定した。

9月14日に音響トランスポンダを設置した後、9月15日から調査を開始した。まず、本震位置のすぐ東側にある海底谷に沿ってほとんど南北方向に走る測線(S-1)についてソーナーによる精査を行ったところ、断層と思われるような海底の微地形や構造は認められなかった。荒天待機を挟んで17日には、この測線と南から斜交するように測線を設け(S-2₁)ソーナーによって調査を進めたが、震源付近に至っても顕著な破壊が認められないため、コースを東に変えて、震源域東側の佐渡海嶺最北部の斜面に向かった(S-2₂)。頂上付近で、尾根の走向に沿うよう変針し(S-2₃)、その後再び西斜面を下った(S-2₄)が、この変針点付近の西斜面に、地滑り状の微細地形が認められた(図8aおよび9d)。この西斜面を下りた所から西にコースを変えた(S-2₅)。

これらのソーナーによる海底の微細地形および表層付近の構造からは、いずれも顕著な破壊(断層)と思われるものが認められなかったが、18日からは、カメラによる目視調査に移った。カメラによる目視調査の測線(C-1)は、図2および図3に示すように本震の位置をほぼ東西に横切るようにとった。この測線で、緩い丘陵地形の東斜面には多数の「地割れ」、および「盛り上がり」が発見された。さらに東側の佐渡海嶺最北端部東斜面のS-2₄、測線にほぼ沿うようにとった。この測線では、ソーナーによって地滑り状地形が記録されており、その目視による確認を期待したが、曳航位置がやや北東寄りにずれて確認できなかった。19日には、ソーナー測線のS-2₁に沿うよう、カメラ測線C-3₁を採った。本震位

置を通過した後、S-2₁測線から離れて南北に採ったS-1測線に沿うよう、変針し、測線C-3₂とした(図3)、その後、南西に変針し、測線C-3₃とした。この測線でも多数の地割れおよび盛り上がりが観察された。

20日には、測線C-1およびC-3₃に沿うソーナー測線S-3およびS-4について微細地形および微細地質構造の調査を行った。ソーナーによる調査では、やはり、顕著な断層地形等は認められず、TVカメラで観察された地割れや盛り上がりは、非常に規模の小さな、極く表層に表われた破壊であることが示唆された。これで、本震域付近の調査を終了し、約40 Km北に離れた海域に移動し、21日にソーナーによる調査を行い(測線S-5)、22日にカメラによる調査(測線C-4)を行った。この調査で、水深3,200～3,300 mの日本海盆平坦部で多数の黄色から橙々色の斑点が発見されたが、顕著な断層運動を示すような微細地形および微細構造は認められなかった。

23日には、両調査海域のほぼ中間に移動し、ソーナーによる調査(測線S-6)を実施し、24日には、これに沿ってカメラによる調査(測線C-5)を実施した(図2)。

5. 目視調査の結果

これらの調査によって、海底の微細地形および表層付近の微細構造についてのソーナー記録は、約29時間、TVカメラによる海底目視調査のVT記録は約28時間、撮影した写真は、約2,500枚に及ぶ膨大な量のデータが得られた。

これらのデータを整理するについては、最初に、目視調査を実施した測線の航跡図を1/25,000で作成した。同時に、この航跡を水路部が作成した1/200,000の海底地形図⁶⁾に記入した。この図には、ソーナー記録の解釈や海底写真との関連が明らかになるように、海底地質構造図に示されている断層の位置も併せて記入した(図3)。

調査測線に沿う海底地形断面は、本震の震源域付近については曳航装置の深度および海底からの高度を読み取り、その和として求め、1/25,000で水深/距離を1/1で書かせた。これを通常の音波探査等の記録と比較するために便利のように

1/25 と水深方向を拡大して示したものが図 4 a～d である。これらの図で、水平距離は、船の対地速度の変化に従って決められたものである。

最北端の測線、S-5 および C-4 ならびに両調査海域の中間の測線、S-6 および C-5 についてはそれぞれ測深機によって地形断面を得たので、これらを図 5 および図 6 に示す。ただし、測線 S-6 (あるいは C-5) の西寄りにある海山の斜面は、傾斜が非常にきついため、測深機では正確な水深が測定できないが、海底付近を曳航されるソーナーによればこのような急傾斜面も図 7 に示したように詳しい地形が得られることがわかる。

この調査で得られた海底の写真例を写真 1 から 16 に示した。また、これらの写真が撮影された地点の位置を図 8 a, b に示した。

本震の震源域と考えられていた海域における海底の破壊は、写真 1, 2, 11 および 12 に示されているように、「地割れ」および「盛り上がり」の 2 種類の形態として認められた。これらの地割れおよび盛り上がりの存在範囲は、けっして画然と区切られるものではなく、混在している。また、それらの破壊の方向にも、一様な方向性は認め難く、かなりバラバラである。また、例えば写真 11 の下部に見られるような極く小規模な地割れの雁行配列があることもわかった。

このような破壊は、佐渡海嶺北端部の西側にある緩い丘状地形の東斜面で顕著である。これらの破壊は、写真 1, 2, 6 および 7 に見られるように薄く堆積物が覆っていて、破壊後ある程度の時間が経った古いものと思われるものと、写真 8, 10, 11 および 12 に見られるように、表面にほとんど堆積が認められず、破壊面が極めて鋭いことから、最近の破壊と考えられるものがある。この新しい破壊と考えられるものは、図 4 および図 8 でわかるように日本海盆の縁にある 40 m 程度の緩い高まりの部分に集中している。この付近の微細地形は、図 9 b に示すように、長さが 20～30 m 程度の低い「しわ」が多数、海底にあることがわかった。この丘状地形と佐渡海嶺の間には、日本海盆に続く海底チャンネルがある。ここでは海底は極めて平坦な厚い堆積層で形成されており(図 9 a), 全く変 が見られない(写真 9)。

しかし、さらに北の深い部分では、写真 14 に示すように厚い堆積物の表面に古い地割れがあり、海底に数 10 m の「しわ」がある(図 9 c)ことがわかった。

この古い地割れのある平坦部と先述の新しい破壊が認められた丘状地形との境では、写真 13 に見られるように、極めて反射率の高い、白く輝く物質が発見された。その形も大きさも極めて変化に富んでいる。この付近では、微細地形あるいは地質構造には特別の変化は認められなかったが大きな地質構造の境界(図 8 a で断層が示されている)であることは、図 4 a でもわかる。

佐渡海嶺最北端部の西斜面では、図 9 d に示したような海底表層の地滑り地形が発見された。その位置は、図 8 a でソーナー測線 S-2₃ の北部に矢印で示してある。

本震の震源域から約 40 Km 離れて、断層列を東西に横切る測線 C-4 (図 8 b) で、写真 17 および 18 に示すように、多数の黄色の斑点が発見された。これは、彗星状の形をしており、頭部には陰影があることから、海底から盛り上がっていることがわかる。この頭部から 10～30 cm 程度の長さで黄色物質が尾を引いている。その方向は、ほぼ南から北である。この黄色斑点の密度は南の方が大きくなっている。また、この海域では、写真 16 に示すように、魚とかイカの死骸が点在しているという極めて異常な海底環境が見出された。これらの位置は、図 8 b に示すように、水深が 3,200 m を越える日本海盆の平坦部であり、地形的には特別の特徴は認め難い(図 5)。ただし、ソーナーによる表層付近の微細地質構造断面を見ると、ほぼ平坦な成層構造がかなり頻繁に乱れていることが指摘できる。この測線の東側にある丘状地形は、写真 15 に示すような、かなり固化した堆積物で形成され、部分的に破壊があり、また、この写真で見られるような強い底層流による物質移動があることが示されている。

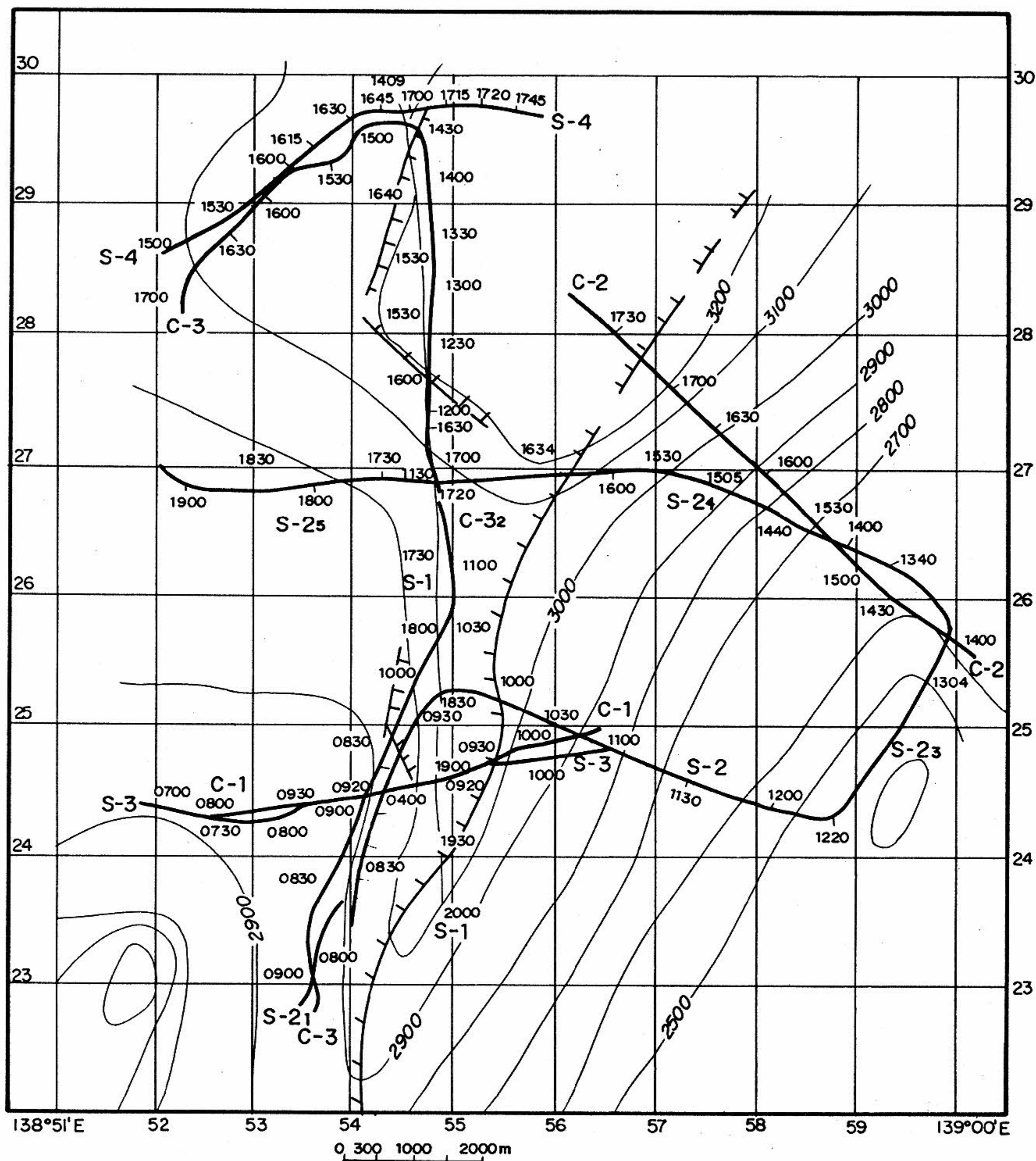


図3 本震域と考えられていた40.0°N, 138.9°E付近の目視調査測線
(等深線およびヒゲ付線による断層の位置は、海上保安庁水路部の
資料による)

Track lines of the towed vehicles around 40.4°N, 138.9°E
where was at first considered the epicenter of this earthquake.
(Bathymetry and the positions of fault are cited after the data
of Maritime Safety Agency.)

