

潜水調査船を用いた海底表層堆積物中のタービダイトの古流向解析：北海道西方奥尻海盆の例

池原 研*¹

深海堆積物中の地震性堆積物を用いた古地震研究のための基礎研究として、潜水調査船を用いた地震性堆積物の古流向解析手法の検討を行った。試料は、1993年北海道南西沖地震の地震性堆積物の分布が報告されている北海道西方日本海の奥尻海盆から採取した。「しんかい2000」で通常使われている柱状採泥器に色の異なるビニールテープを90°ごとに貼り、採取時の潜水船の Heading と潜水船に正対するテープの色を記載することにより、定方位試料を採取した。この定方位試料を X線CT装置により非破壊で内部構造を観察し、古流向が解析できる。採取された試料は、タービダイト層がないか非常に薄く、また試料処理時の変形が著しいため解析にたえられなかったが、潜水船を用いた定方位試料の採取と非破壊内部構造解析の手法は確立できた。

キーワード：古流向解析，タービダイト，潜水船，奥尻海盆，北海道南西沖地震，日本海

Paleocurrent analysis of deep-sea turbidites collected by submersible: An example from the Okushiri Basin, northern Japan Sea

Ken IKEHARA*²

To understand the depositional system of deep-sea seismo-turbidites occurred in relation to 1993 Hokkaido-Nansei-Oki Earthquake, paleocurrent analysis was carried out for samples collected by submersible "Shinkai 2000". Core samples were collected by using usual core sampler with plastic tapes of different color every 90 degree. Heading of the submersible and color of the tape faced to the submersible was recorded to determine the direction of the core. Internal sedimentary structure of the orientated core samples was observed by using X-ray CT scanner destructively. High deformation during the sample preparation on the mother ship and no or thin turbidite layer, unfortunately, prevented the paleocurrent analysis for the cores. Methodology for the collection of the orientated sediment core sample by submersible, and for undestructive observation of its internal structure, however, is developed by this study.

Keywords : paleocurrent analysis, turbidite, submersible, Okushiri Basin, Hokkaido-nansei-oki Earthquake, Japan Sea

* 1 地質調査所海洋地質部

* 2 Marine Geology Department, Geological Survey of Japan

1. はじめに

巨大地震による海底の振動はしばしば、海底斜面の崩壊現象を引き起こす。堆積物に覆われた斜面では、振動により堆積物の間隙水圧が上昇し、流動化が起こって斜面が崩壊する。堆積物に覆われていない斜面では、露出する岩石が崩落する現象が起こる。いずれの場合にも、斜面下部から斜面前部の海盆底には斜面から重力によって移動させられてきた物質が堆積することになる。このような重力流堆積物の代表がタービダイトや水中土石流堆積物である。海域や沿岸・臨海域で巨大地震がある間隔で繰り返し起こるような場所では地震による重力流堆積物の形成も繰り返し起こることが予想され、通常時には半遠洋性の泥質堆積物が堆積するような場では、巨大地震の記録は海底堆積物中に重力流堆積物として残されることが期待される。太平洋プレートの沈み込み帯沿いに位置する日本列島周辺では、太平洋プレート、フィリピン海プレートとユーラシアプレート、あるいは北米プレートの境界である千島海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝、南海トラフ、琉球海溝と巨大地震の発生源となる沈み込み帯（海溝）が存在する。また、日本海東縁はユーラシアプレートと北米プレートの間に新たな沈み込み帯が形成され始めているという指摘もある（小林，1983；中村，1983）。実際これらの場所においては、巨大地震が繰り返し起こっており、大きな被害を与えている。1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）をきっかけとして、大きな地震災害を軽減させるための理学・工学両面での研究に対する社会的要請が増大し、それぞれの場所におけるより正確な地震動の解析と地震履歴の解明が求められてきている。海域で発生した巨大地震は、陸上における古文書記録や津波・地盤の液状化として記録される場合がある（寒川，1992，1998など）。しかし人口の少ない地域や開拓後間もない地域では、古文書記録は非常に限られており、地震動や津波の自然界の中での記録をいかに正確に読み取るかが地球科学者に与えられた一つの問題である。振動により変形させられた堆積物やサンドダイクやサンドボルケーノ（砂火山）に代表される液状化した堆積物（Clague et al., 1992；寒川，1992，1998など）、沿岸・臨海低地や河川沿いに残された津波堆積物（Atwater, 1987, 1992, 1996；Clague and Bobrowsky, 1994；Minoura and Nakaya, 1991；Minoura et al., 1994；西村・宮地，1994；七山・重野，1998など）、沿岸域の地盤の低下による海水の侵入に代表されるような地震に伴う地盤の上下動に関係した堆積環境の変化（Atwater, 1987, 1992, 1996など）、海底斜

