

駿河トラフの海底直上における流れの測定

緑川弘毅^{*1} 門馬大和^{*1} 満澤臣彦^{*1} 堀田 宏^{*1}

深い海の底付近の流れを測定し、同時に海底面を観察するため、フレームに流速計やカメラ、切離し装置付のトランスポンダーなどを装備して海底に設置した。

駿河トラフ底直上に約2昼夜の流れと20分間隔の海底の写真が得られた。流れは潮汐に対応した1日周期の最大1ノットを超える湾口に向う流れが記録され、底質が激しく洗掘されている様子も、撮影された写真からわかった。本計測では、流れは湾に向かって弱く、湾口に向かって強かった。

当海域の中層から下層、特に、水深1000mから海底の2000mに至る層の塩分値はほぼ均質であった。これはトラフ底における強い潮流により、鉛直方向に1000mを超えるスケールの混合が行われたものと推定される。深い海の底付近では、これまで10cm程度の流れであろうと考えられていたが、局所的には沿岸の汀線付近と同様の物理的現象が起ることが分った。

Measurement of the Deep-sea Current near the Bottom in the Suruga Trough.

Koki MIDORIKAWA^{*2} Hiroyasu MOMMA^{*2}
Kyohiko MITSUZAWA^{*2} and Hiroshi HOTTA^{*2}

A frame equipped with current meters, a deep sea camera, buoys, and an acoustic transponder, etc. was set on the sea floor in the Suruga Bay by free fall. Measurement of the deep sea current at 25cm above the bottom and sediment moving associated with the current was visually surveyed simultaneously by the camera. The maximum velocity of the current was over 50cm/sec toward the mouth of the bay at the beginning of ebb-tide.

It was found that sediments on the sea floor were scoured by the strong current which might be associated with the tide, the salinity gradient decreased, and the water from intermediate layer to the bottom became nearly homogeneous as the result of mixing.

^{*1} 海洋科学技術センター

^{*2} Japan Marine Science and Technology Center

1. はじめに

海底付近の海水の流動は底質の移動と密接な関係にあり、これらの調査は海洋工学上はもちろんのこと海洋学上においても有意義なことである。特に深い海の流れによる底質の移動を調べることは、定常的な長い年月の底層の流れの痕跡をたどることであり、海洋学上興味深い問題である。また、深層における流れは海底地形の影響を受けて栄養塩類に富んだ中層水の浮上をもたらすことも考えられ、水産への影響も大きいものと推測される。深度の大きな海域における流れは熱輸送にも関連するものであり、気象学上も重要なことである。

流速計の係留による深層の流れの測定の例は近年では四国海盆 (Fukasawa et al., 1986)、北太平洋 (Imawaki et al., 1984) そして南海トラフと相模トラフ (Taira and Teramoto, 1985) などがあるが、海底固定による海底直上の深層流の測定では偏位型流速計による北太平洋海盆や相模湾 (Okazaki, 1984 and Sasaki et al., 1965) などである。

これまでに報告されている深層の流速値は、そのほとんどが毎秒数cmから十数cmであり、相模トラフでの海底上方7mで得られた最大流速値47cm/sec は際立ったものであった (Taira and Teramoto, 1985)。海底直上における流れは、境界層におけるある値を知れば得られるといわれている。しかし、実際には底質の粒度の違いや海底の地形や起伏のために期待通りにはならず、直接の測定が必要である。

そこで、流速計をフレームに組込んで海底に設置し、流れを測った。また同時に、流れによる底質形状の時間的変化を写真に収めるため、フレームにはカメラやストロボも装備した。装置の設置海域は前回潜航調査を行った駿河トラフ底 (Midorikawa and Matsumoto, 1986) の北々西約1kmのさらに狭くなった点である。

これらの結果について報告を行う。

2. フレームの製作

流速計やカメラを組込んだフレームは、海面から自由落下で設置する場合と、吊り下げた曳航カメラの下部に設置する両方を想定して設計を行っ

た。そのためには浮上用のブイもフレーム内部に収納し、簡素化に努めた。切離し装置付トランスポンダーはフレームの中央部に水平に取り付けた。このような用途に従って製作したフレームの大きさは長さが170cm、高さ、奥行き共に110cmで自重が69kg、機器を装備して300kg、それに切離し用重錘95kg、合計395kgの空中重量となった。装置の海底上における設置重量は、50kgで、切離し時の浮上力は33kgとなった。