RATIO : 25/1

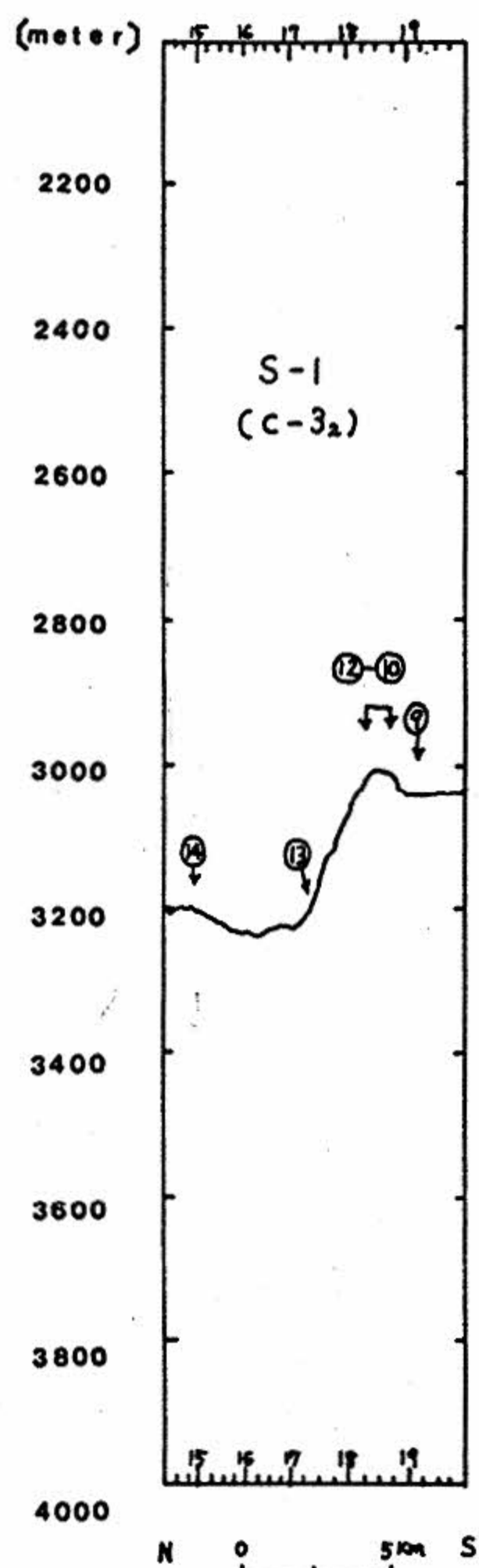


图 4 a 海底地形断面

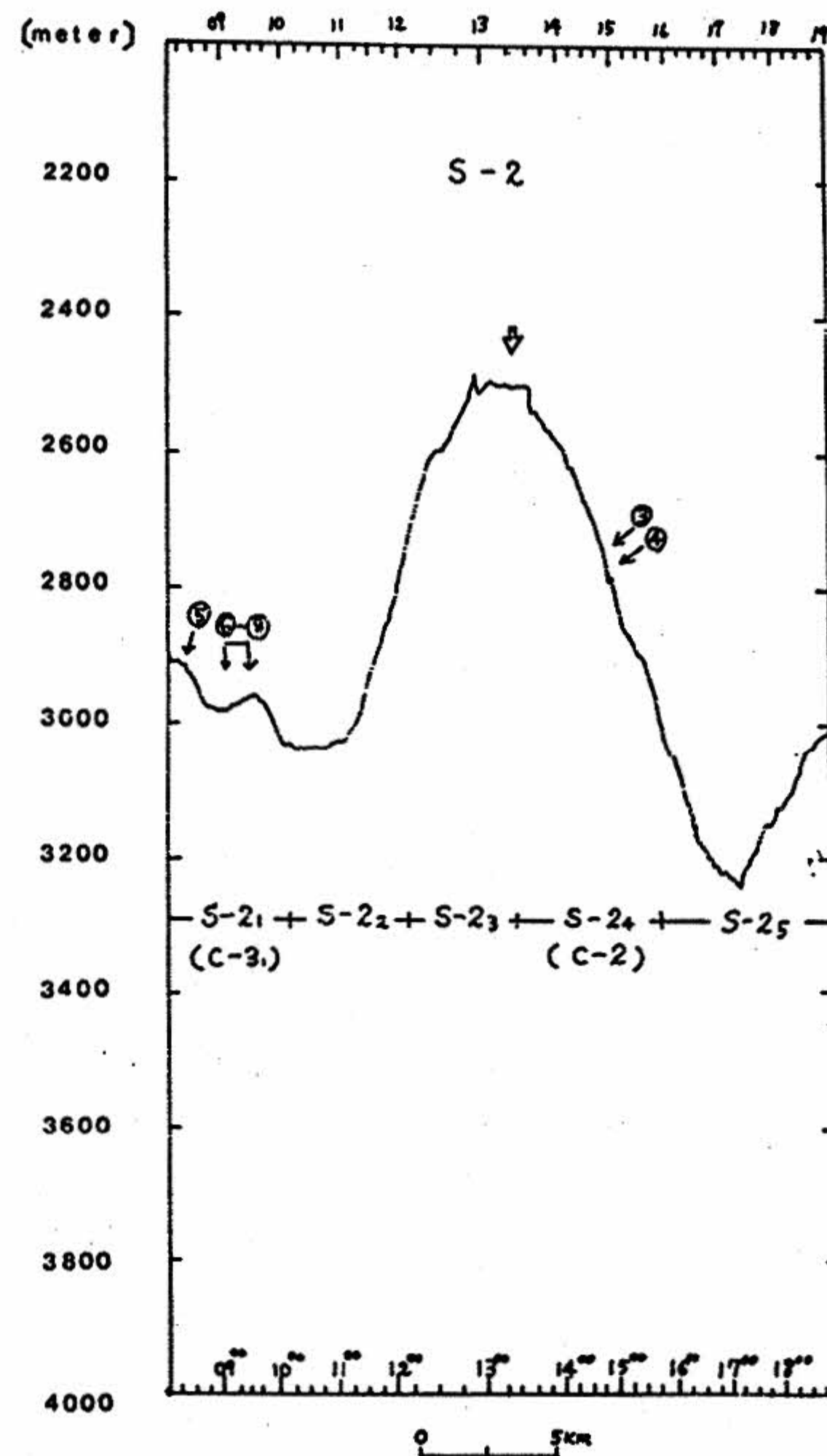


图 4 b

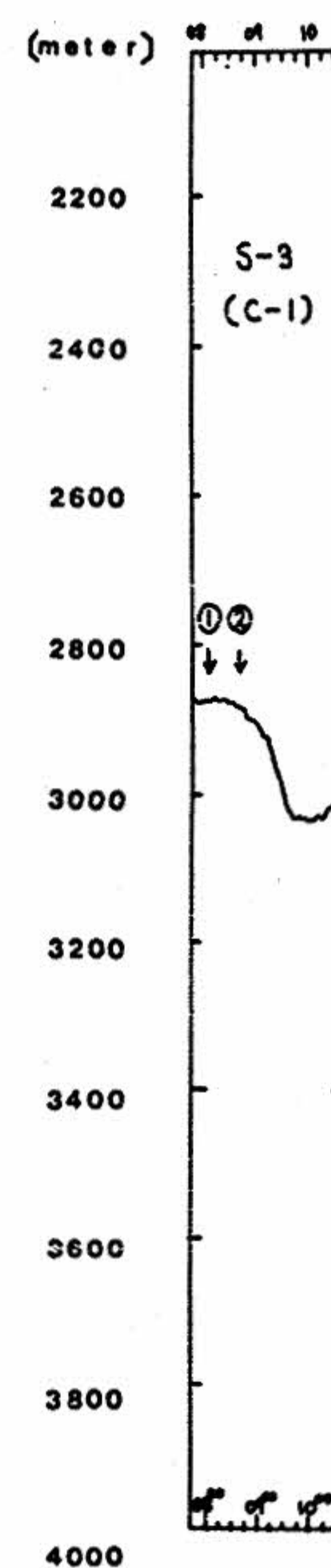


图 4 c

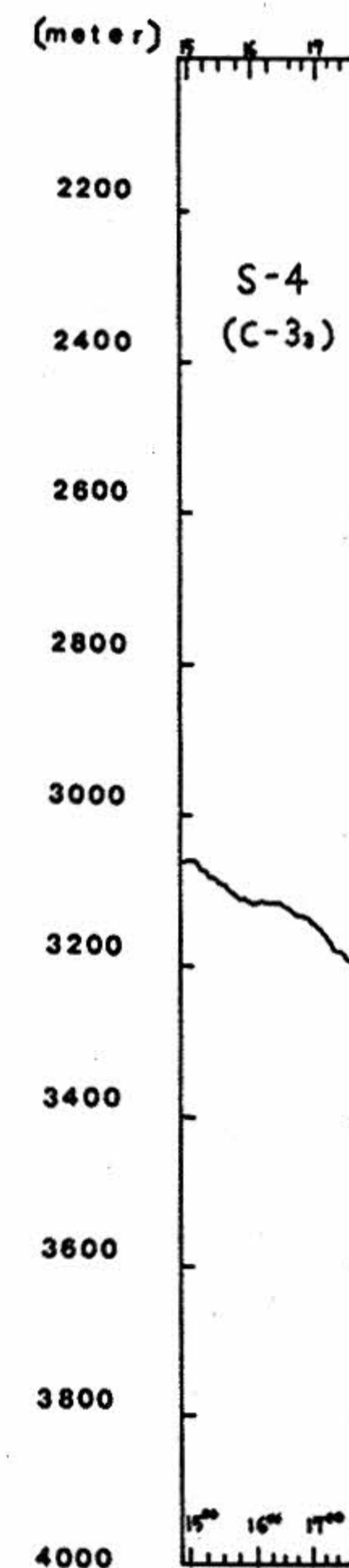


图 4 d

图 4 海底地形断面

Morphological profile of each track line
(circled numbers show the locations of bottom photographs in the Plate)

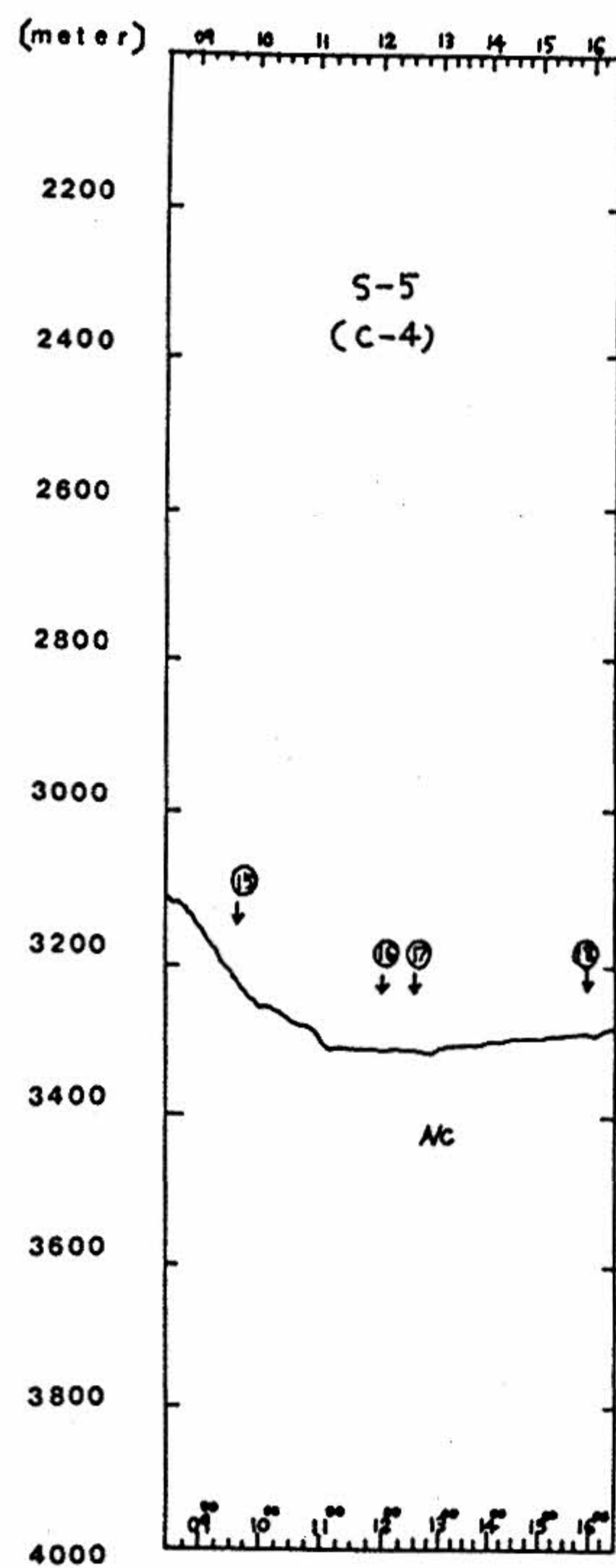


図5 海底地形断面
(測線 S-5, C-4)

