

相模湾初島沖「深海底総合観測ステーション」により 観測された海底変動現象

—1997 年 3 月伊豆半島東方沖群発地震に伴う海底混濁流—

岩瀬 良一*¹ 門馬 大和*¹ 川口 勝義*¹ 藤原 法之*¹
鈴木伸一郎*¹ 満澤 巨彦*¹

1997 年 3 月伊豆半島東方沖群発地震の際、相模湾初島沖「深海底総合観測ステーション」により海底混濁流及び地中温度の急ステップ的な上昇といった変動現象を観測した。海底混濁流については、ビデオ映像及び流向流速計の記録、並びに 1997 年 4 月の曳航調査 (KY97-05) の結果から、ステーション西側の斜面上の不安定な表層の堆積物が、地震による揺れをトリガとして、表層雪崩のように斜面を滑り落ちて発生したものと考えられる。

地中温度については、3 月 3 日 23:09 の地震を契機として、ステップ的な温度上昇が始まり、地震の前後で 1°C から 1.5°C 程度の上昇と、ステーションでの観測開始以来最大の変化が観測された。

キーワード：相模湾初島沖、群発地震、混濁流、深海底長期観測ステーション、シロウリガイ

Turbidity Currents on the Deep Seafloor triggered by the Earthquake Swarm in the East off Izu Peninsula in March 1997—Observation by the Long-term Deep Seafloor Observatory off Hatsushima Island in Sagami Bay

Ryoichi IWASE*² Hiroyasu MOMMA*² Katsuyoshi KAWAGUCHI*²
Noriyuki FUJIWARA*² Shin-ichiro SUZUKI*² Kyohiko MITSUZAWA*²

During the East off Izu Peninsula earthquake swarm activity, in March 1997, the deep seafloor environmental events, such as turbidity current and sudden increase of underground temperature, were observed by the Long-term Deep Sea Floor Observatory off Hatsushima Island in Sagami Bay.

From the result of video image and the record of the current meter and the deep-tow investigation (KY97-05) in April 1997, the turbidity current seems to be caused in the way that the sediment of the unstable surface layer on the slope in the west of the station slipped off the slope like surface avalanche, which was triggered by the earthquakes.

The underground temperatures have increased suddenly by 1°C to 1.5°C when the earth-

* 1 海洋科学技術センター深海研究部

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

quake occurred at 23:09 on March 3 1997, which was the maximum change after the observation by the station started.

Key words : Off Hatsushima in Sagami Bay, earthquake swarm, turbidity current, Long-term Deep Sea Floor Observatory, Calyptogen colony

1. はじめに

相模湾初島沖の水深 1,175 m のシロウリガイ群生域に、深海底の環境変動現象を長期かつ総合的に観測することを目的として、1993 年 9 月設置された「深海底総合観測ステーション」(門馬ほか, 1994, 門馬ほか, 1995) では、ビデオカメラ、速度型地震計、ハイドロフォン、CTD センサ、電磁流向流速計、地中温度計による深海底の連続観測を設置以来継続して実施している。

一方、相模湾西部から伊豆半島にかけては、伊豆半島南端に 1974 年 5 月 9 日に発生した伊豆半島沖地震(武尾, 1989)以来、地震活動が活発化し、1978 年 1 月 14 日の伊豆大島近海地震(川勝, 1990)、1980 年 6 月 29 日の伊豆半島東方沖地震(Takeo, 1988)とマグニチュード 6 以上の地震が引き続いた。伊豆半島東方沖では、汐吹崎から川奈崎沖にかけてを中心に、1970 年代後半以降現在に至るまで、数カ月から 1 年程度の間隔で群発地震が繰り返し発生している。1990 年 7 月 13 日には、マグニチュード 5 クラスを含む活発な群発地震活動の後、手石海丘において海底噴火が発生した(村井・小林, 1992)。伊豆半島東方沖で発生している群発地震の多くは、震源の深さが 10 km より浅く、P 波初動の押し引き分布から、その多くが北西—南東ないし西北西—東南東方向に圧縮軸を有する横ずれ断層型の地震であることが知られている。また、1995 年の群発地震の際に、防災科学技術研究所の陸上地震観測点と「深海底総合観測ステーション」の地震計の P 波波形データにより推定された地震の破壊伝搬方向は東西方向の断層面に沿って、西から東に伝搬していることが示されている(松田他, 1996)。

1997 年 3 月初旬に発生した群発地震は、1990 年の手石海丘の噴火を伴う活動以来およそ 6 年半ぶりにマグニチュード 5 クラスの地震を含む群発地震活動となった(気象庁, 1997)。この群発地震では海底混濁流の発生や地中温度の上昇といった変動現象が「深海底総合観測ステーション」により捉えられた。ここではステーションにより観測されたこれらの現象について報告する。

2. 海底混濁流

2.1 1997 年 3 月伊豆半島東方沖群発地震活動の推移

群発地震活動は、伊豆半島東岸の汐吹崎沖合で 1997 年 3 月 3 日 0 時頃より始まり、同日夜に活発化し、23:09 にはマグニチュード 5.0 の地震が発生した。4 日 12:51 にはこの活動中で最大規模の地震であるマグニチュード 5.7 の地震が発生した。その後も活発な活動は 9 日まで継続したが、それ以降は次第に沈静化していった。気象庁の報道発表によれば、3 月 3 日の群発地震活動の開始から 3 月 10 日 9 時までの間、鎌田において 8,746 個の地震を観測し、うち有感地震は 426 個であった。