流速計は超音波式の外にアーンダーラ流速計も装備した。写真1の中央部が超音波式流速計で、センサーは下向きになっている。流速計の一对の素子間の中点は底面から約25cmの高さにある。

3. 設置作業

装置の設置は船上からクレーンで海面まで吊り降ろし、フックを切離して水中を自由落下させて行った。1987年10月28日18時12分に装置の沈降が始められ、18時54分に42分間で着底した。設置された海域は駿河トラフ ($34^{\circ} 43.2'N$, $138^{\circ} 35.0'E$, 図1参照) の水深1970mの海底である。

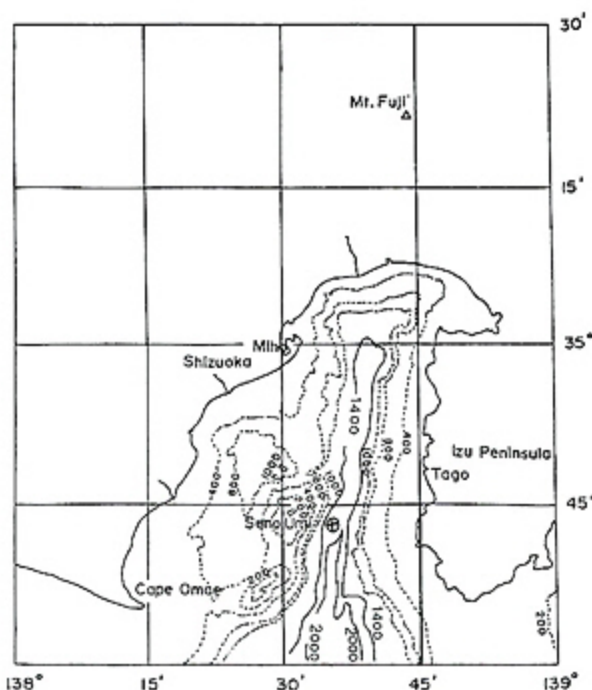


図1 駿河トラフにおける計測点 (⊕印) と湾内の等深線

Fig. 1 Map showing the isobath in Suruga Bay with the location (⊕) of station.

装置の着底時刻は船上におけるトランスポンダーからの応答による落下速度の変化で認められたが、後日流速計の記録によっても確認できた。また、沈降時におけるフレームの姿勢についても超音波流速時計の三次元流向から概略の測定を行った。流向はほぼ鉛直上向で一定しているので、フレームはほとんど傾かない状態を着底まで保ったと考えられる。フレームの向きについては、流向が80度方向から240度方向の間を2.5往復し、見かけ上の水平流速値は15cm/sec程度であった。このことからフレームは沈降しながら南々東に流されたことが分かる。装置の投下時の船位によると、装置は同方向に1海里移動したことになる。

装置の着定時における底層の流速は16°方向に35cm/secであった。装置の降下に要した時間は42分間で、平均の沈降の速さは78cm/secであった。また流速計に記録された流れの鉛直成分は77cm/secであった。

4. 潜航調査

装置の海底設置状況と環境の観察のため、潜水船による潜航調査を行った。潜航は装置の設置の2日後の10月30日に実施した。

潜水船は、母船からの音響航法装置(SSBL)による位置の情報を受けて装置の方向へ接近し、フレームに組み込まれたトランスポンダーを利用した音響方位探知機によりさらに接近し、CTF Mソナーによりフレームの反射映像を見つけ、最後に装置につけたフラッシュライトを目視する順に行なった。

潜水船「しんかい2000」による潜航を30日9時42分に開始し、11時11分に母船からの知らせにより、フレームの北方350m、水深1930mで海底上方40mに達したことを知った。その点でトリム調整を行って南に航走し、途中で、フレームに設置されていたトランスポンダーの音響信号に反応し接近した。

潜水船の推進器を11時28分から32分までの4分間停止させたが、その間に船は約30mをほぼ真北へ流された。11時46分、すなわち潜航開始後3時間と4分後に装置に取付けてあったフラッシュライトを発見し、11時54分に装置の傍に着底した。