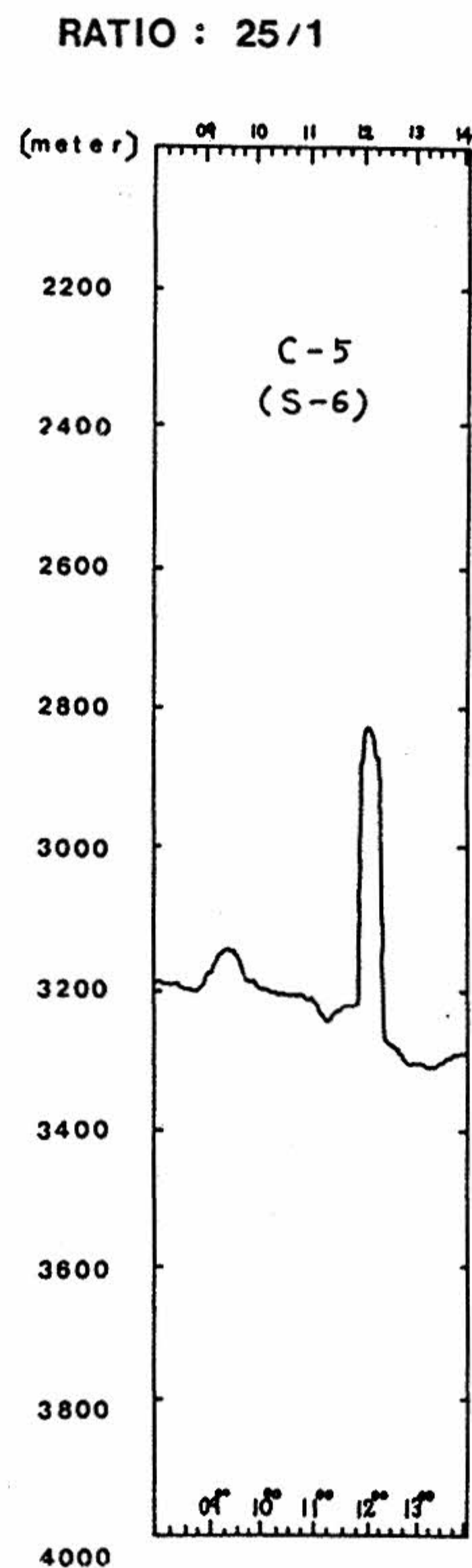


図6 海底地形断面
(測線 S-6, C-5)

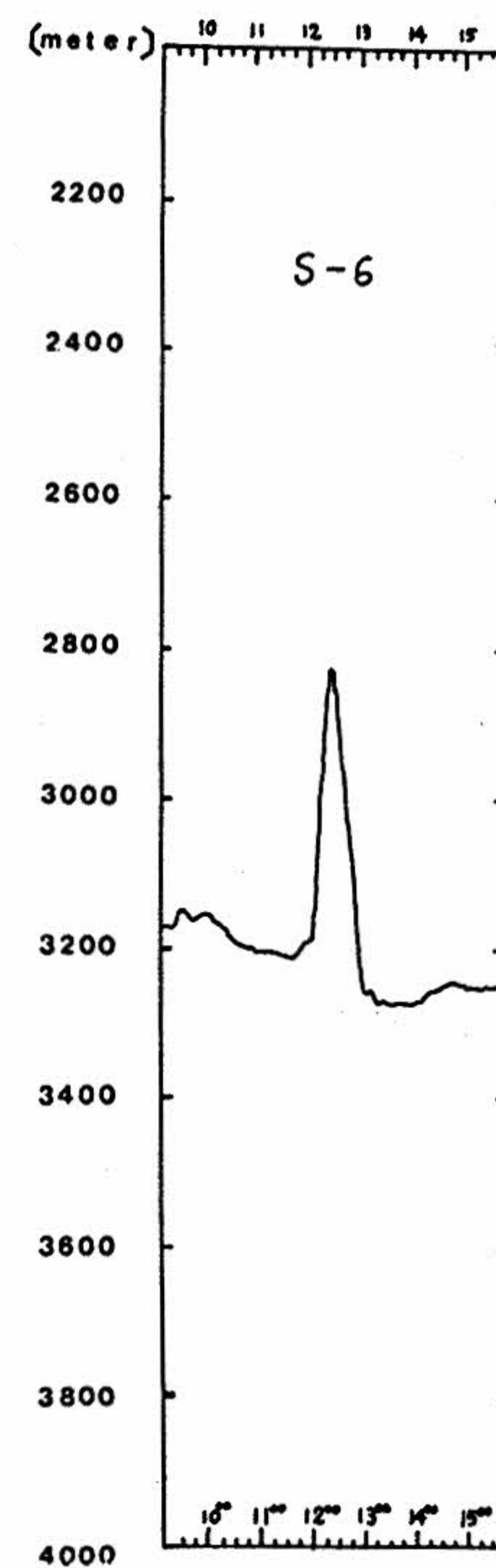


図7 海底地形断面
(測線 S-6)

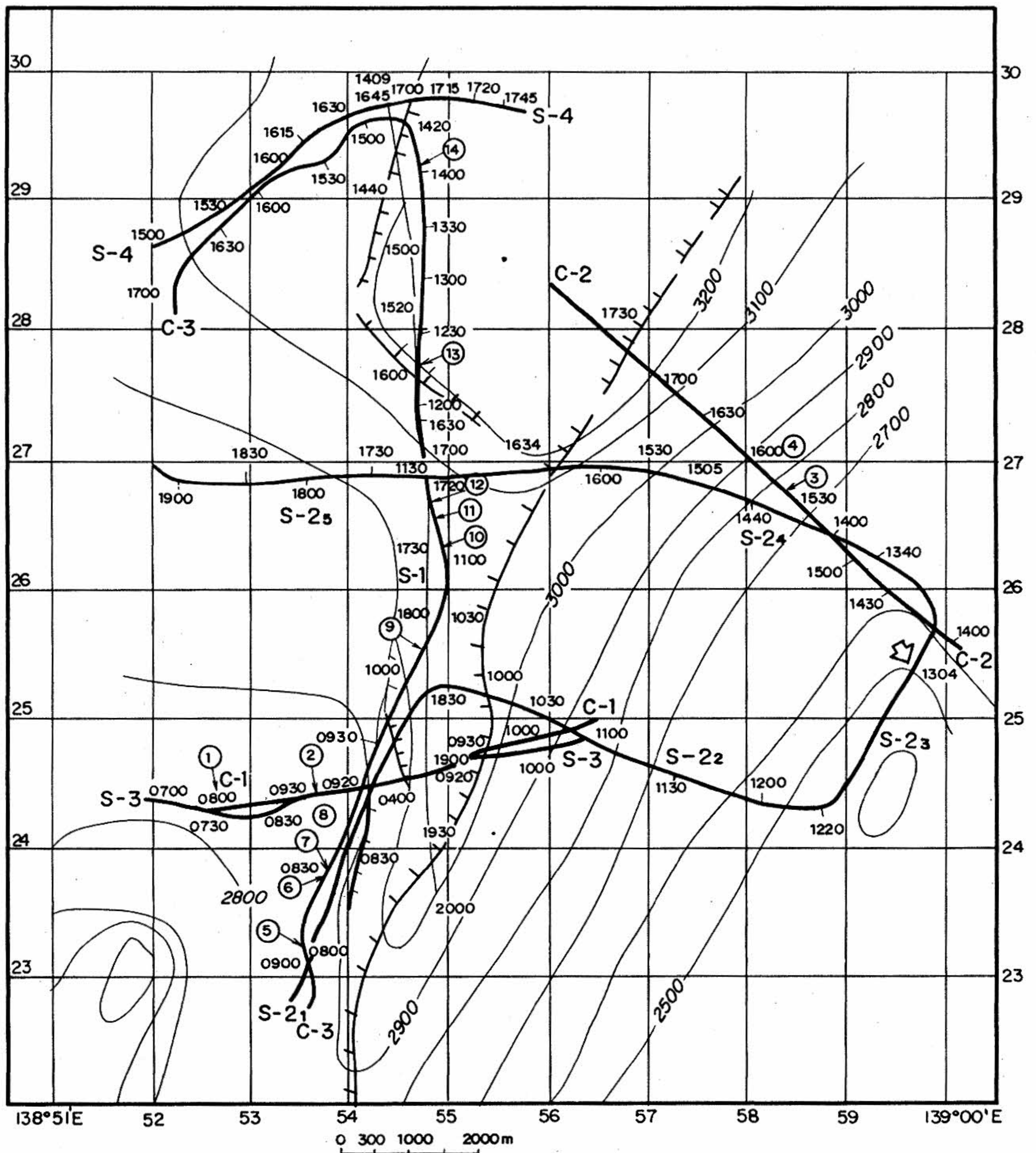


図8 撮影された海底写真の位置図

(丸で囲った数字が、それぞれ写真番号を示す)

a 震源域付近(矢印は、地滑り地形が認められた)

Locations of bottom photographs near the hypocentral region. Circled numbers are corresponded to the number of bottom photographs. Arrow shows the location of landslide observed by the towed sonar

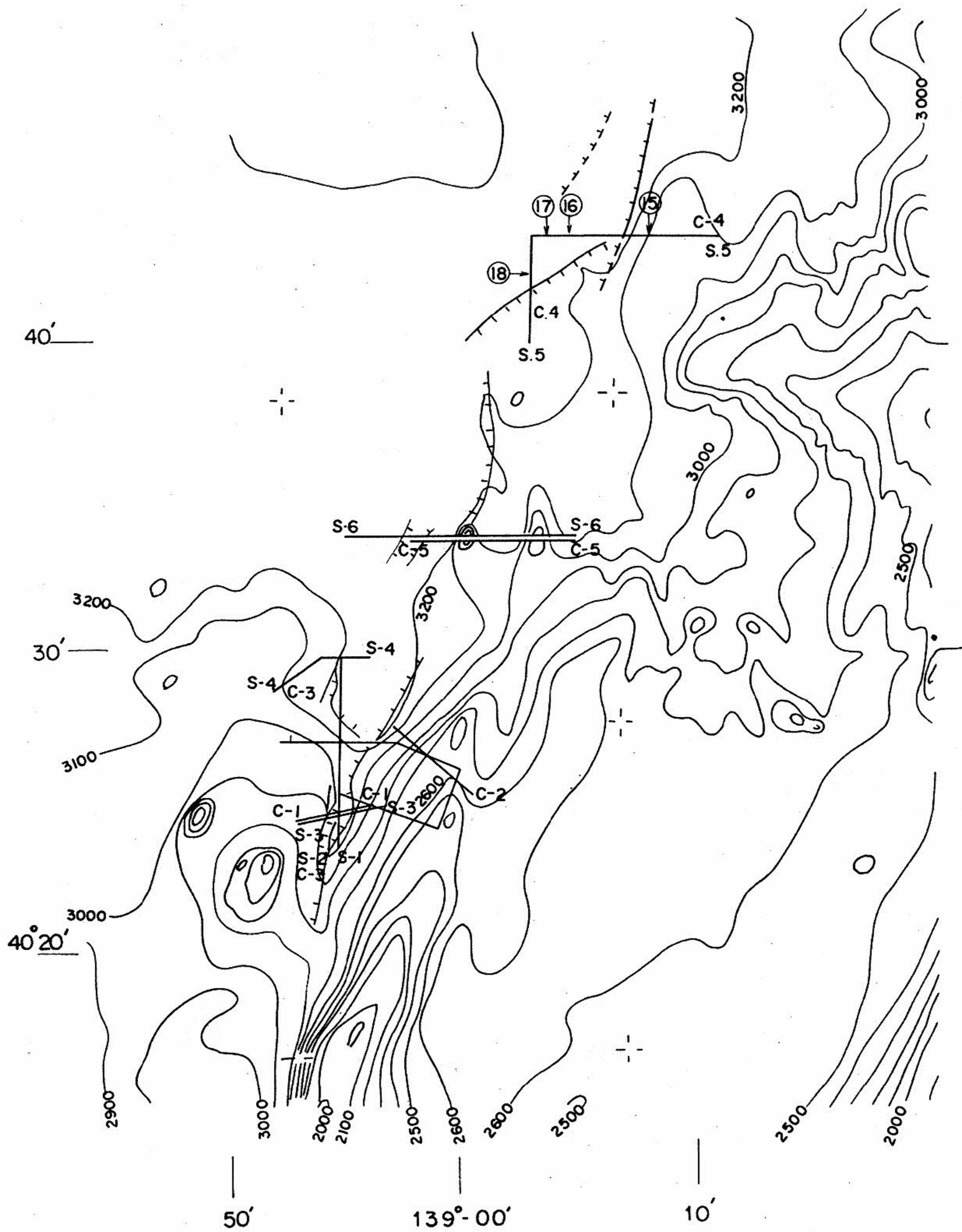


図 8 b 断層列北部を横切る測線と撮影された海底写真の位置図

Locations of bottom photographs on the survey line crossing the northern part of the fault system.