「深海底総合観測ステーション」では、通常、毎日 0 時と 12 時の 2 回、15 分間水中ライトを点灯し、初島陸上局にて海底の映像をビデオテープに自動録画しており、また、この自動録画の開始時刻、即ち 0 時と 12 時には、静止画像を横須賀の海洋科学技術センターまで転送している。ライトの寿命を考慮して、これ以外の時刻にはライトは消灯したままであるが、ライトの点灯・消灯及び静止画像の転送については、横須賀からの遠隔操作により、任意の時刻に制御可能である。初島陸上局では、手動操作によりビデオの連続収録が可能である。

今回の群発地震に際しては、3 月 3 日 20 時頃よりライトを連続点灯とし、3 月 4 日 12:08 より観測要員の都合のつく範囲で映像の連続録画を行った。またこれと並行して 2 月 7 日から 3 月 13 日までの間、5 分おきに 2 コマずつビデオ映像を録画する微速度撮影が NHK により行われた。なお、本ステーションにはビデオカメラが 2 台搭載されており、どちらか 1 台を選択して映像を見ることができるが、以前フレームから脱落したカメラ(門馬ほか, 1995)については、今回の地震により転倒して映像が取得できなくなった(写真 1)。本報告で示す映像は、もう 1 台のカメラで得られたものである。なお、このカメラはほぼ真東を向いている。

流向・流速、CTD 及び地中温度については、5 秒ごとのデータが横須賀まで常時テレメータされているが、今回の群発地震の期間中は機器の障害等により、一部欠測が生じている。地震波形データについては、連続記録

を初島陸上局で8 mm テープに収録しており、同時にイベントトリガによる記録を横須賀まで転送しているが、これについても同様に一部に欠測がある。

2.2 海底混濁流の画像記録

3月3日20:10頃、マグニチュード4.5の地震が発生した。このころより横須賀からの遠隔制御によりライトを点灯し、静止画像の取得を試みた(写真2)。

同日23:09の地震の後、テレメータ装置は、障害の発生や地震波形データの転送処理のため静止画像の転送がしばらくできない状況であったが、23:40頃より静止画像の転送が可能となった。これにより得られた画像は、画面一面が真っ黒であったり、オレンジ色であったりしたため(写真3)、当初はステーションの故障を疑ったが、約1時間40分後の3月4日01:20、シロウリガイが堆積物に埋もれた様子を示す画像(写真4)が得られ、静止画像が正常に転送されていることが確認された。

3月4日12:00過ぎより、初島陸上局にて連続録画を開始したところ、同日12:51、今回の群発地震で最大の地震であるマグニチュード5.7の地震が発生した。

地震発生から約8分後の12:59頃より画面右側、すなわち南側より、巻き上げられた堆積物と思われるものが流入し始め(写真6)、その後暫くは混濁流により画

面がオレンジ色であったが、13:26になって水中ライトの光が完全に遮られ、画面がしばらくの間真っ暗となる様子が、この時動画により初めて観測された。その後地震発生から約1時間半後の14:15になってようやく海底が見えるようになった。写真5にこの地震が発生する前の11:03の画像、写真7に地震発生から約2時間半後の15:18の画像をそれぞれ示す。混濁流により運ばれた堆積物により、貝が埋もれたことが分かる。また、このことから、前日の23:09の地震で得られた静止画像も混濁流を捉えたものであることが判明した。

その後、3月5日22:43に発生したマグニチュード4.4の地震に伴って発生した3回目の混濁流を動画で捉えた。この時は、地震発生から16分後の22:59にカメラの背後、すなわち西側より、巻き上げられた堆積物が流入し始め、23:06にライトの光が遮られ画面が真っ暗となった。その後、地震発生から約1時間後の23:36になって海底が見えるようになった。写真8にこの地震前の画像、写真9にこの地震後の画像を示す。