フレームは装備されたカメラを北西に向けて、

ほぼ平坦な海底にフレームの底部を5cmほど埋没させて設置されていた。写真2は潜水船が向かい合って撮影した装置のカメラの部分である。船内から超音波流速計の作動は確認できたが、ストロボの電池は発光が弱く消耗していたようであった。

装置の周辺の状況は潜航記録の海底状況に、底質、礫まじりの泥、視程3m、水温1.98°C、潮流320度方向へ0.2kt、とあったように、異状に多いマリンスノーにより視程は悪く、海底面は浮泥で覆われていた。海底は平坦面が広く、西に500m進んで10m高くなった程度であった底面は小さな砂紋で、表泥の下は細砂になっていて、潜航調査時には当トラフ底では強い流れは生じることがないように見えた。

装置は潜航観測中にコマンド信号により切離し装置を作動させ、沈錘の棒を海底に残して目前から浮上させた。

5. 観測結果

(1) 流れ

設置を行った流速計や写真の記録を見て、流れや海底面の状態が潜航時とは全く異っていたことが分った。28日から30日までの約2昼夜の間に1kt前後の流れが二度有って、海底面の写真には強流による洗掘の様子が映っていた。

図2には、2分間隔で得た超音波流速計の記録から1時間毎のベクトルを示した。1日に1回の南に向う強い流れが生じている。下側は潮位を示したものであるが、月齢は11月1日が下弦で日潮不等が大きく1日周期が目立っている。流れも潮汐に対応しているように見え、調和解析の結果も約1日の周期が際立っている(図3)。

(2) 海底面の状態

写真3は28日22時9分における海底面の状態で、強い流れが右前方から左後方に向っている様子が分る。前に述べたように、カメラは北西を向いているので流れは南向きである。

写真4は写真3の次の画面に当たる22時29分の同処の海底面である。写真3に比べて画面が2割ほど左に移動しており、これはカメラの向きが少し右に傾いたのであるが、フレームの流れの上側が洗掘により下ったことによるものである。

写真5は潜航時に撮影した写真3、4と同処の

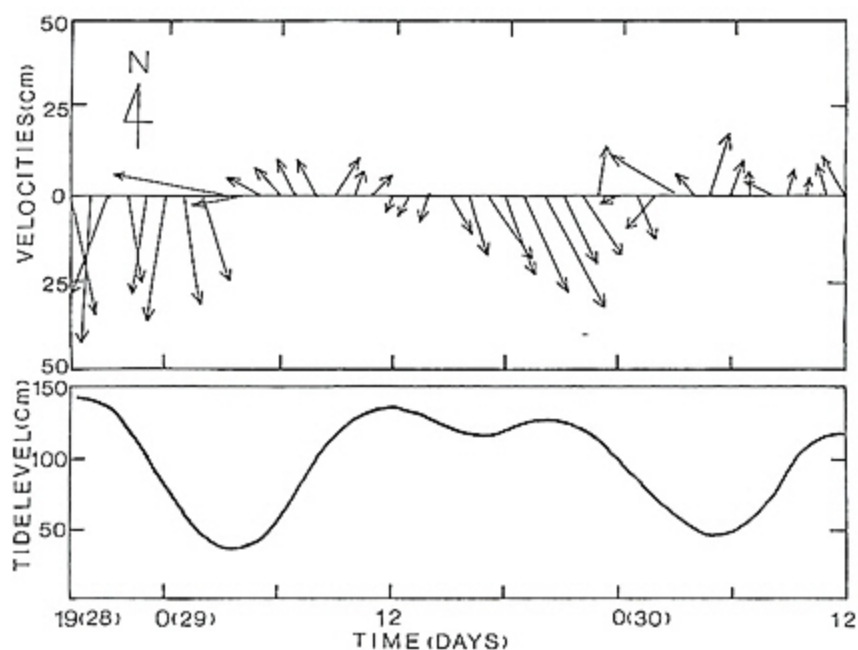


図2 駿河トラフ海底上約25cmで得られた流れのベクトルと潮位。

Fig. 2 Time series of hourly mean velocities measured at 25cm above the bottom in Suruga Trough and the tide in October, 1987.