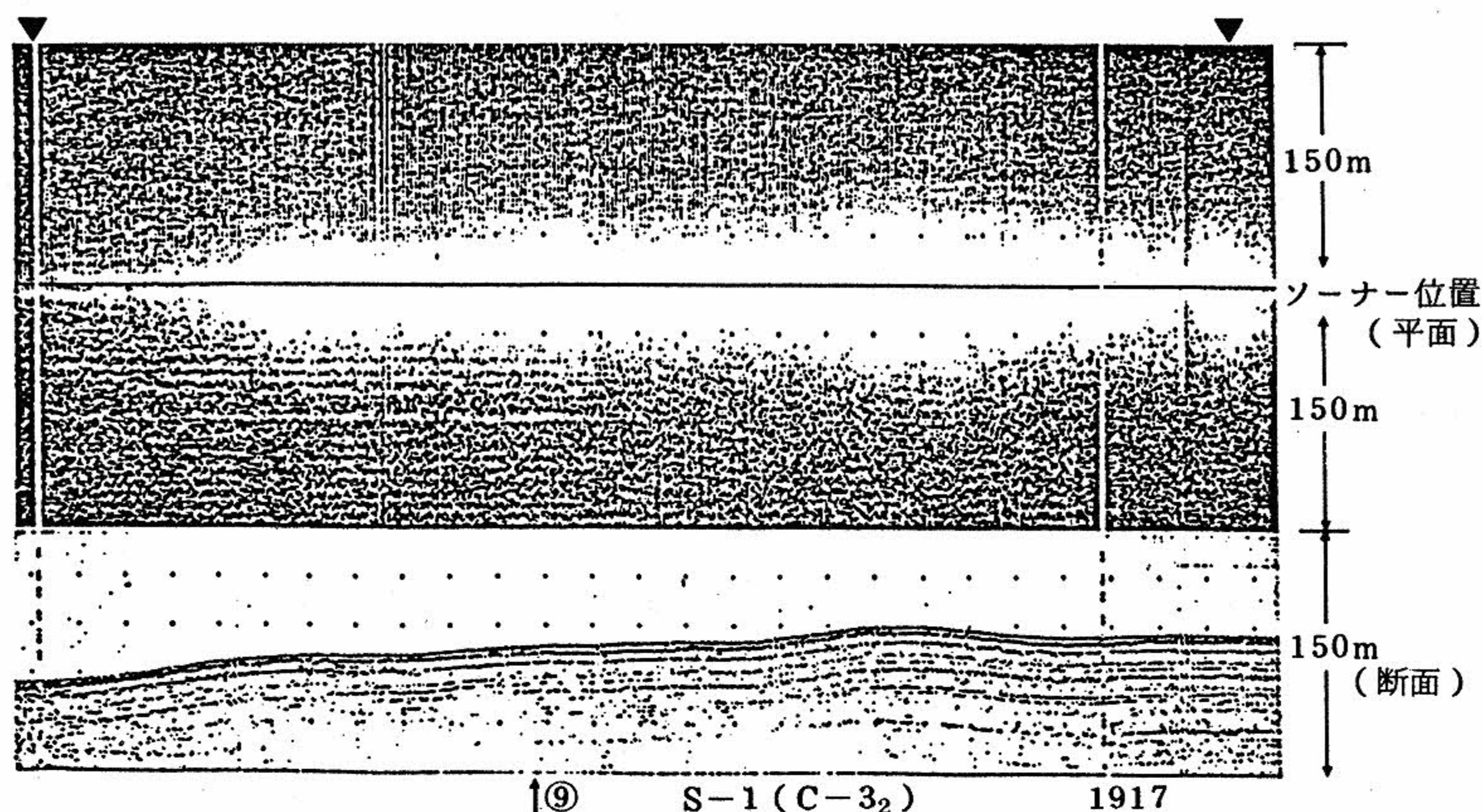


図9 a ソナーによる海底微細地形（上）および
表層付近の微細地質構造（下）

Acoustic image of bottom topography by side scan sonar (upper two third) and record of subbottom profiler (lower one third).

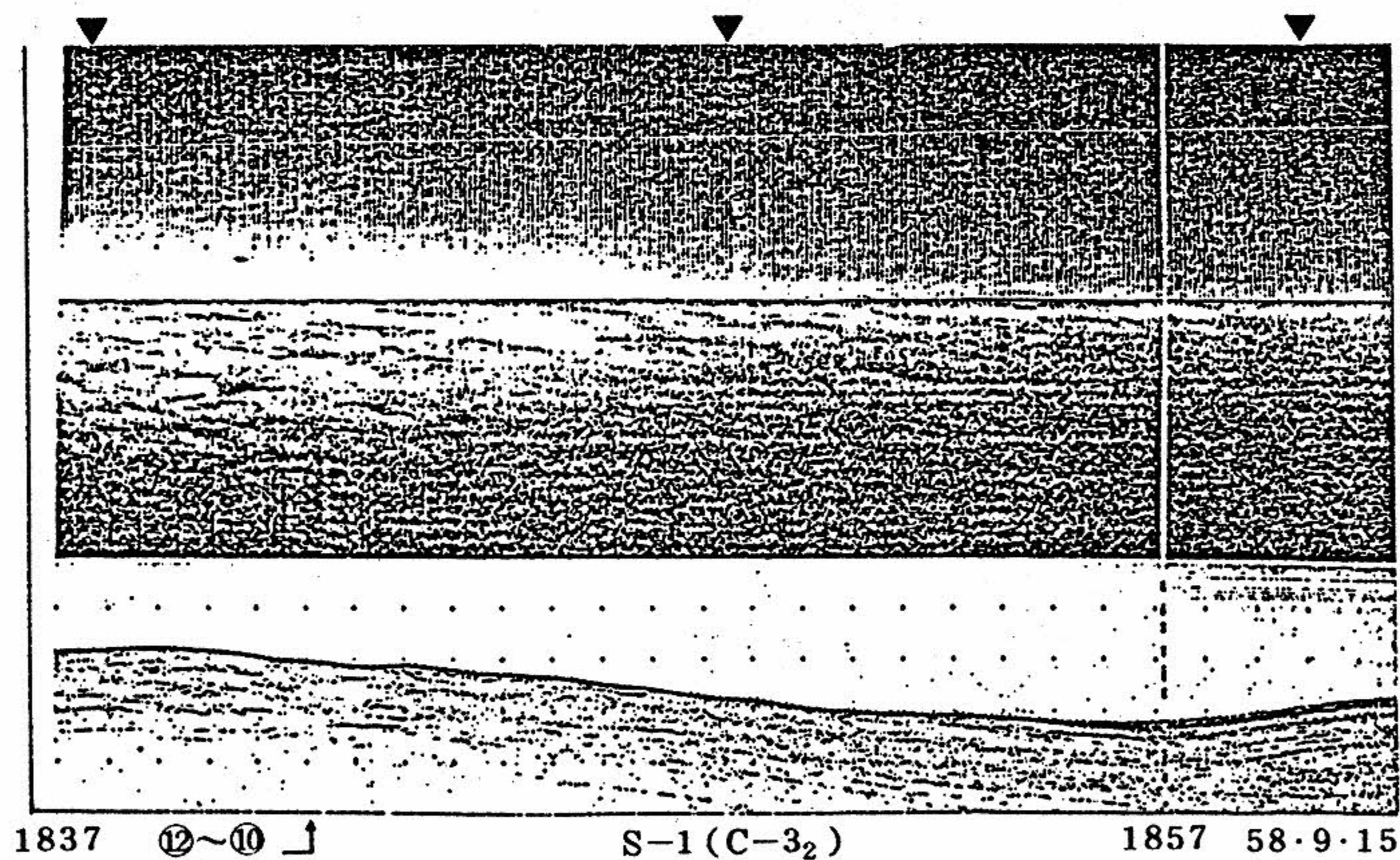


図9 b 新しい破壊が認められた丘状地形付近の微細地形（上）
および地質構造断面（下）

Acoustic image of S.S.S (upper) and profile of S.B.P (lower) in the hill where new destructive structures are observed by the towed camera.

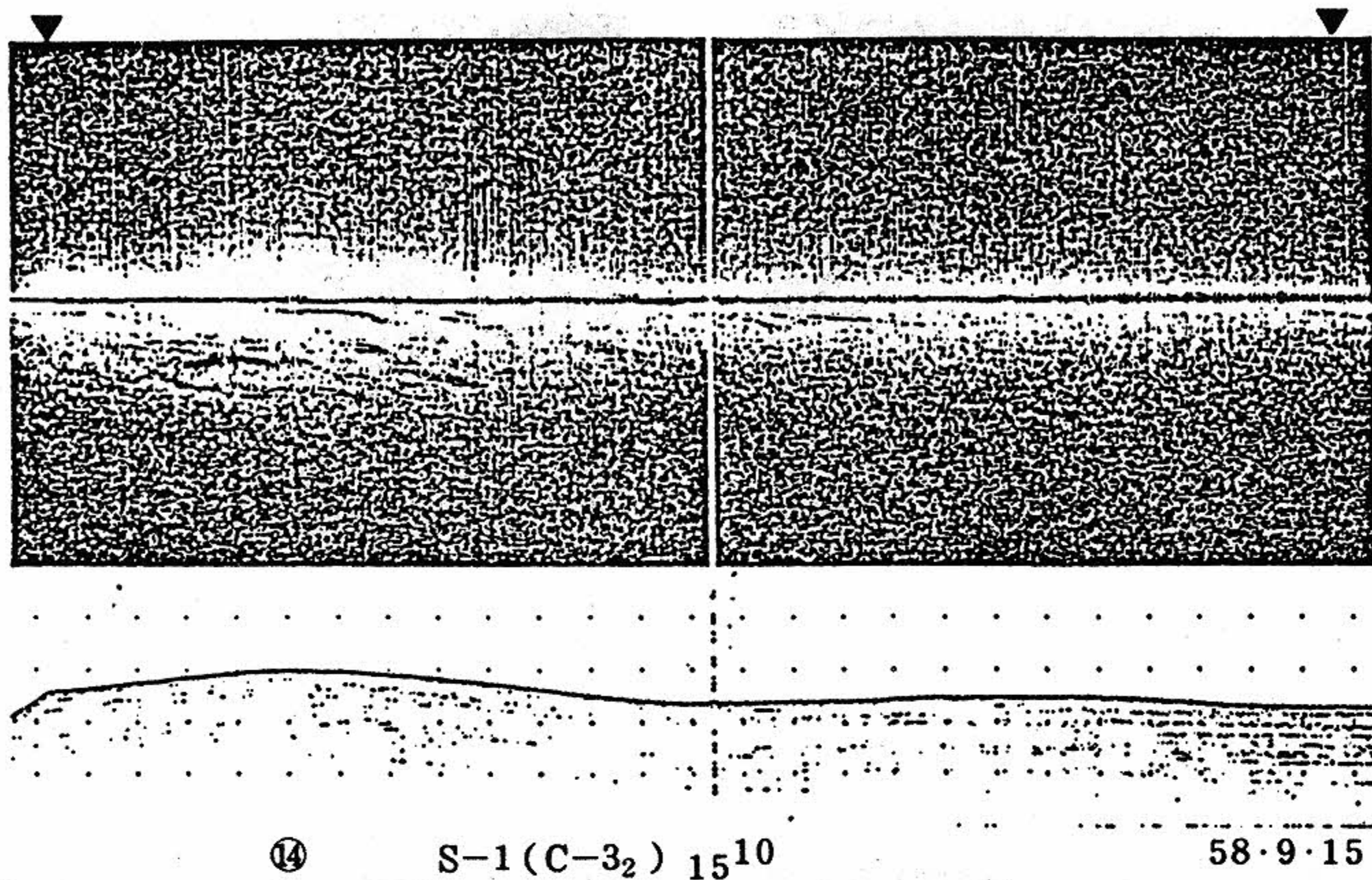


図 9 c 厚い堆積物に古い地割れが認められた海底チャンネル
平坦部の微細地形（上）および地質構造断面（下）

Record of S.S.S (upper) and S.B.P (lower) in the flat bottom
of deep sea channel in which old cracks are observed on thick
sediments by the towed camera.