今回の群発地震では、以上の3月3日23:09、4日12:51及び5日22:43の3回の地震以外、地震に伴う混濁流の発生は確認されていない。

図1にこれら3つの地震の震央とステーションの位置を示す。海底地形図は、1997年4月に実施された曳

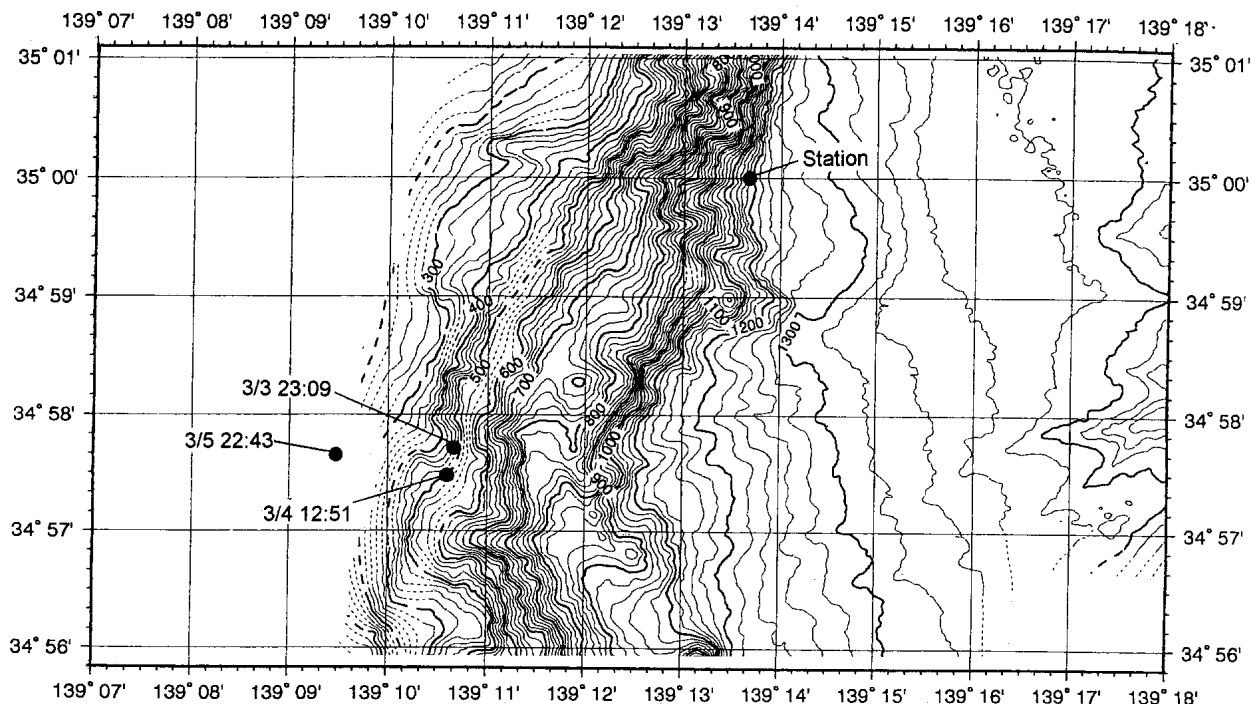


図1 ステーションの位置と混濁流が観測された地震の震央

Fig. 1 Location of the station and epicenters of the earthquakes which caused the turbidity currents (Coordinate : Tokyo Datum).

航調査 (KY97-05: 門馬ほか, 1997) の際のシービーム調査により得られたものである。

2.3 混濁流に伴う流向・流速の変化

本ステーションに搭載された電磁流向流速計の流向記録には、他の観測機器の電源から発生した磁場による影響が原因と推定される西方向への片寄りが見られ、その対策として、自己記録型流速計を用いた現場キャリブレーションにより、流向値の補正が試みられている (門馬ほか, 1995)。今回も同じ補正式を使用して流向値の補正を行った。

3月3日23:09の地震後の流向・流速記録を図2に、4日12:51の地震後の記録を図3に、5日22:43の地震後の記録を図4にそれぞれ示す。また、3月3日12:00から3月6日12:00までの記録を図5に示す。矢印は地震の発生時刻を示している。所々データが欠落しているのは、テレメータ装置の障害による欠測箇所である。

図5でわかるように通常流向は南西方向の流れが卓越している。

動画像記録が残っている4日12:51の地震 (図2) では、地震発生後流れが徐々に北向きに変化し、13:00を過ぎたあたりで急に流れが東向きもしくは東南東方向に変化している。そして、13:26に流速が急な立

ち上がりを見せ、24 cm/sを記録している。その後流速が減るにつれて流向も南西方向に徐々に戻っている。これを映像と比較すると、地震発生最初の北向きの流れは、南側からの堆積物の流入開始に調和している。流れが急に東向きになったのは画面一面がオレンジ色になった時点、また、流速が24 cm/sになったのは、ライトの光が遮られ画面が真っ暗になった時点に一致している。ライトの光が遮られたのは、高密度の物質が西から流れ込んだためと考えられ、これが流速の増加も引き起こしたと考えられる。

同じく動画像記録が残っている5日22:43の地震についても、規模は前者に比べて小さいものの、23:06頃の流速の増加と映像記録でのライトの光の遮断が対応している。

3日23:09の地震については、動画記録がなくまたデータの欠落もあり、堆積物の流入開始の状況が不明であるが、前二者と同様高密度の物質が西側から流れ込んだ様子を示している。但し、前二者と比較して、地震発生後の早い時期から流速が大きな値を示しており、3つの中ではもっとも大規模の混濁流であったと推定される。