面の崩壊に伴うタービダイトや水中土石流の堆積（Adams, 1990, 1996など）など、いわゆる“地震性堆積物”の研究は、自然界の記録をより正確に解説することを目指している。

このような堆積物中の地震記録の解説とこれを用いた地震履歴の解析のためには、大きく2つの視点から研究を進める必要がある。一つは、堆積物中のどのようなものが地震の記録であるのかを明確にするものである。これには最近の地震やそれに伴うイベントがどのように堆積物中に認められるかを明らかにすることが有効である。例えば深海底の地震性タービダイトで見れば、本震の震源位置や規模、余震の範囲や規模が明らかな最近の地震について、どのような粒度・層厚・堆積構造をもつタービダイトがどのように分布しているかを明らかにすることは過去のタービダイトからの地震イベントの推定に非常に有効である。もう一つは、堆積物中の地震イベントの発年代を精度よく求めることである。最近の地震イベントの年代推定には、年代既知の火山灰層や放射性炭素年代測定が一般に用いられるが、古地磁気永年変化パターン（セキュラーバリエーション）、微化石群集組成の変化なども用いられることがある。実際には、これらの年代測定法を組み合わせ、より精度の高い年代目盛を入れることが重要となる。

一方、深海底のタービダイトは地震以外の原因によっても発生しうる。例えば、洪水などによる河川からの大量の土砂供給や暴風時の大きな波浪などもタービダイトの形成原因である海底の崩壊現象を引き起こす（大塚ほか，1973；大草，1984；大草ほか，1987）。したがって、得られた堆積物試料中に認められるタービダイトがどのような原因で形成されたのかは、対象地域の堆積作用の詳細を把握しない限り、正確に論ずることは困難である。また、巨大地震イベントでは本震に引き続き数多くの規模の大きい余震が発生することが多く、タービダイトが地質学的には一瞬の間に複数形成されたり、複数の斜面から一つの場所に供給されることがありえる。最近の海洋音響機器の日覚ましい発展は、最近の地震による海底斜面の崩壊現象の詳細を、高精度海底地形記録、サイドスキャンソナーによる音響イメージ、高周波数音源を用いた音波探査記録などの組み合わせにより三次元的に把握可能にした。このような高精度の地形・地質データと堆積物データを結び付けることにより、ある地震イベントによって、どこの斜面がどのように崩壊し、どのように運搬されて、どこにどのように堆積したのか、という地震性堆積物の堆積機構の詳細が把握できる可能性があ

る。特に、地震性堆積物の堆積構造や堆積物粒子配列を用いた古流向解析は、海底斜面の崩壊物がどこからどのようにやってきたのかの有力な手がかりを与えると期待される。しかし、通常の調査船を用いた堆積物の採取では、崩壊物の堆積域のどのような場所からそれが採取されたのか必ずしもはっきりしなかった。崩壊物の古流向はより局所的には海底の微小な地形やベッドフォームに影響されると考えられるので、数～数十m規模の海底微地形と採取物との正確な関係の把握には潜水調査船を用いて海底微地形を把握しながら堆積物を採取することが有効であると考えられる。この結果と通常の調査船を用いた調査研究とを有機的に組み合わせることにより、より精度の高い地震性堆積物の研究が推進されると考えられる。

ここでは、1993年北海道南西沖地震による地震性堆積物が広く分布することが知られている北海道西方日本海（奥尻島周辺）のうち、海底地形と海底音響イメージ、表層地層探査記録が整備され、表層堆積物の採取結果からその最表層に地震性堆積物が分布することが知られている奥尻海盆の北端部において潜航調査から、地震性タービダイトの堆積構造と古流向解析のための基礎研究の結果について述べる。