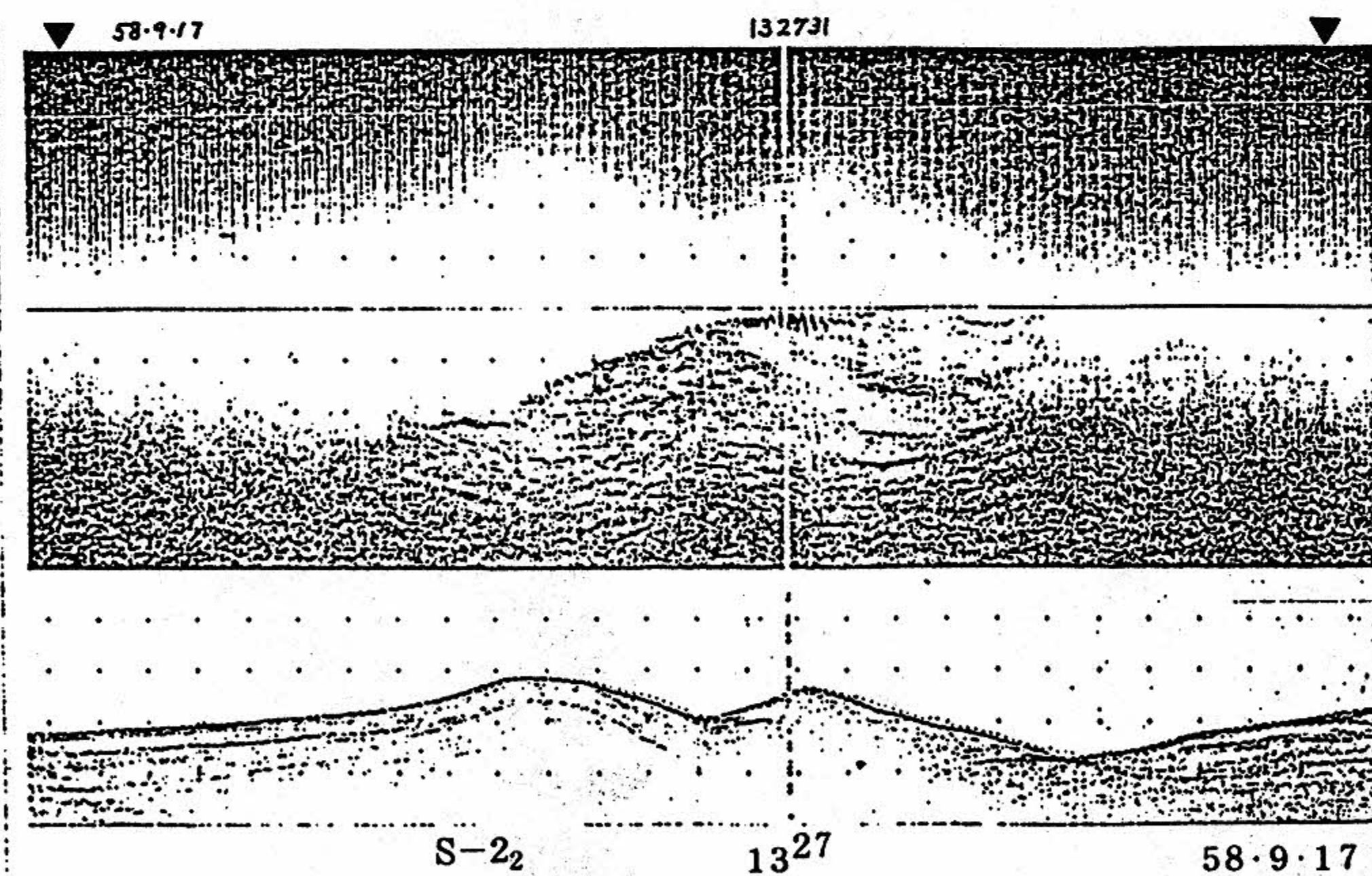


図 9 d 佐渡海嶺北端部の西斜面頂部付近で認められた地滑り
状地形（上）および地質構造断面（下）

Acoustic image of landslide observed near the top of the
western slope of northern end of Sado Ridge.

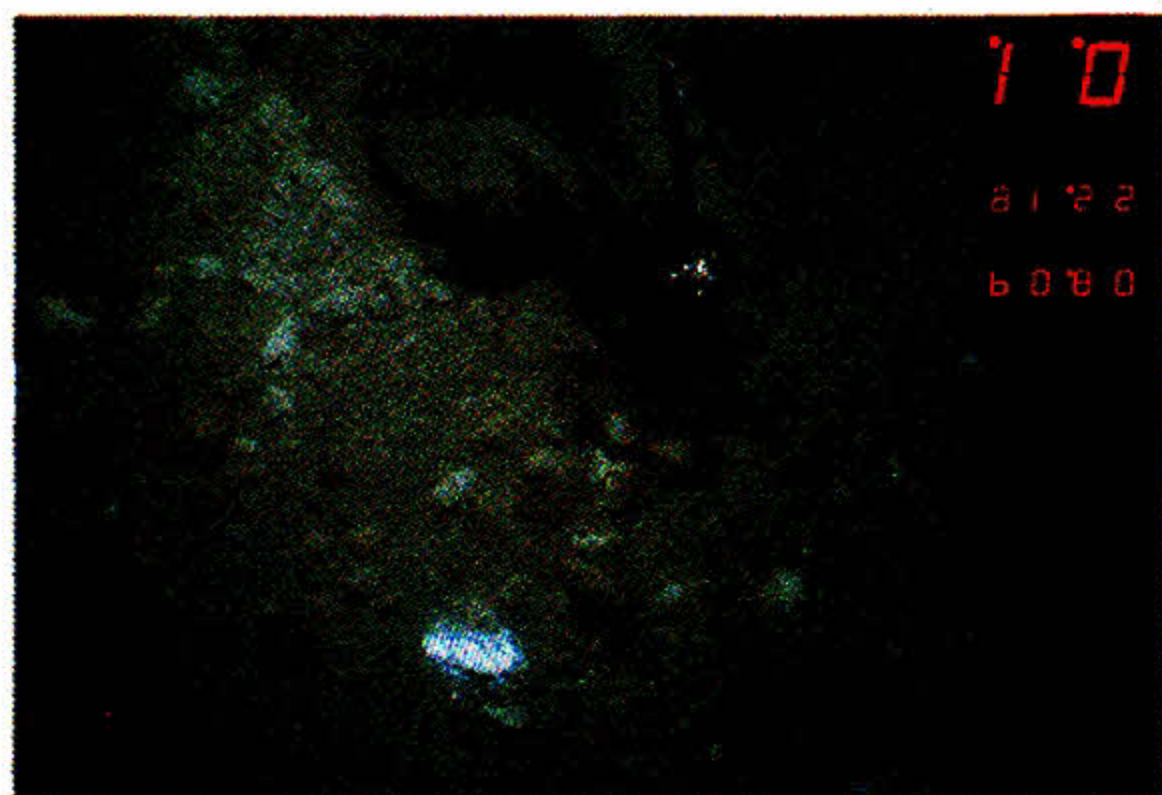


写真1 測線C-1 (08時09分24秒) 古い
盛上り (礫の上に薄く堆積)
C-1 (08:09:24)
Older gravel mound. Gravels are thinly
covered with fine sedi-ments.

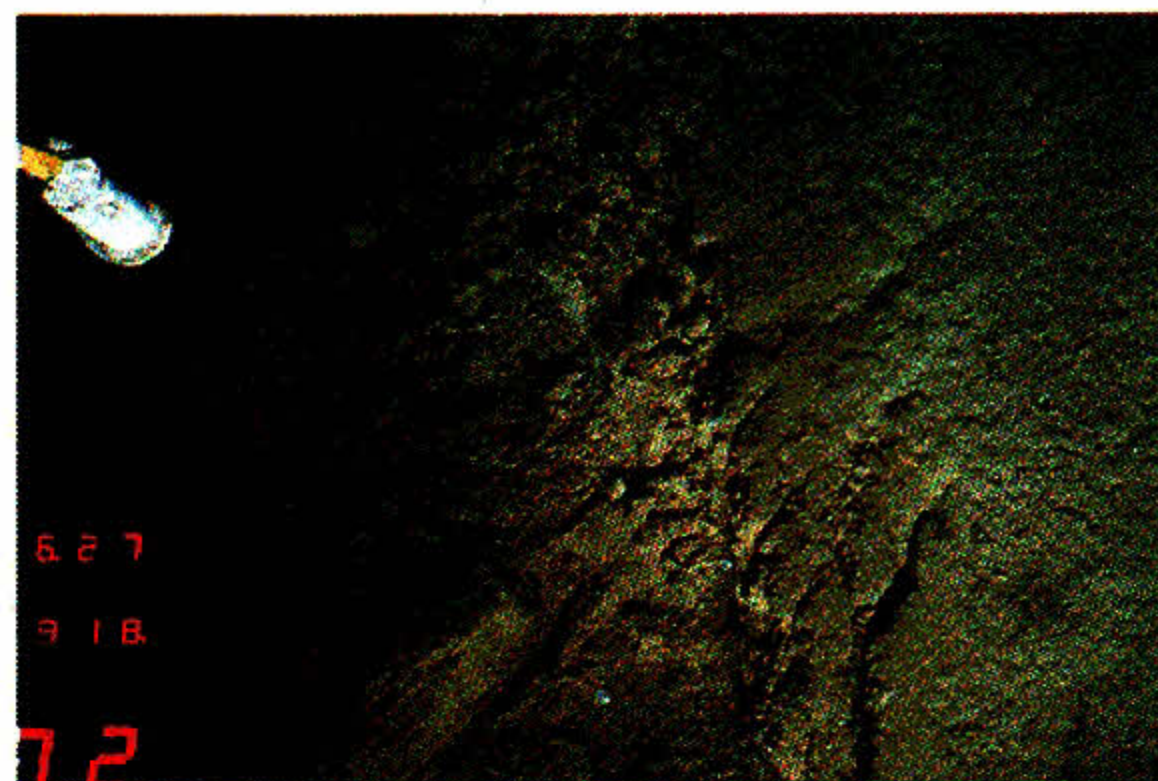


写真4 測線C-2 (16時27分48秒) 軟か
い底質の破壊
C-2 (16:27:48)
Destructive structure on the soft
sediments.