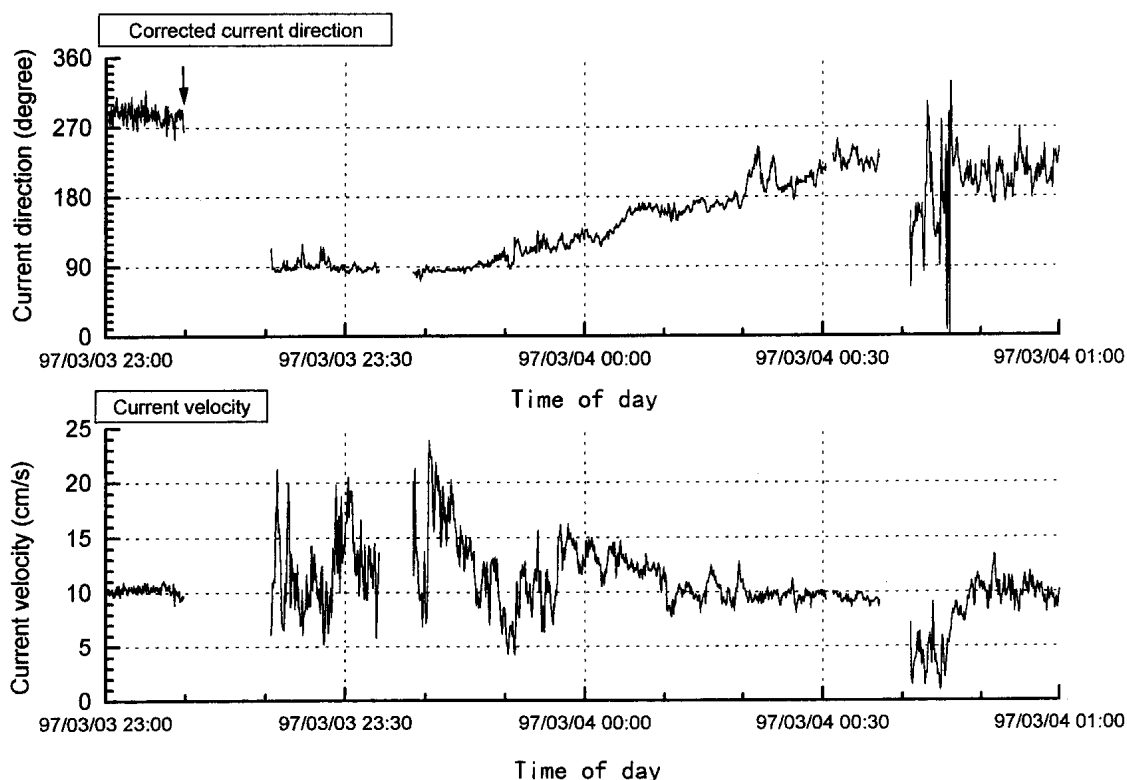


図2 ステーションによる流向・流速記録。矢印は発震時 (23:09) を示す

Fig. 2 Current profile observed by the station. The arrow shows the origin time of the earthquake (23:09).

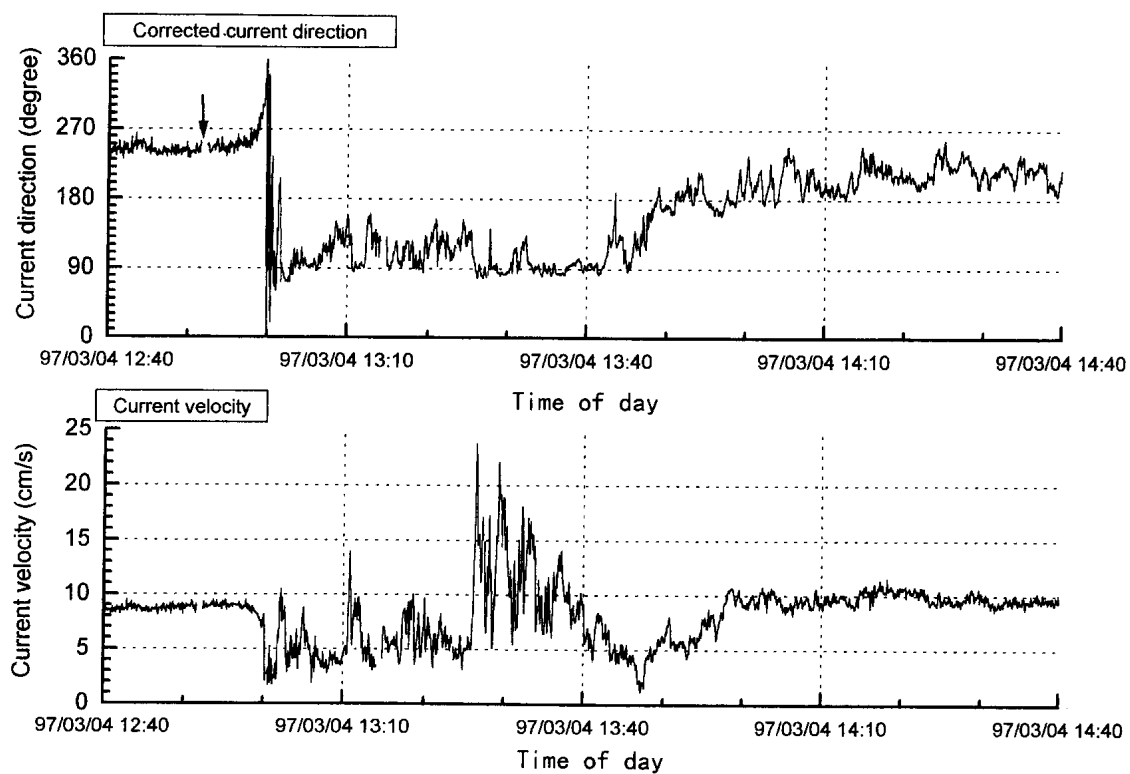


図 3 ステーションによる流向・流速記録。矢印は発震時（12：51）を示す
 Fig. 3 Current profile observed by the station. The arrow shows the origin time of the earthquake (12 : 51).