2. 潜航調査場所と従来の研究結果

潜航調査は「しんかい2000」の第968潜航として1997年8月13日に行われた（表1）。潜航調査場所は、北海道渡島半島と奥尻島の間位置する奥尻海盆の北端部の海盆底である（図1）。潜航調査は奥尻海盆北部に開口する

潜航地点	北部日本海奥尻海盆 北緯 41°56.5' 東経139°47.0'		
潜航日	平成9年8月31日		
観察者	池原 研		
船長	伊藤一寿		
船長補佐	松本忠太		
潜航開始時間	8:54		
着底時間	9:56	着底水深	1,270 m
離底時間	14:23	最大水深	1,275 m
浮上時間	15:13		
潜航時間	6:19		

表1 「しんかい2000」第968潜航の概要
Table 1 Description of "Shinkai 2000" Dive #968

多数の海底谷のうち、最も大きな大成町沖から南に延びる海底谷が海盆底に達した部分である。海上保安庁水路部と東京大学海洋研究所により得られたサイドスキャンソナー（イザナギ）による音響イメージでは、海底谷が海盆底に達したところで堆積性の波状地形であるセディメントウエーブが発達し、強い散乱強度を示すローブ状地形が認められる。さらにこのローブ状地形は、海底谷の西側斜面から延びる線状構造によって切られていることが分かる。したがって、このローブ状地形自体は海底谷由来の重力流堆積物により最近形成されたこと、そしてその後の海底谷からの流れ（重力流）によって侵食されている可能性があることが分かる。一方、地質調査所の調査航海により採取された海底堆積物表層試料と表層地層探査記録では、海底面付近に砂質堆積物の存在を示している（井内ほか、1995、1996；片山ほか、1997；池原・井内、1998）。そして、奥尻海盆の南部に向かって、砂質堆積物の粒度や厚さは減少すると共に、音波探査記録の透過深度は深くなっていき、底質の細粒化（泥質化）を示している。このことは、奥尻海盆に供給される砂質堆積物（重力流堆積物）のほとんどが北部斜面域の海底谷からのものであることを想像させる。実際上記のイザナギ音響イメージでは、北部の複数の海底谷前面の海盆底にローブ状地形が認められ、重力流堆積物の供給源が複数であることを示している。

潜航調査場所は、イザナギ音響イメージに認められる音響的層相を考慮して決定した。潜航調査では1回の潜航で航走できる距離に制限があるため、今回は顕著な堆積域であるセディメントウエーブの発達したローブ状地形の地域をウエーブの峰の方向にほぼ直角に航走した後、進路を変え、このローブ状地形を切る線状構造を横切って、海底谷の延長方向に長軸をもつ筋状の記録が認められる地域までの海底微地形を観察すると共に、各地域における定方位堆積物試料を採取することとした。実際の観察は時間などの関係から、線状構造を確認するまでしか行かなかった。

3. 潜航調査の概要

潜航調査は奥尻海盆北部の海盆底の北緯41°55.77'、東経139°47.08'、水深1,270mの地点（図2の地点A）に着底し、これより北北西に進み、北緯41°56.53'、東経139°46.49'付近から北東に進路を変え、北緯41°56.62'、東経139°46.70'、水深1,244mにて離底した（図2の地点H）。観察した範囲の海底は生物擾乱の見られる泥に覆われていた。ブロック状の堆積物の塊や流木が数カ所で

認められた。流木の長軸の方向はさまざまで、ほぼ南北から北東-南西、東北東-西南西、東西のものが認められる(図2)。海底地形としては、東北東-西南西の軸を持つ緩やかなうねり状の地形や崩落崖と考えられる小屋(図2の地点E)のほか、離底点近くでは南北に延びる小屋の連続(地点G)が認められた。また、地点Cでは骨状の物体(写真1)を確認した。

観察された海底地形から、波長500m程度の非常に緩やかな波状地形が認められた。波状地形の比高は大きくなく、せいぜい数mの規模である。より小さな潜水船の窓から確認できる程度の波状地形も認められるが、地形はあまり明瞭でない。このような波状地形の延びの方向はおおむねイザナギ音響画像に認められるセディメントウェーブの延びの方向に一致している。大きな波状地形は、イザナギ音響イメージに認められる波状地形に対応するものと考えられる。地点D(緑)とF(青)では柱状採泥器により堆積物の採取を試みた。その両方で最表層の泥質堆積物の直下に砂質堆積物の分布を認めた。既