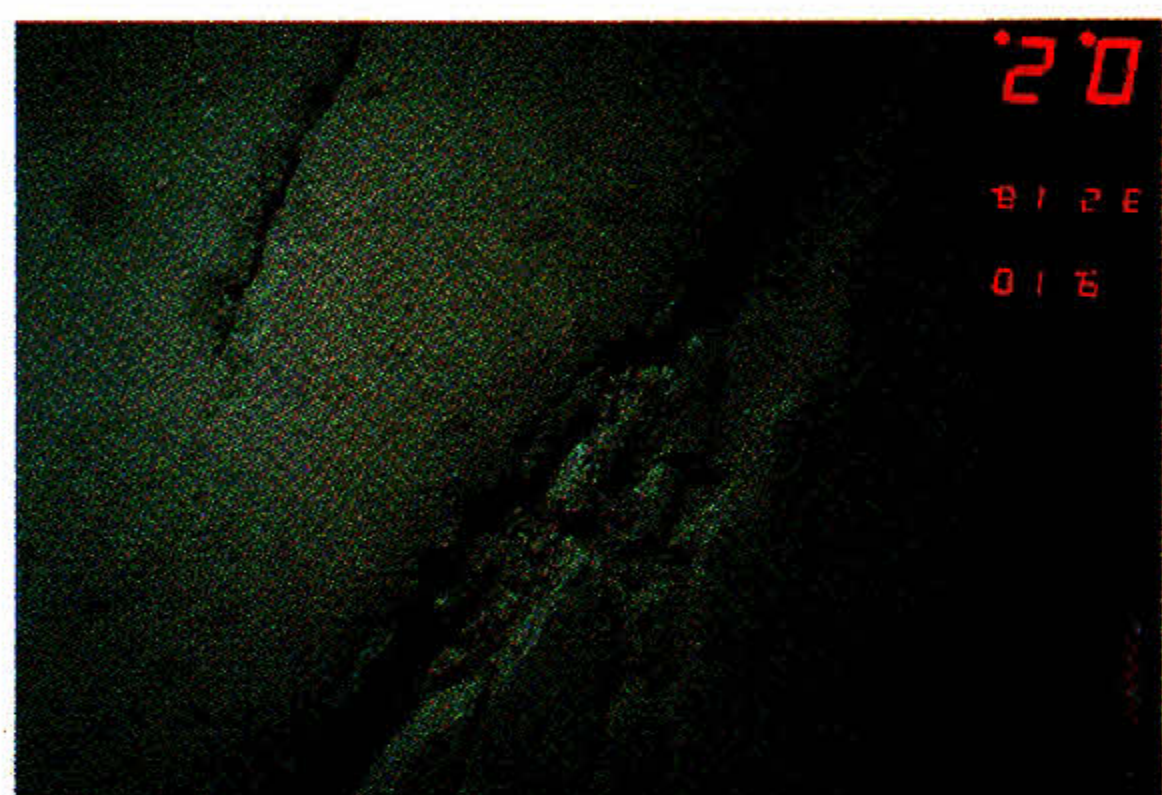


写真2 測線C-1 (09時10分32秒) 古い
地割れ (割目の縁が丸く内部に堆積物)
C-1 (09:10:32)
Older cracks. (Edges of cracks are
rounded and filled with sediments.)

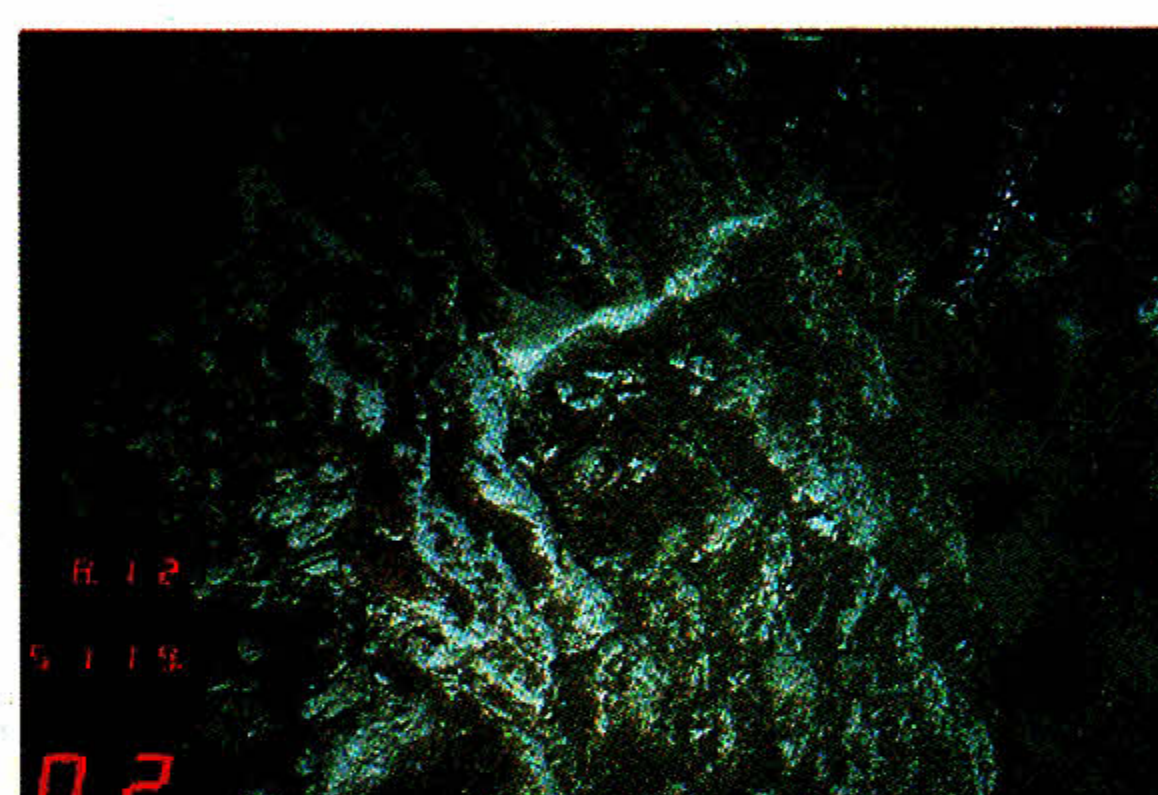


写真5 測線C-3₁ (08時12分5秒) 白っ
ぽい硬い底質の破壊
C-3₁ (08:12:51)
Destructive structure on the
consolidated white sedimentary rocks.



写真3 測線C-2 (16時22分34秒) 硬い
底質の破壊
C-2 (16:22:34)
Destructive structure on the
consolidated sedimentary rock.



写真6 測線C-3₁ (09時06分18秒)
軟かい底質の古い地割れ (縁が丸い)
C-3₁ (09:06:18)
Older cracks on the soft sediments.

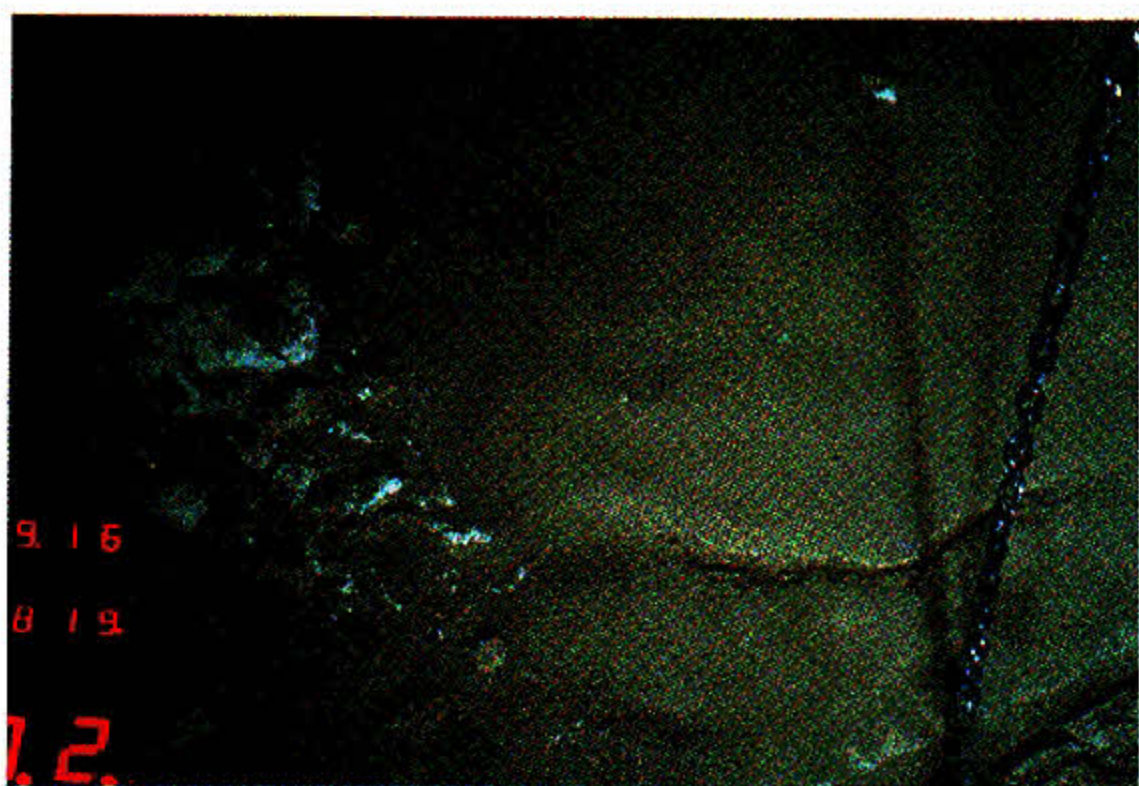


写真7 測線C-3₁ (09時16分08秒) 古い地割れと盛り (表面に薄く堆積)
C-3₁ (09:16:08)
Older cracks and older gravel mound.
Gravels are thinly covered with fine sediments and cracks are filled with sediments.



写真10 測線C-3₂ (11時32分02秒)
新しい地割れ [縁が鋭く表層堆積物を切っている]
C-3₂ (11:32:02)
New cracks. Edges of cracks are sharp and cracks are not filled with sediments.

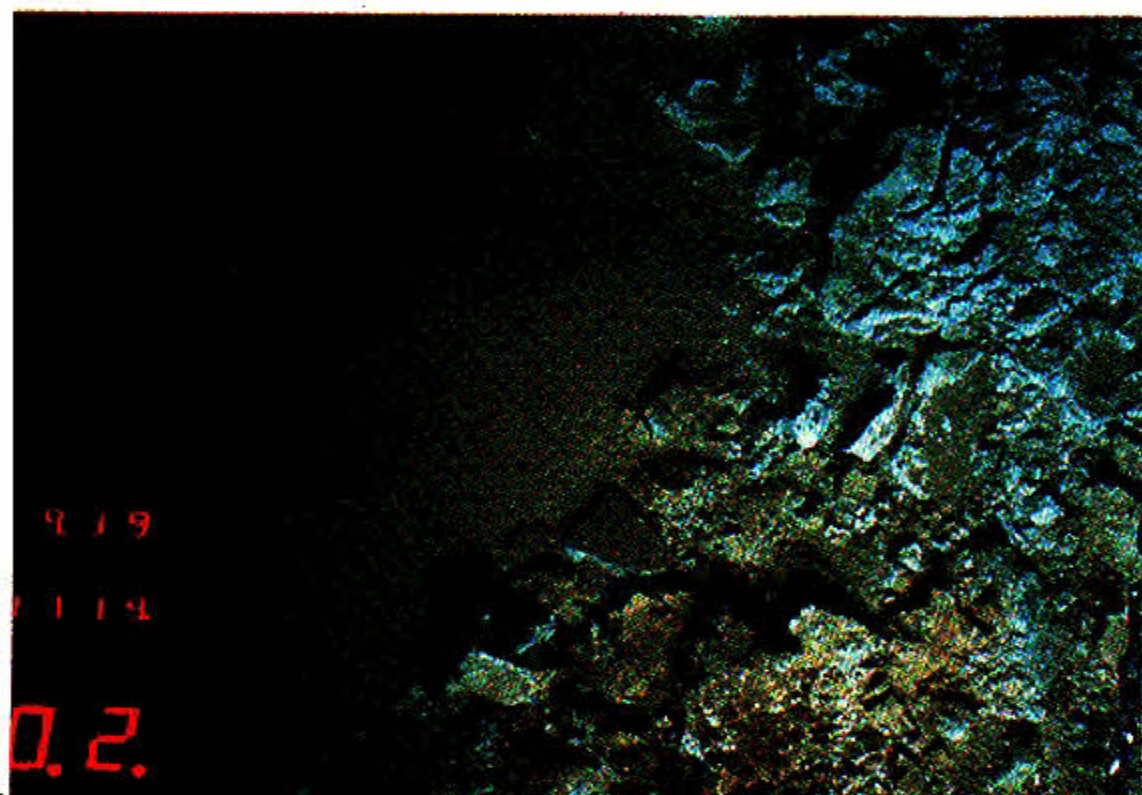


写真8 測線C-3₁ (09時39分17秒) 新しい盛り (礫の表面に堆積なし)
C-3₁ (09:39:17)
New gravel mound. No sediments cover on the gravels.