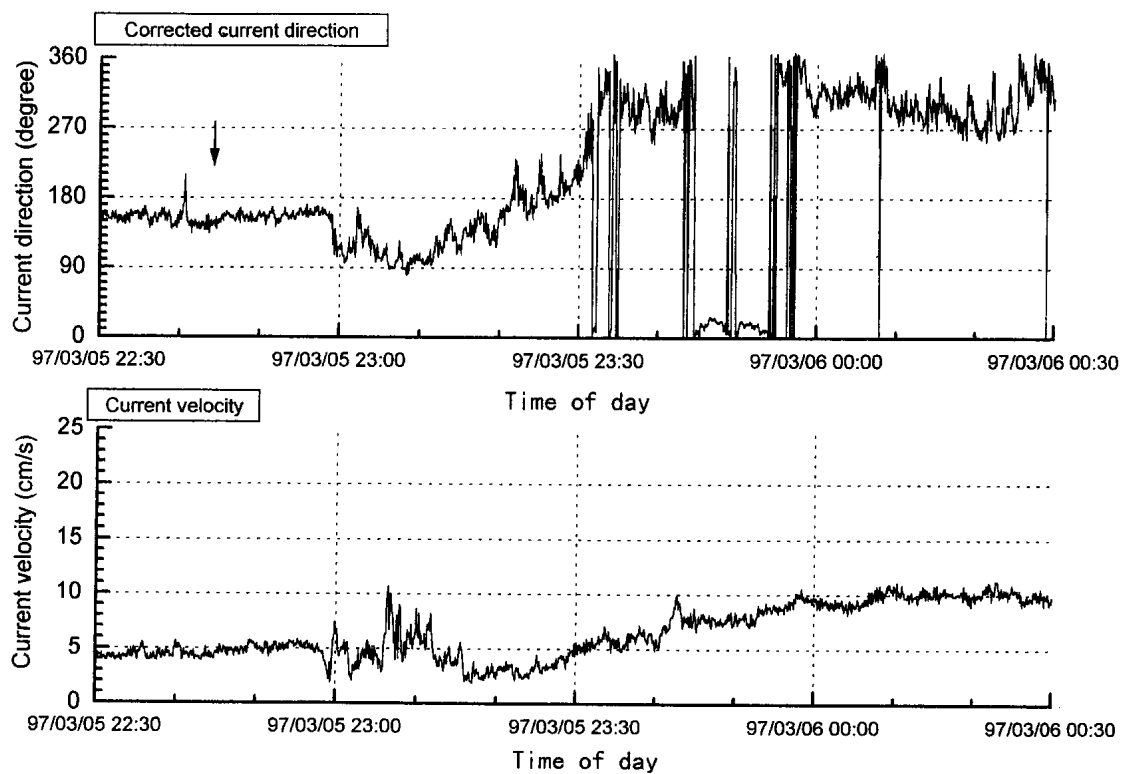


図 4 ステーションによる流向・流速記録。矢印は発震時（22：43）を示す
 Fig. 4 Current profile observed by the station. The arrow shows the origin time of the earthquake (22 : 43).