存のデータから考えると、北海道南西沖地震時のタービダイトである可能性が高い。しかし、地点Fでは十分に採泥器が貫入せず、柱状試料としては採取できなかった。柱状採泥器のホルダーの中に残されていた堆積物の粒度も参考にすると、海底谷に対して下流側の地点Dでは極細粒砂からなるが、上流側の地点Fでは細粒-中粒砂からなり、やや粗粒である。しかし、採泥試料中の砂質堆積物の厚さは薄く、イザナギ音響イメージの波状地形がこのタービダイトに関係して形成されたとは考えづらい。過去の地震時に発生した乱泥流により形成されたセディメントウェーブの表面に北海道南西沖地震時のタービダイトが薄く堆積しているものと推定される。泥質堆積物の表面に認められる流木は一部埋もれており、イソギンチャクが付着しているものもある(地点B、写真2)。地点Eでは崩落崖の上に明らかに人工物である角材(クギが認められる)が確認された(写真3)。これらの流木・角材の起源は不明であるが、表層の泥質堆積物に完全に覆われていないことから、地震時あるいはそれ以降

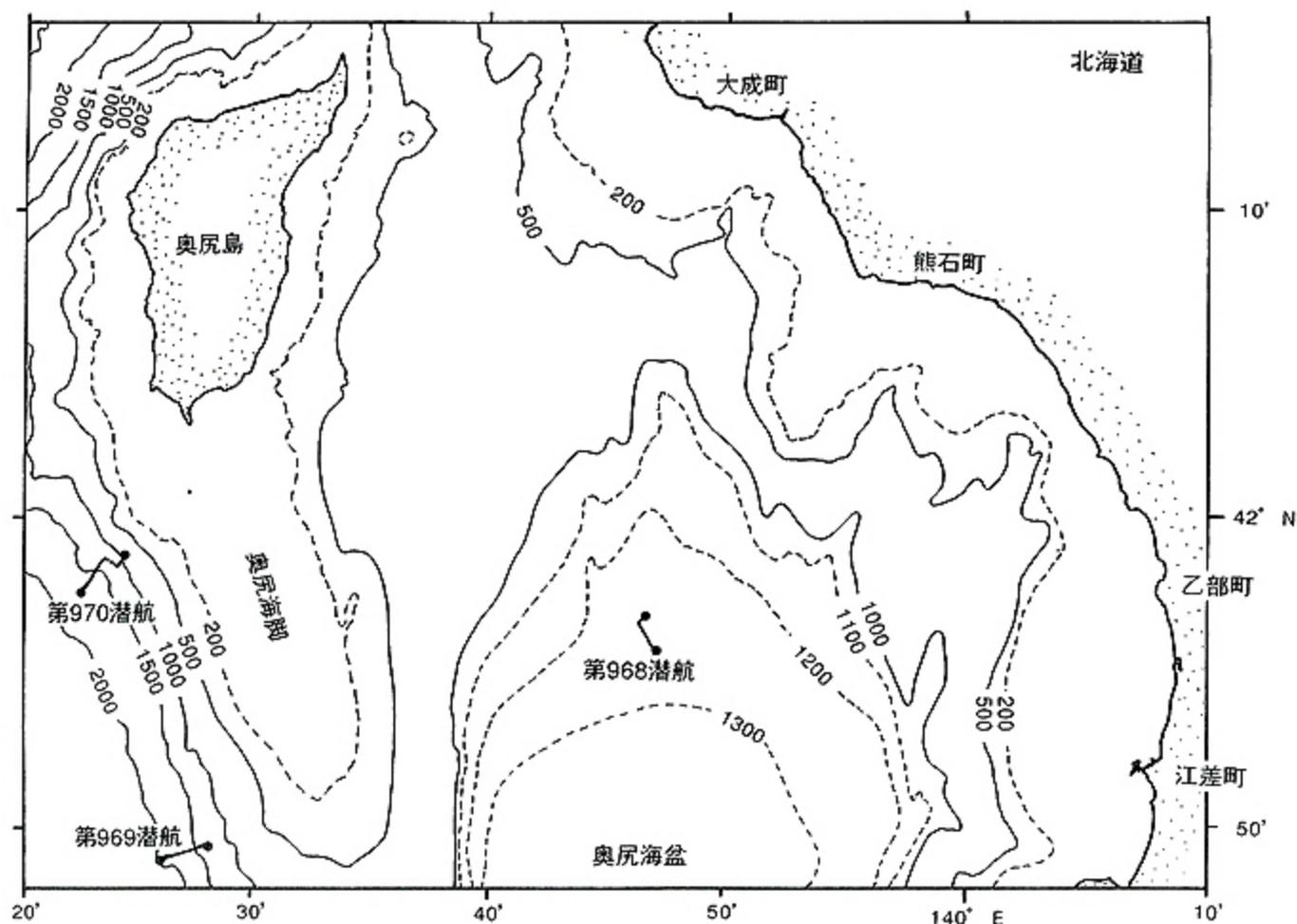


図1 潜航調査地点位置図
Fig. 1 Location map of the survey site.

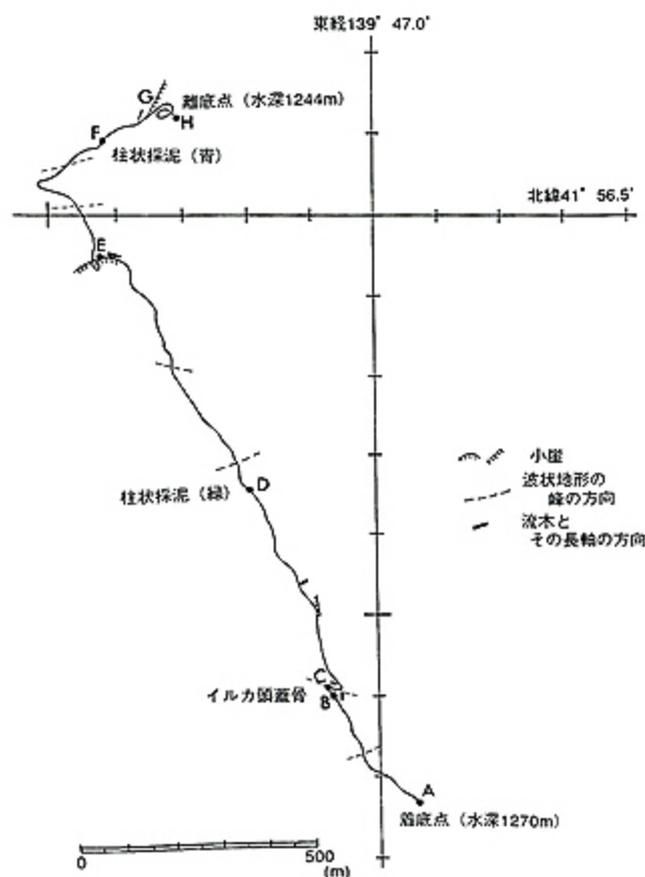


図2 潜航調査ルートマップ

Fig. 2 Descriptive route map along the survey line of Dive #968.

にもたらされたものと考えられる。

地点Gの小崖は比高数mでさほど大きくないが、崖の基部には崖からもたらされたと考えられる数十cm～数mの大きさの堆積物のブロックが多数落ちている(写真4)。マニピュレーターでつかむとつぶれて壊れてしまい、堆積物が未固結状態であることがわかる。各ブロックの上には泥がかぶっているものの、その厚さは非常に薄く、崖からの崩落が最近の現象であったことを推定させる。この崖はほぼ南北に延びており、イザナギ音響イメージでセディメントウエーブの発達するローブ状地形を切る線状構造に対応すると考えられる。以上のことから、この崖の形成には北海道南西沖地震時に斜面を流れ下ってきた乱泥流が関係したと考えられる。

以上の観察結果から、潜航地点付近のセディメントウエーブの発達したローブ状地形は北海道南西沖地震に伴って形成されたものではないらしいこと、その表面には北海道南西沖地震時のタービダイトが薄く覆っているらしいこと、北海道南西沖地震時に大成町沖から南に延びる海底谷を流下してきた乱泥流はこのローブ状地形を侵食したらしいことが判明した。