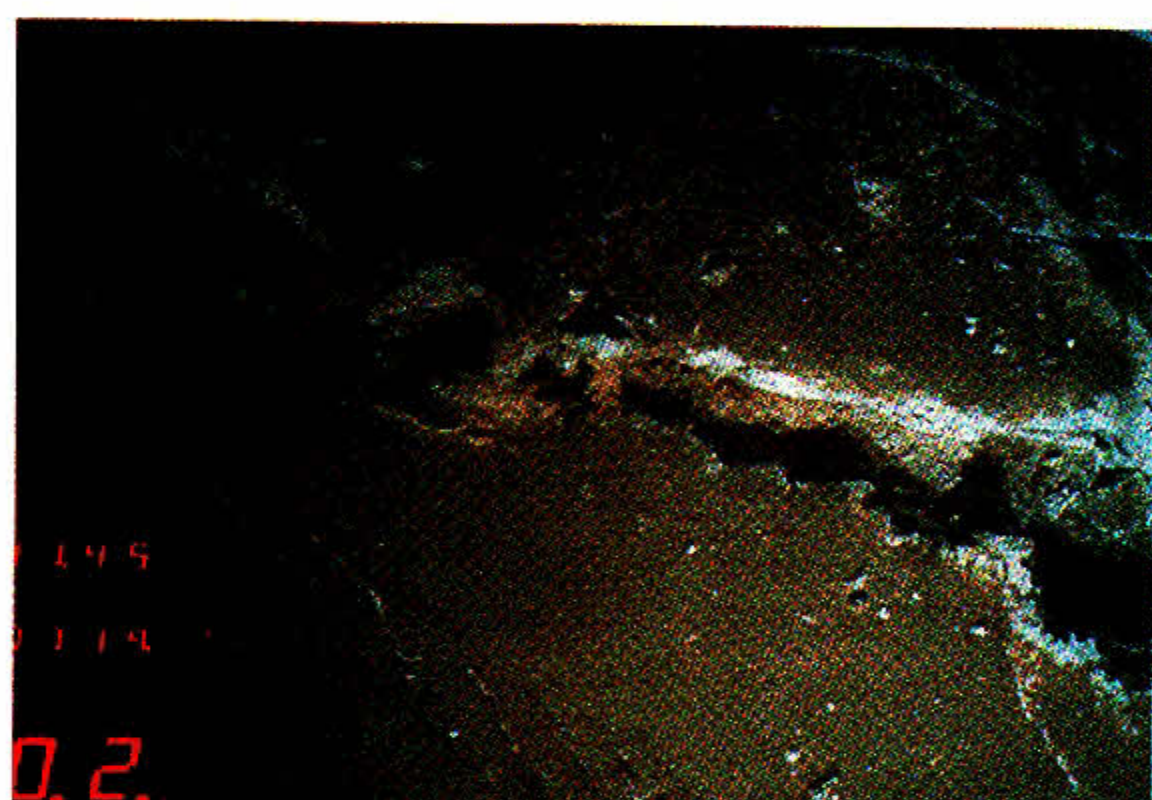


写真11 測線C-3₂ (11時45分07秒)
新しい地割れ
C-3₂ (11:45:07)
New cracks.



写真9 測線C-3₂ (10時56分10秒) 全く変形のない海底
C-3₂ (10:56:10)
Undestructive bottom floor.

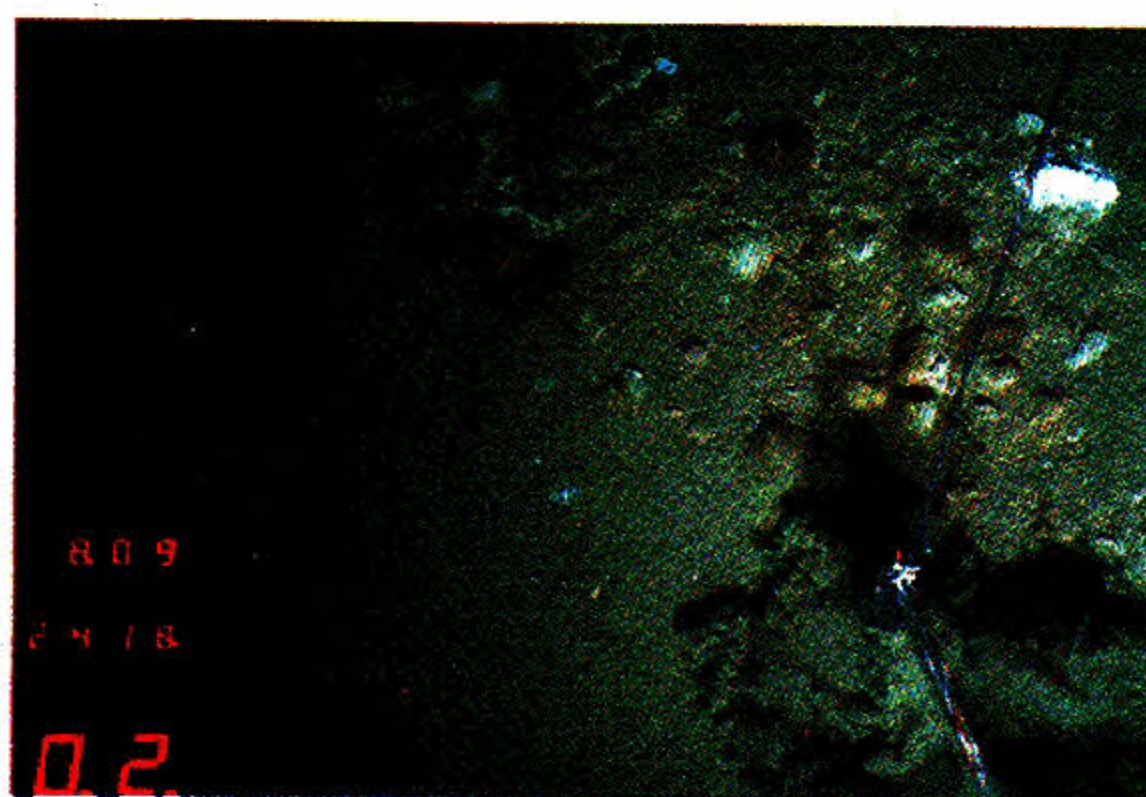


写真12 測線C-3₂ (11時50分49秒)
新しい盛り
C-3₂ (11:50:49)
New gravel mound.

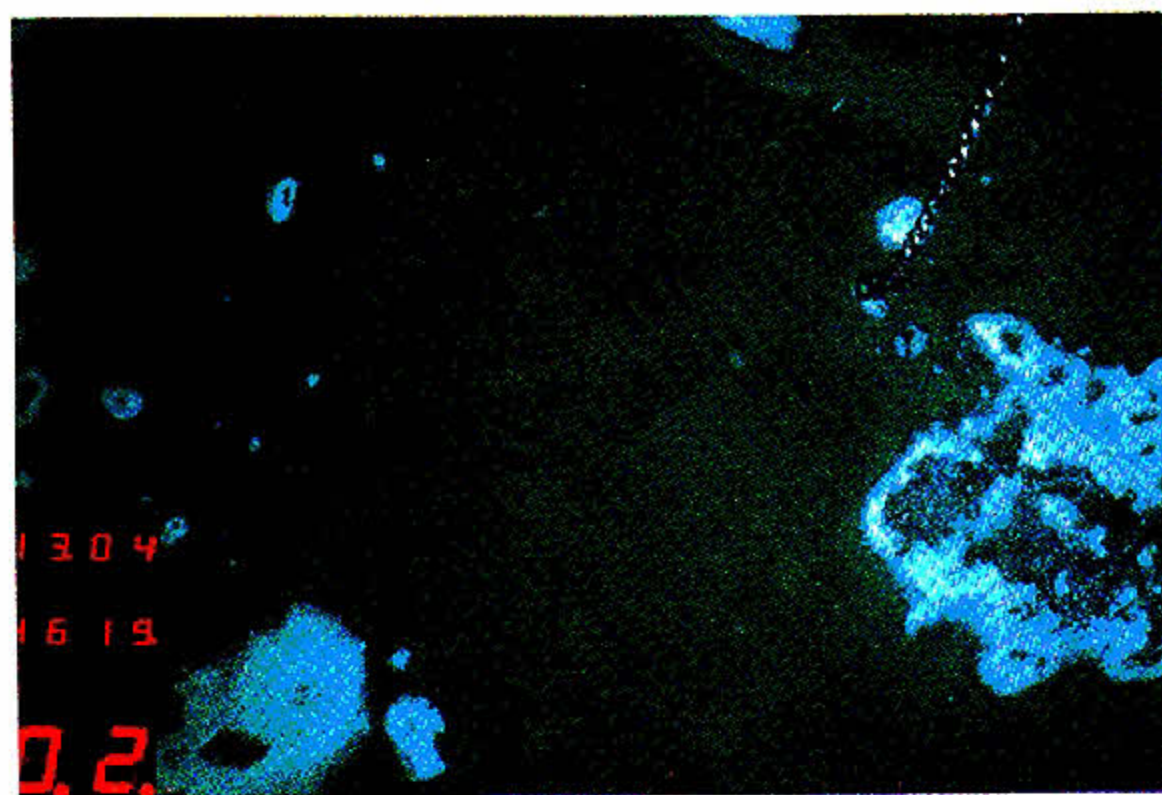


写真13 測線C-3₂ (13時04分46秒)
 白く輝く物質
 C-3₂ (13:04:46)
 Strong reflective white material

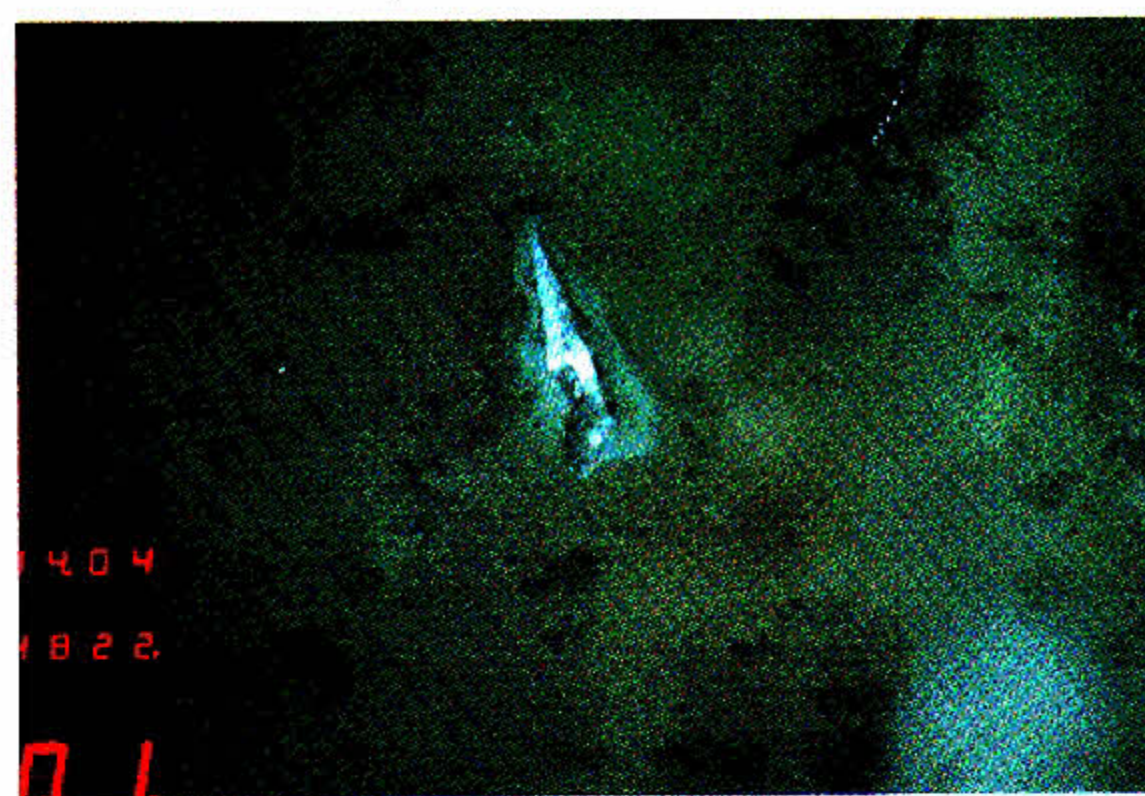


写真16 測線C-4 (14時04分48秒)
 魚の死骸
 C-4 (14:04:48)
 Dead fish (Cod?)



写真14 測線C-3₂ (14時14分41秒)
 古い地割れ
 C-3₂ (14:14:41)
 Older cracks.