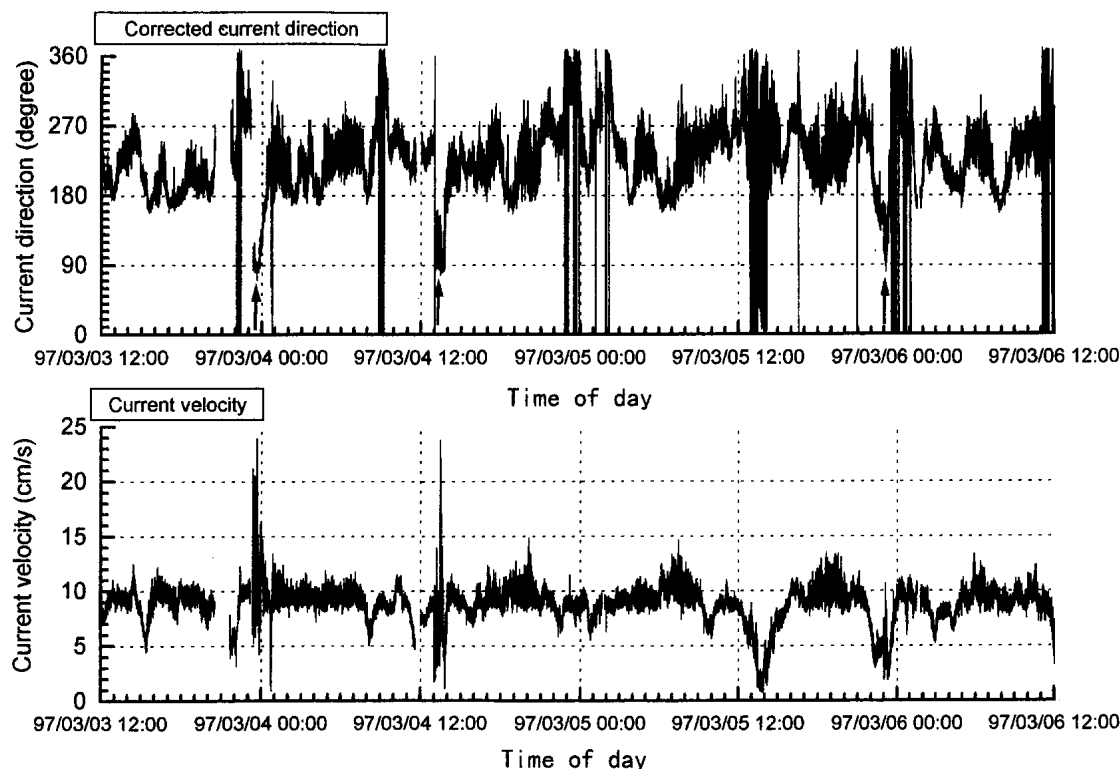


図 5 ステーションによる流向・流速記録。矢印は混濁流の発生時を示す
Fig. 5 Current profile observed by the station. The arrows show the occurrence time of the turbidity current.

2.4 混濁流の起源

前記3つの混濁流について、いずれの場合も混濁流の発生中は東から東南東にかけての流れが支配的である。図1の地形図でわかるように、ステーションの西側には北北東—南南西方向の走向を有する急斜面がある。流れの方向から、混濁流はこの斜面を下ってきたものであるものと考えられる。なお、4日12:51の地震では、映像記録から当初南側からの堆積物の流入が観測されたが、これは、斜面のうち、震源に近い方で先に堆積物の崩落が開始し、それが流入したものと推定される。

群発地震後、ステーションの周囲で1997年4月に深海曳航調査(KY97-05)、同年5月に「しんかい2000」による潜航調査(NT97-08)が行われたが(門馬ほか, 1997, 小川ほか, 1997)、いずれの場合にも地震による崩壊地形は確認されておらず、かなり不安定な未固結堆積物により海底面が覆われていたことが観察されている。春先は懸濁物が非常に多く存在することが、ステーションによる観察でわかっており(門馬ほか, 1995)、この懸濁物が海底面に着底していると思われる。

前記の深海曳航調査では、ディープ・トウカメラによ

る観察で、ディープ・トウに取り付けた錘が斜面において海底に着底した際、堆積物が巻きあがって表層雪崩のように斜面を駆け下っていく様子が確認されている(写真10)。

以上のことから、今回観測された混濁流は、ステーション西側の斜面上の不安定な表層の堆積物が、地震による揺れをトリガとして、表層雪崩のように斜面を滑り落ちて発生したものと考えられる。

3. 地中温度

本ステーションでは、2本のサーミスタ温度計を、互いに約1m離して設置している。各々の温度計にはサーミスタが10cm間隔で3カ所に取り付けられており、海底に刺した状態では、海底直下、海底下約10cm、及び海底下約20cmの温度を計測している(門馬ほか, 1995)。

今回の地震では、地中温度に顕著な変化が見られた。今回の群発地震前後の地中温度記録を図6及び図7に示す。2本の温度計とも3月3日23:09の地震を契機として、ステップ的な上昇が始まり、地震の前後で1°Cから1.5°C程度上昇している。こうした現象は、本ステ

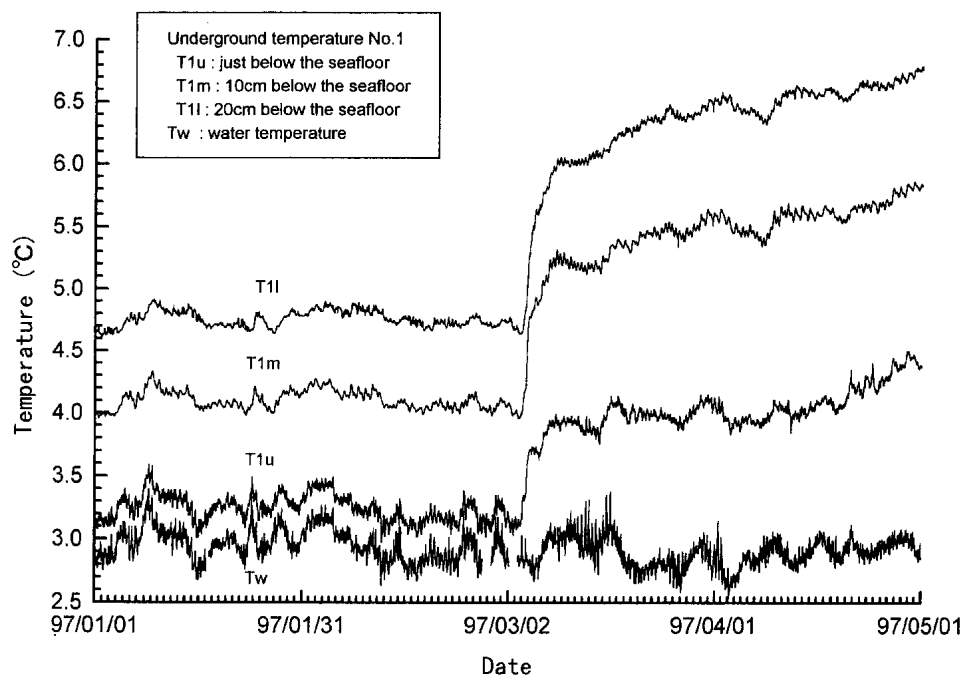


図 6 ステーションによる地中温度計 (No. 1) と水温の記録
Fig. 6 Underground temperature (No. 1) and water temperature profile observed by the station.