なお、地点Cで採取された骨状のものはその後の鑑定で、イシイルカ (*Phocoenoides dalli*) の頭蓋骨にほぼ同定された。

4. 定方位堆積物試料の採取方法とその非破壊堆積構造観察方法

中嶋・片山(1992)は、「しんかい6500」の潜航調査において定方位堆積物試料の簡易採取方法を確立させた。これは、潜水調査船の柱状採泥器のインナーチューブに色の異なるビニールテープを貼り、試料採取時に潜水船のヘディングと潜水船に正対するインナーチューブの色を記録するというものであった。今回もこれに準じて、インナーチューブに色の異なる4色のビニールテープを貼り(写真5)、柱状採泥時に潜水船の中央の窓から潜水船に正対するテープの色とそのおおよその角度及び着底作業時の潜水船の船首方向の方位を記録する方法をとった。試料採取時の方位の誤差はおよそ10°程度と考えられる。なお、柱状採泥器は「しんかい2000」で通常使用されているものであり、コアリテイナーは使用した。

採取された試料(写真6)は、母船上において試料の下部からインナーチューブの内径にあわせた発砲スチロールをゆっくりと押し込み、運搬時に試料が乱れないように上下に詰め物をした後密封し、試料が倒れないようにして持ち帰った。持ち帰られた試料は立てたままX線CT装置(池原, 1997)にセットし、記録された採取時の潜水船に正対する位置から22.5°間隔で内部構造の非破壊観察を行った。X線CT装置を用いた方法は、中嶋・片山(1992)による軟X線写真撮影による方法よりも簡便かつ迅速であるほか、試料の整形の必要がないこと、試料の厚さの不均一による試料周辺部の画像の露出オーバーなどが無いといった利点がある。古流向の解析においては、すべての画像からタービダイト層中の堆積構造(斜交層理やリップル葉理など)の最大傾斜の認められる方位を読み取ることによって行った。

以上のように潜水調査船とX線CT装置を組み合わせることにより、これまでは行われてこなかった現世重力流堆積物の古流向解析を、およそ10°の精度で簡便に行えるようになった。

5. 古流向解析結果

今回地点Dで採取された試料(柱状試料—緑)中には第3図に示されるように、1枚のタービダイト層が挟在している。このタービダイト層はリップル葉理を持つように見えるが、試料処理時の変形が著しく、その葉理の

最大傾斜方向を正確に認定することは不可能である。したがって、今回の結果からこのタービダイト層の古流向を推定することはできないかった。この試料処理時の変形の原因は、下から挿入した発砲スチロールの径がインターチューブの内径よりもわずかに小さかったため、挿入時に試料がすき間から逃げたためである。この調査行動中のほかの潜航調査（第969及び970潜航：潜航研究者；竹内 章富山大教授）で採取された柱状試料について同様に行った結果では残念ながら重力流堆積物の挟在は認められなかったが、変形のない画像が得られている（図4）。したがって、試料処理時に細心の注意を払うことにより古流向解析は十分可能であると判断され、今回の方法の有効性は確認できた。

6. 北海道南西沖地震の地震性堆積物

この航海では、この潜航調査で確認された2地点のほかに、第970潜航においても表層に砂質堆積物が採取されている。試料の量が少なく、堆積構造などが確認されていないが、この砂質堆積物の下位には火山灰層が挟在することが確認されている。この火山灰層の火山ガラスの屈折率測定結果（図5、表2）は、この火山灰層が北海道駒ヶ岳起源のものである可能性を強く示唆している。同様な表層堆積物の層序は奥尻島周辺の表層堆積物について広く認められている（池原・井内，1998）。したが