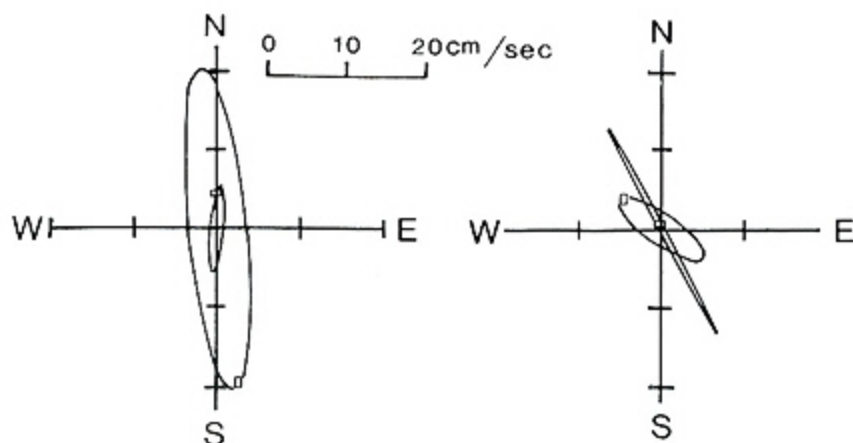


図3 測流の全計測期間の約前半(左)と後半(右)を使用した流速楕円, 大きい楕円が1日周期である。

Fig. 3 Current ellipses estimated by the data shown in Fig. 2. Longer ellipses; the current of diurnal period.

海底面であるが、様相が一変していることが分る。海底に設置されたカメラはストロボの電池切れで同日の3時頃で終わっているが、その頃から海底表面には浮泥の堆積が始まっていた。

もう一度図2をみると29日の4時頃から13時頃までは、転流後の弱い流れになっているが、その間の写真には潜航時のような浮泥の堆積はみられなかった。

(3) 水 質

図4に示された二つのT-Sダイアグラムは駿河トラフにおいて潜航調査を行ったさいのもので、右が本観測時の図で左がその南々東水域(34°42.5'N, 138°36.0'E)で1985年4月のものである。両海域ともに水深は1970mである。

左側のT-Sダイアグラムの形は当湾や相模湾でよくみかける形で、中層の水深600m程にみられる塩分極小値は34.20~34.30‰ほどで、北太

平洋の平均値よりは0.20‰ぐらい高くなっている。海底付近の水温は2°C前後で、塩分値は34.65‰程度である。

しかしながら、今回の観測におけるT-Sダイアグラム(右側の図)では、中層における塩分極小も明瞭でなく、全体的に直線的で異常な状態を感じさせる。また同図の水深600~300mの水質を示す白ぬき三角記号と600m以深を示す黒三角記号が一部分混在している。

(4) 底 質

計測装置の設置周辺の2点で柱状採泥を行い、各種の分析を実施した。主なる結果を表1の下二段に、日本近海の底質分析値(環境庁, 1975)から深度の大きい海域のものを選んで一諸に掲示した。