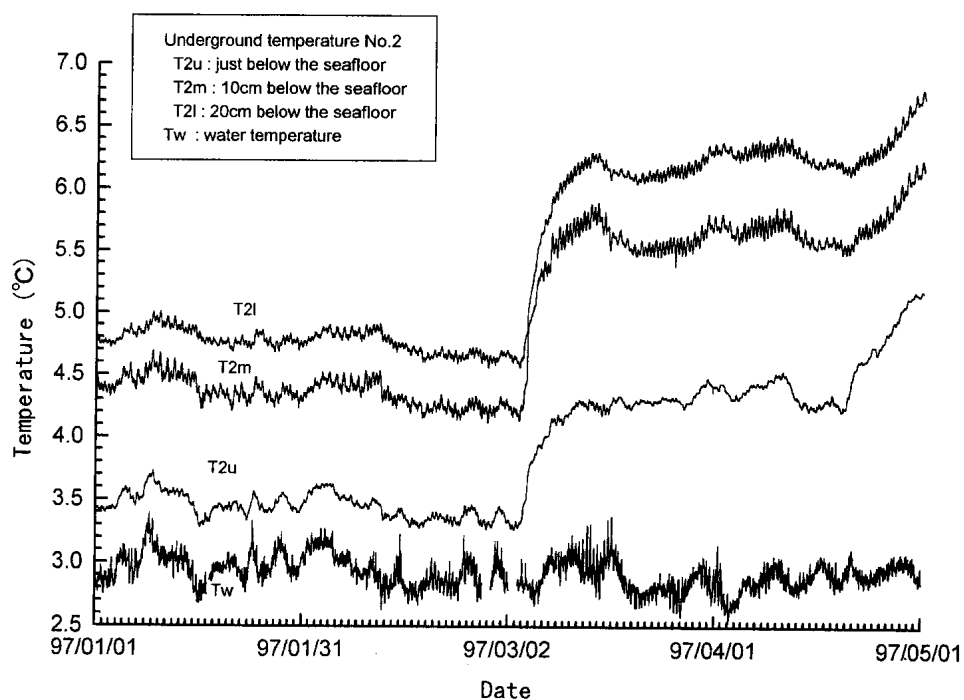


図 7 ステーションによる地中温度計 (No. 2) と水温の記録
Fig. 7 Underground temperature (No. 2) and water temperature profile observed by the station.

ーションでの観測開始以来初めてのことである。

今回の群発地震では、GPS 観測により観測された初島一小室山間の距離が、地震の発生に伴いステップ的に増加したことが報告されている（国上地理院，1997）。

今回に関しては、地中温度変化のパターンもこれに似ているが、1996 年 10 月の群発地震でもステップ的な距離の増加が報告されているのに対し、地中温度にはそういったパターンが確認されていない。地中温度の変化は

この地域の地殻変動に伴う湧水の状態の変化を反映している可能性が考えられるが、今後詳細な検討が必要である。

4. ま と め

1997年3月伊豆半島東方沖群発地震の際、相模湾初島沖「深海底総合観測ステーション」により海底混濁流を観測した。映像及び流向流速計の記録、並びに1997年4月の曳航調査(KY97-05:門馬ほか, 1997)の結果から、この海底混濁流は、ステーション西側の斜面上の不安定な表層の堆積物が、地震による揺れをトリガとして、表層雪崩のように斜面を滑り落ちて発生したものと考えられる。

また、今回の地震では、3月3日23:09の地震を契機として、地中温度にステップ的な上昇が始まり、地震の前後で1°Cから1.5°C程度の上昇が観測されたが、過去の地殻変動パターンとの比較を含め検討が必要である。

謝 辞

今回の映像記録については、NHKの富永慎一氏に微速度撮影の映像を提供いただいたが、群発地震期間中の混濁流の有無を見る上で有益であった。地震の震源位置については東京大学地震研究所地震地殻変動観測センターのデータを参考にさせていただいた。ここに記して御礼申し上げる。

引用文献

- 気象庁(1997):第25回地震調査委員会資料.
国土地理院(1997):第25回地震調査委員会資料.
川勝 均(1990):伊豆大島近海地震のCMT解,地震,
43, 447-450.
松田洋祐・石原 靖・菊池正幸・海宝由佳・門馬大和
(1996):1995年伊東沖群発地震の破壊伝搬方向,

地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集, p.
315.

門馬大和・満澤巨彦・海宝由佳・堀田 宏(1994):相模湾初島沖「深海底総合観測ステーション」の設置と長期観測, JAMSTEC 深海研究, 10, 363-371.