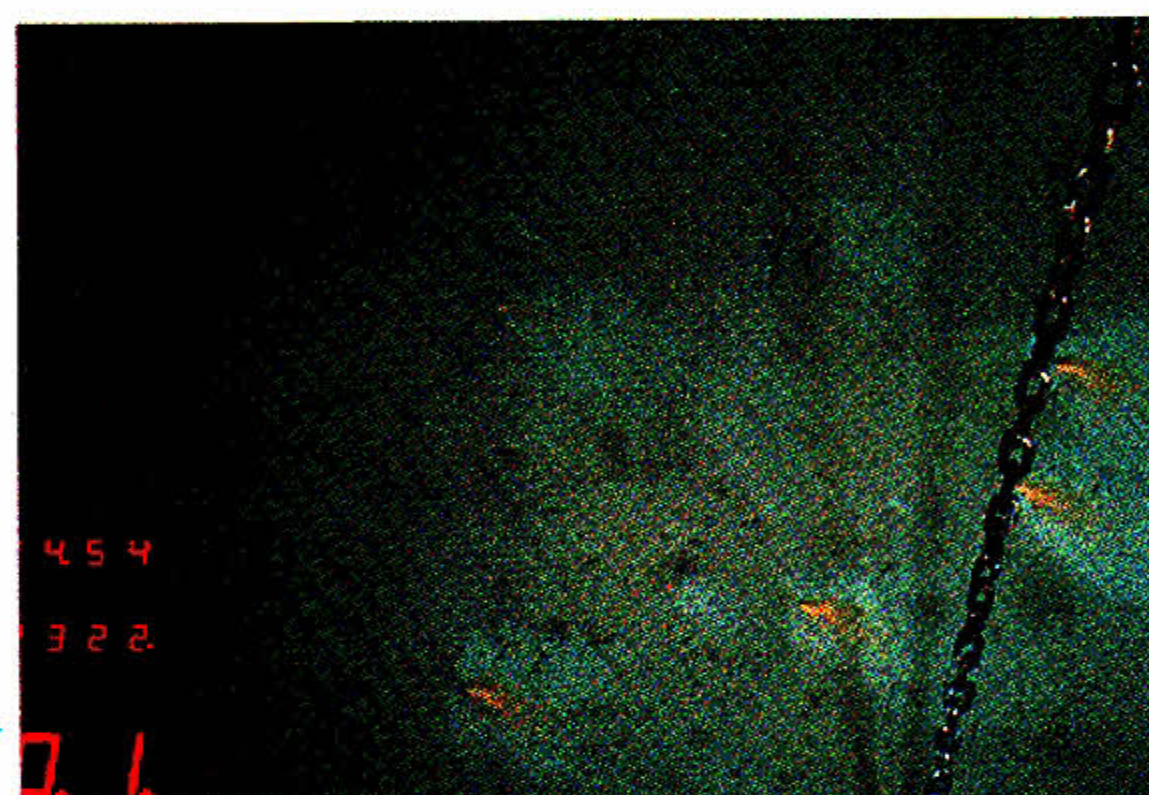


写真17 測線C-4 (14時54分23秒) 海底から噴出したと見られる黄色物質
 C-4 (14:54:23)
 Yellowish material ejected from subsurface.

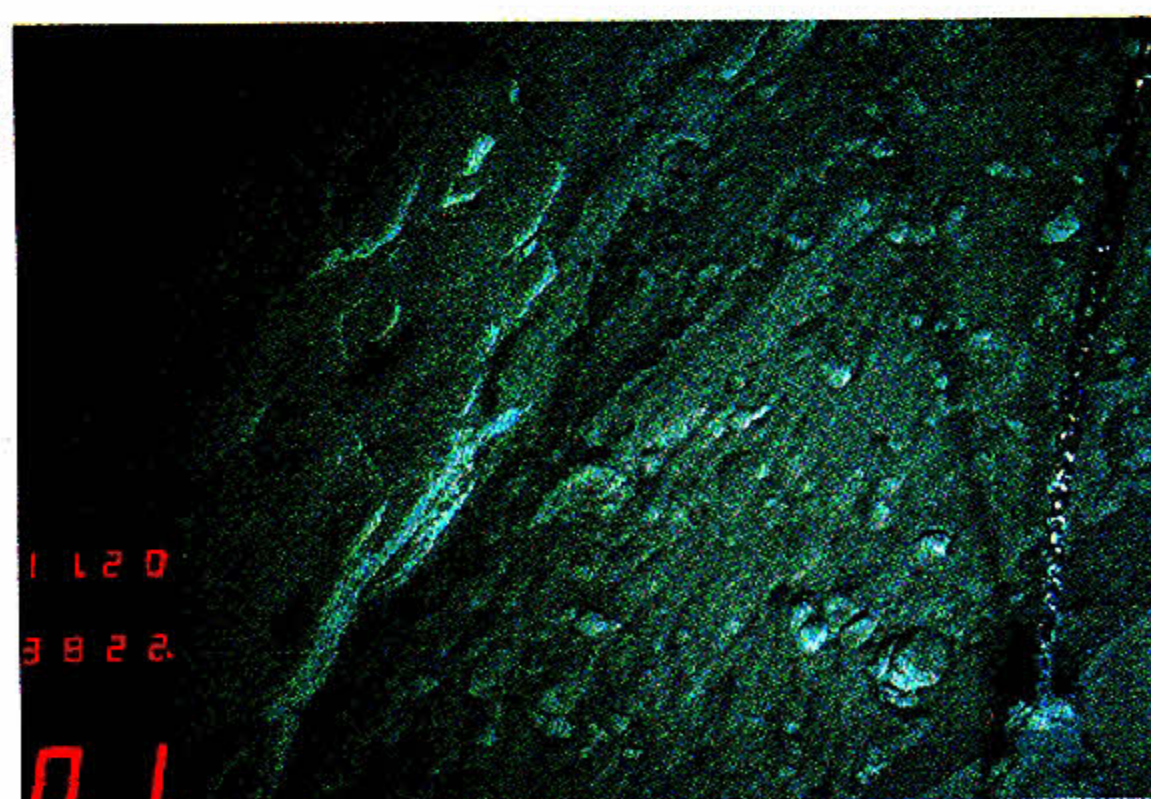


写真15 測線C-4 (11時20分38秒)
 表層の破壊および底層流痕
 C-4 (11:20:38)
 Destructive structures on soft sediments and trace of bottom flow.

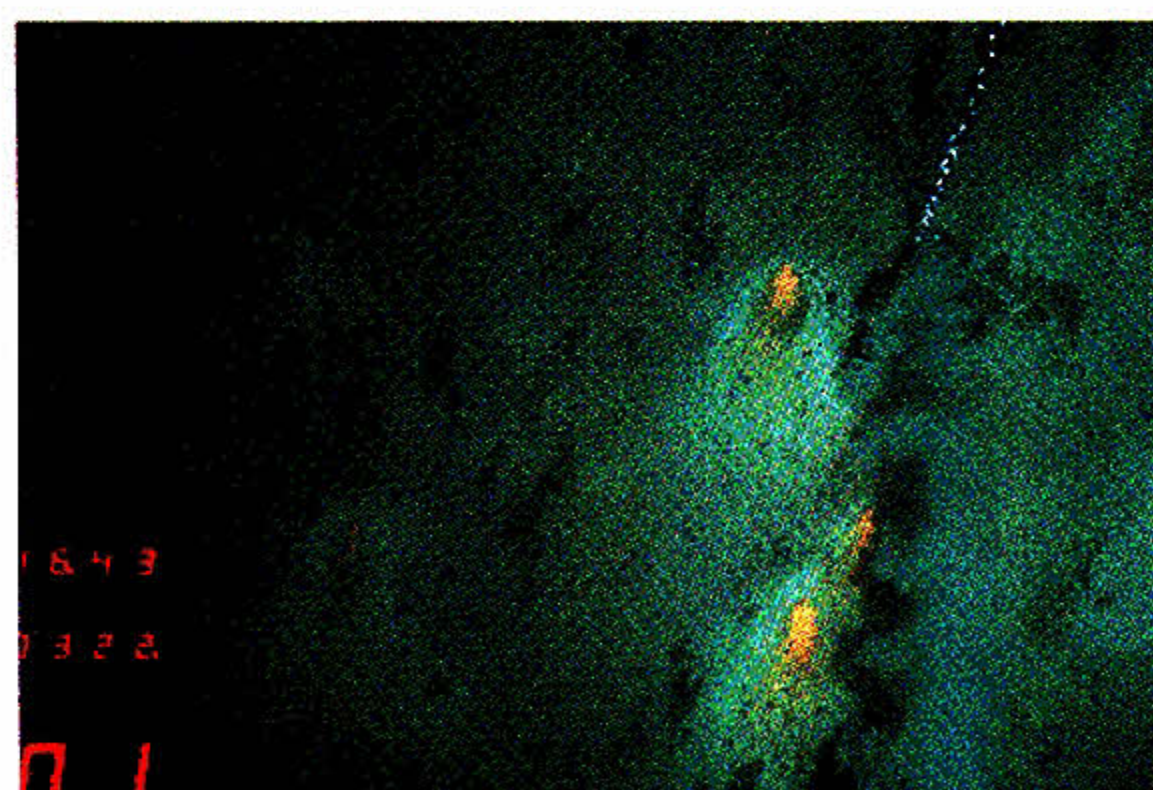


写真18 測線C-4 (16時43分03秒) 海底から噴出したと見られる黄色物質
 C-4 (16:43:03)
 Yellowish material ejected from subsurface.

6. 調査結果についての考察

(1) 一つの震源域と思われる約20 Km程度の範囲の中で、破壊面にほとんど堆積物が認められない新しい破壊と思われるものと、薄く堆積物に覆われて、ある程度時間が経った古い破壊と思われるものが混在していることから、この海域では、過去から何回か破壊が繰り返し起こっていることが考えられる。

(2) 破壊の方向性が一様ではない「地割れ」および「盛り上がり」が混在していることから、海底の表層は極めて小さな単位に分割されて、地震に伴う歪力によって、それらの単位が互いに「引張力」を受けたり、「圧縮力」を受けたことが示されている。また、小規模な地割れの雁行配列が見られることから、部分的には水平的なずれ応力も働いたことが示されている。

(3) 今回の調査した範囲では、佐渡海嶺北端部の西に存在する緩い丘状地形における破壊が顕著である。

(4) 最北端測線で発見された黄色斑点状物質は、明らかに海底下から噴出したものと思われる。表層付近の層構造が頻繁に乱れていることから、地震を起した歪力によって、海底下に存在する物質が噴出した可能性が強いと考えられる。この物質について、米国において海底の熱水噴出現象に伴う熱水鉱床の研究を精力的に進めているNOAAのA. Malahoff博士は、これは低温型の熱水噴出による物質の可能性もあると指摘している(口頭私信)ことから、今後さらに研究を進める必要があるものと思われる。

7. おわりに

今回、深海底で起った大きな地震の発生直後の

海底の目視調査が世界で初めて行われた。陸の地震なら当然行われる現地調査が深海底においても可能となったことは、海底調査手法の技術開発の成果である。ただし、深海底の目視調査は、陸上のそれと比較すると極めて能率が良くないので、あらかじめ目標とする観察対象を決め、その位置についても相当の予備調査を行っておく必要があると思われる。また、日本海盆平坦部で発見された黄色物質は、今後の調査研究の進展によっては、日本海におけるテクトニクスを考える上で大きな刺激を与えるものとなるかも知れない。

文 献

- 1) 堀田 宏ほか, 1980, “深海底探索調査システムの基礎実験”, JAMSTECTR(5), 27-44
- 2) 大塚 清ほか, 1982, “曳航式深海底探索調査システムのソーナー” JAMSTECTR(8), 1-28
- 3) 土屋利雄, 大塚 清, 1983, “曳航式深海底探査テレビシステムの開発”, JAMSTECTR(11), 13-29
- 4) 堀田 宏ほか, 1982, “海底変動地形の精査・目視”, フィリピン海プレート北端部の地震テクトニクスに関する特定総合研究中間報告書, 108-116
- 5) 本座栄一, 1983, “日本海中部断層と海底断層” 科学53(8), 510-531
- 6) 桂 忠彦ほか, 1984, “日本海中部地震震源域における海底調査概報”, 水路部技報(2), 18-22

(原稿受理: 1984年9月29日)