他海域に比べて当駿河トラフでは圧倒的に砂(中央粒径は0.155mm)が多く、したがって、含水率、

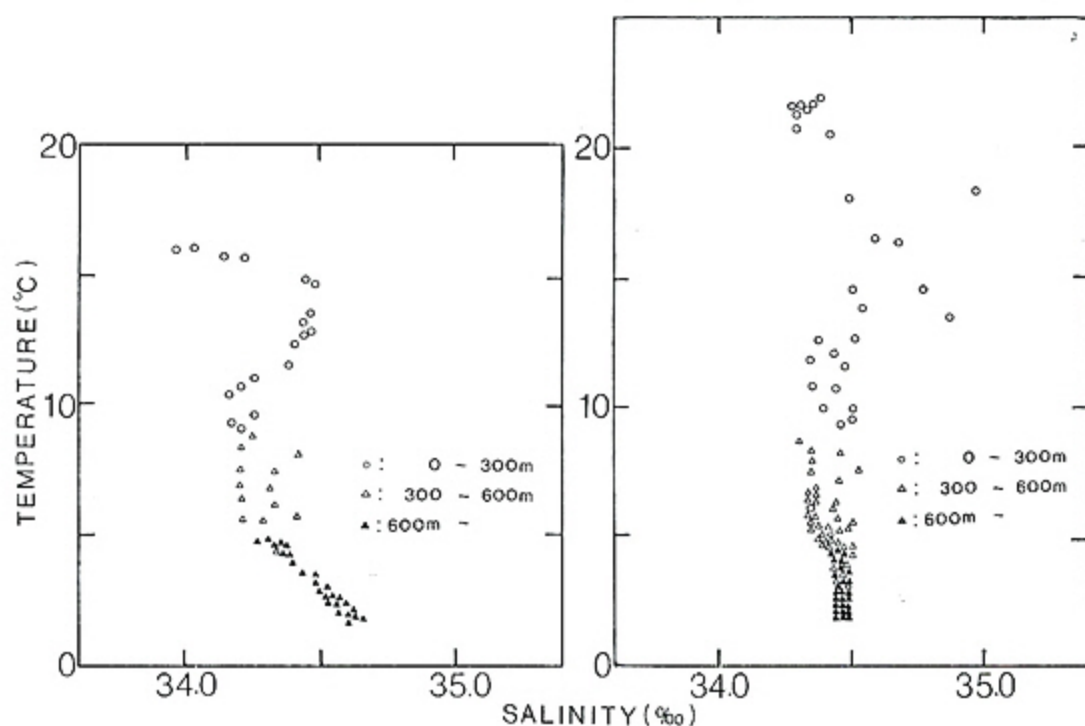


図4 駿河トラフにおけるT-Sダイアグラム、1985年4月(左)と今回(右)の潜航調査時におけるもの。

Fig. 4 T-S diagrams for the water masses measured in different terms, at the stations of the depth of 1970 m off Mastuzaki in Suruga Trough; Left in April, 1985 and Right in October, 1978.

表1 日本海の底質（環境庁，1975）と駿河トラフの底質

Table 1 Results of sediment analysis

海 域	採泥 水深 (m)	分析内容		比 重	粒 度 組 成				底質の分類
		含水率 (%)	強 熱 減 量 (%)		礫 分 (%)	砂 分 (%)	シルト分 (%)	粘 土 (%)	
日本海青森沖	3,050	47.0	5.01	2.70	1	12	52	35	粘土
太平洋青森沖	1,810	33.2	3.66	2.51	4	56	19	21	砂質粘土ローム
太平洋関東沖	2,700	39.8	4.15	2.58	0	22	69	9	シルト質ローム
太平洋徳島沖	1,310	52.9	8.27	2.58	0	3	49	48	粘土
沖縄南西海域	2,100	37.7	6.45	2.77	0	34	33	33	粘土
日本海山陰沖	1,760	60.2	8.43	2.67	0	1	42	57	粘土
" "	2,150	58.6	8.43	2.50	0	3	62	35	シルト質粘土
駿河トラフ	1,970	24.5	2.9	2.67					砂質
" "	1,970	24.7	2.7	2.66	0.4	74.2	16.9	8.5	砂質

強熱減量，シルトの割合は少ない。KMnO₄消費量は1.3～1.4mg/g（乾泥）と少なかったが，前回の計測（1985年）では4試料の年均价が6.5mg/g（乾泥）であった。

この外に，X線回折による鉱物分析を行ったが，結果は石英が多く，次いで斜長石，緑泥石の順であった。

6. 考 察

潜航調査によって確認された浮泥の堆積は当日早朝の転流時に始まって居り，2時49分の画面は浮泥あるいはマリンスノーで不明瞭になっている。残念ながら装置に設置されたカメラによる底質の状態は，ストロボの電池の消耗により潜航時までの継続写真には記録されていなかった。浮泥の堆積は，転流したり，流れが弱くなる度毎に生じるのではない。それは29日の20分間隔の72枚の明瞭な写真を良く見ても，表泥の堆積が殆んどなかったことから明らかである。

しかし，強流により海底から中層にかけて，かなりの規模の鉛直方向の混合が考えられる。潜航時における中，下層の大変悪かった視程からも推定できるが，T-Sダイアグラムがその様子を良く説明している。駿河湾における中層の水は垂寒

帯中層水が少し変質して，その塩分極小値が少し高くなった形になっている（図4の左側）。それが潜航時にはそのような極小もなくなって，34.40‰前後のほぼ直線に収まっている。