門馬大和・満澤巨彦・海宝由佳・岩瀬良一・藤原義弘(1995):相模湾初島沖の深海底総合観測—シロウリガイ群生域の1年間—, JAMSTEC 深海研究, 11, 249-268.

門馬大和・川口勝良・岩瀬良一・満澤巨彦・青木美澄(1997):相模湾初島沖の海底変動地形調査(KY97-05-SGM), JAMSTEC 深海研究, 13, 375-393.

村井芳夫・小林芳正(1992):1989年伊東沖群発地震のコーダ波の散乱及び減衰特性, 地震, 45, 129-143.

小川勇二郎・藤原義弘・JAMES C. HUNT・岩瀬良一・金子浩幸・川村喜一郎・北里 洋・小林英城・小泉金一郎・久保田信・西田周平・大塚 攻・嶋永元祐・高木義弘・土田真二・土屋正史・植松勝之・山本智子・橋本 惇・瀬川爾朗(1997):1997年5月相模湾「しんかい2000」潜航調査報告(概報)—第939-945潜航, JAMSTEC 深海研究, 13, 353-373.

Takeo. M. (1988): Rupture process of the 1980 Izu-Hanto-Toho-Oki earthquake deduced from strong motion seismograms, Bull. Seism. Soc. Am., 78, 1074-1091.

武尾 実(1989):1974年伊豆半島沖地震の破壊過程, 地震, 42, 59-66.

(原稿受理:1997年7月14日)

(注)写真は次ページ以降に掲載

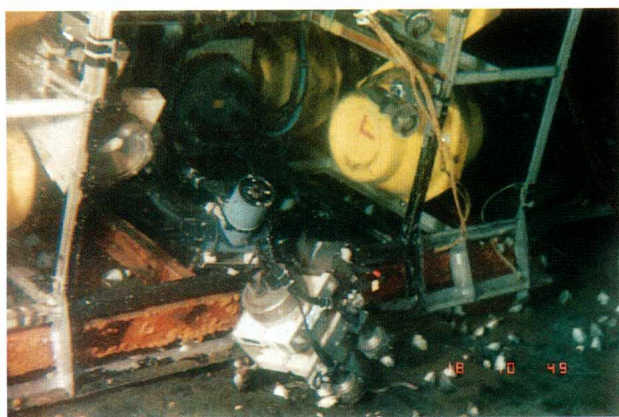


写真 1 ステーションのカメラ
Photo 1 TV cameras of the station



写真 2 ステーションによる海底の映像 (1997 年 3 月 3 日
22 : 30 : 20)
Photo 2 Video image taken by the camera of the station (22 :
30 : 20, March 3, 1997).

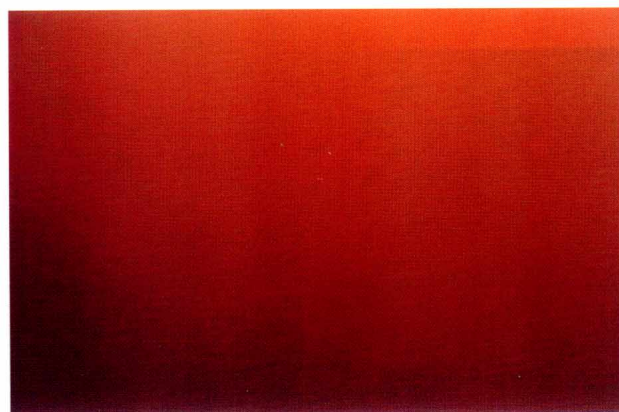


写真 3 ステーションによる海底の映像 (1997 年 3 月 3 日
23 : 43 : 12)
Photo 3 Video image taken by the camera of the station (23 :
43 : 12, March 3, 1997).



写真 4 ステーションによる海底の映像 (1997 年 3 月 4 日
01 : 21 : 34)
Photo 4 Video image taken by the camera of the station (01 :
21 : 34, March 4, 1997)



写真 5 ステーションによる海底の映像 (1997 年 3 月 4 日
11 : 03 : 36)
Photo 5 Video image taken by the camera of the station (11 :
03 : 36, March 4, 1997)



写真 6 ステーションによる海底の映像 (1997 年 3 月 4 日
13 : 00 : 04)
Photo 6 Video image taken by the camera of the station (13 :
00 : 04, March 4, 1997)



写真 7 ステーションによる海底の映像 (1997 年 3 月 4 日 15:18:50)

Photo 7 Video image taken by the camera of the station (15:18:50, March 4, 1997)



写真 8 ステーションによる海底の映像 (1997 年 3 月 5 日 21:15:50)

Photo 8 Video image taken by the camera of the station (21:15:50, March 5, 1997)



写真 9 ステーションによる海底の映像 (1997 年 3 月 5 日 23:38:18)

Photo 9 Video image taken by the camera of the station (23:38:18, March 5, 1997)



写真 10 ディープ・トウで観察された堆積物の巻き上げ (1997 年 4 月 19 日 08:21)

Photo 10 Slip of surface sediments observed by the deep-tow camera (08:21, April 19, 1997)