一般に太平洋側沿岸域の下層における水は，水深が1,000mを超えると塩分値が急激に増加する。沖合の深海域に塩分濃度34.68‰といわれる南極起源の底層水が在るためである。駿河湾の湾口付近のトラフ底にも，南極起源の底層水の変質した水が流入していると考えられている。水深2,000mの駿河トラフ底においては，北太平洋の5,000mの海底を流れる底層水の塩分値，34.67‰には及ばないが，34.60‰を越える値にまで延び込んでいる（図4の左側）。ところが本潜航時におけるトラフ底上の水深1,000mから2,000mの間を占めている水は，温度差が両端で2℃の差があるが塩分値は殆んど一定値（34.40～34.50‰）である。このことは駿河トラフの下層において，水深1,000mから2,000mに至る少なくとも厚さ1,000mに及ぶ規模の混合が生じている一つの証拠を示すものと考えられる。

本計測点の約1km北側における1985年の潜航調査では，互いに600m離れた2点での流向が逆であった（Midorikawa and Matsumoto, 1986）。

流れは弱いものではあったが、このことはトラフ特有の地形によるもので、海面におけるよりも複雑な形で、時として本調査の例のように激しい流れが生じ、それによって混合も生ずることを示唆するものと考えられる。

海底における強い流れの原因としてあげられる外力は、潮汐力、黒潮変動、あるいは気圧変動などの大きい規模のものに限定される。それ以外の海面の流れや沿岸海洋の海況変動が、水深2,000 mの海底にその影響を及ぼすことは考えにくいからである。本論の観測結果の流れについてのところで述べたように、流れは潮汐と良く対応している。本計測時には、それ以外に大きい規模の海洋変動、あるいは気象変動はなかったため、これらの流れは潮汐が湾口付近のトラフ底に、海底地形による絞り効果とあいまって急潮を生じたものと考えられる。

本研究の目的である水深2,000 mにおける海底直上の流れと底質の移動は確認された。洗掘の後に浮泥が堆積したことは認めたが、持ち去られた砂が戻されるのかどうか分からない。戻されるためにはより強い流れの入り込みが必要な筈である。

最後に流速値の鉛直成分について触れておきたい。超音波流速計の鉛直成分は、計測期間中常に下向きで、ベクトルの伏角は水平流の強いときは小さく、反対に弱いときには大きかった。したがって、流れの鉛直成分の変動は、水平流の変化に比べてあまり大きくはなく、2～5 cm/secの範囲であった。これは、フレームの上部に取付けられたブイ等の障壁による効果と考えられる。

謝 辞

本実験にさいしては調査船「なつしま」の乗員の方々、運航部の運航要員の諸氏、深海研究部の橋本 惇副主幹、松沢誠二研究員の御助力を戴きました。これらの方々に深くお礼を申し述べます。

参 考 文 献

- Fukasawa, M., et al., 1986, Abyssal current along the northern periphery of Shikoku Basin, J. Oceanogr. Soc. Japan, 42, 459-472.
- Imawaki, S., et al., 1984, Mesoscale current fluctuations observed in the deep western North Pacific, J. Oceanogr. Soc. Japan, 40, 39-35.
- Midorikawa, K. and Matsumoto, T., 1986, On the Relation between Deep Sea Currents and Bottom Sediments. The 2nd Symposium on Deepsea Research (JAMSTEC), 107-114.
- Okazaki, M., 1984, Observation of deep ocean bottom currents. La Mer, 22, 89-128.
- Sasaki, T., et al., 1965, New current meters for great depth. Deep-Sea Res, 12, 815-824.
- Taira, K., and Teramoto, T., 1985, Bottom Currents in Nankai Trough and Sagami Trough. J. Oceanogr. Soc. Japan, 41, 388-398.

(原稿受理 1988年5月12日)



写真1 計測器を組み込んだ装置

Photo. 1 A frame equipped with current meters, a deep sea camera, buoys and an acoustic transponder.

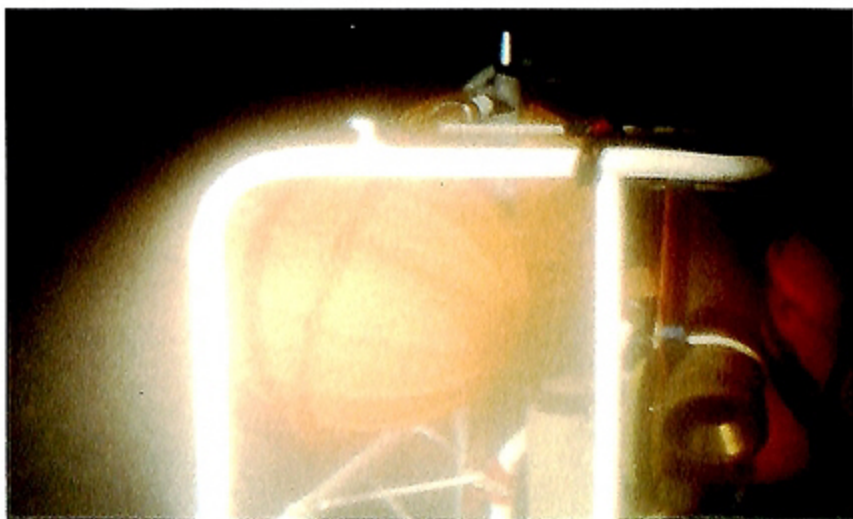


写真2 駿河トラフ底に設置された装置

Photo. 2 The equipment set on the sea floor in Suruga Bay.

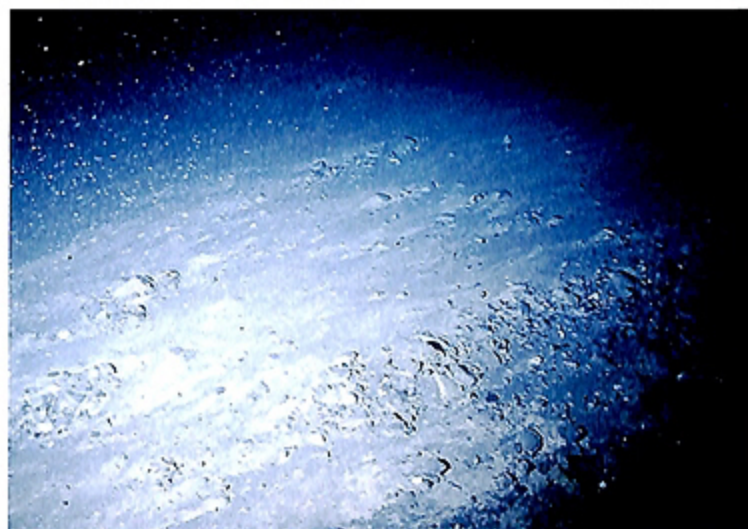


写真3 海底に設置されたカメラによる
海底面

Photo. 3 A sea floor scene taken
through the camera set
on the sea floor.

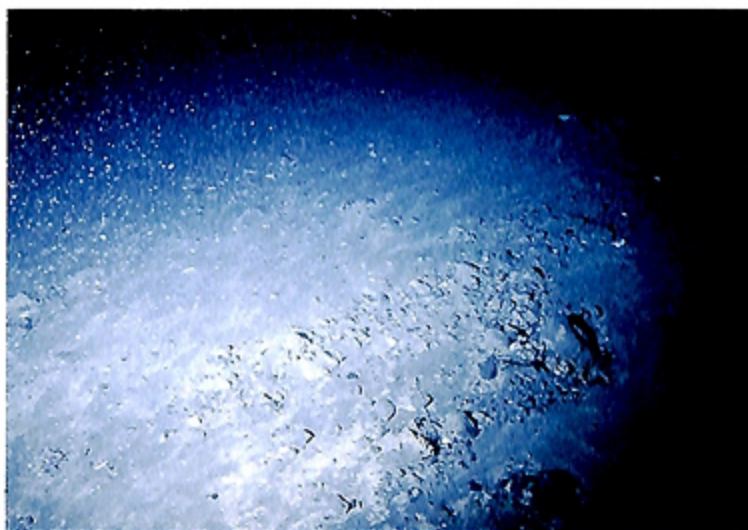


写真4 洗掘によりフレームに固定され
たカメラが傾き、画面が移動する。

photo. 4 The sight was moved
to left due to inclination
of the frame by scouring.



写真5 上と同じ処に浮泥が堆積した状
態。

Photo. 5 The sea floor of the
same place shown above
(Photo. 3,4.) was depositing
by suspended load.