って、この試料中の砂質堆積物も北海道南西沖地震時の斜面崩壊に由来する重力流堆積物であると考えられる。

7. おわりに

今回の結果から、奥尻海盆北部の海盆底における北海道南西沖地震時のタービダイトの堆積現象をイザナギ音響イメージとの対応つけて考えることができた。結果として、潜航調査地点のセディメントウエーブを持つロープ状地形は北海道南西沖地震より以前にすでに形成されていた可能性が示唆された。北海道南西沖地震の際には、この海底谷を流下した乱泥流はこのすでに存在したロープ状地形を侵食し、さらに下流側にタービダイトの本体を堆積させた可能性が高い。このロープ状地形の上には、このタービダイトを運んだ乱泥流の本体からあふれ出た流れが薄いタービダイトを堆積させているに過ぎないと考えられる。

一方、第970潜航により採取された堆積物の結果では、表層の砂質堆積物の下位に火山灰層が採取され、その火山ガラスの屈折率測定結果から、北海道駒ヶ岳起源の火山灰であると考えられた。この周辺の表層堆積物の層序（池原・井内，1998）との比較からすると表層の砂質堆積物は、北海道南西沖地震による地震性堆積物である可能性が高い。

今回得られた堆積物柱状試料では試料処理時の変形の

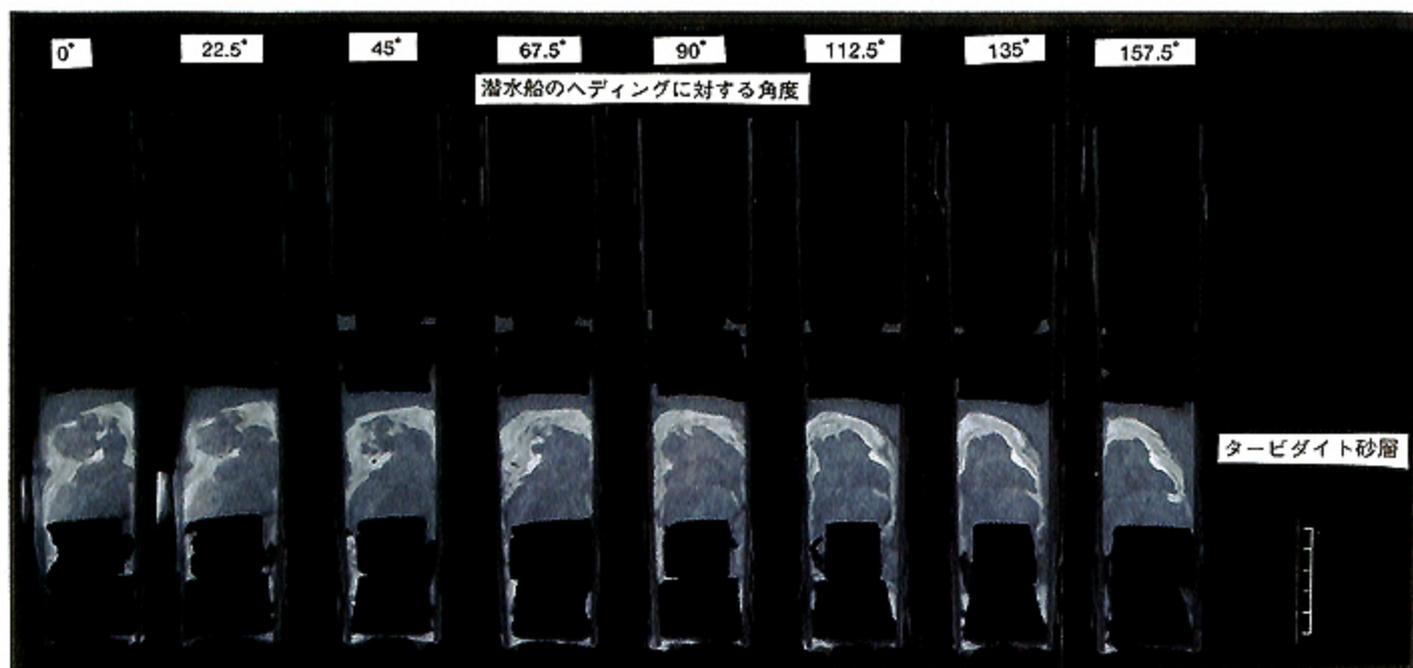


図3 X線CT装置による地点Dのコア試料の潜水船の船首方向から22.5°毎の断面画像

Fig. 3 X-ray CT images of the core at Location D every 22.5° degree. Direction of ship heading is 0 degree.

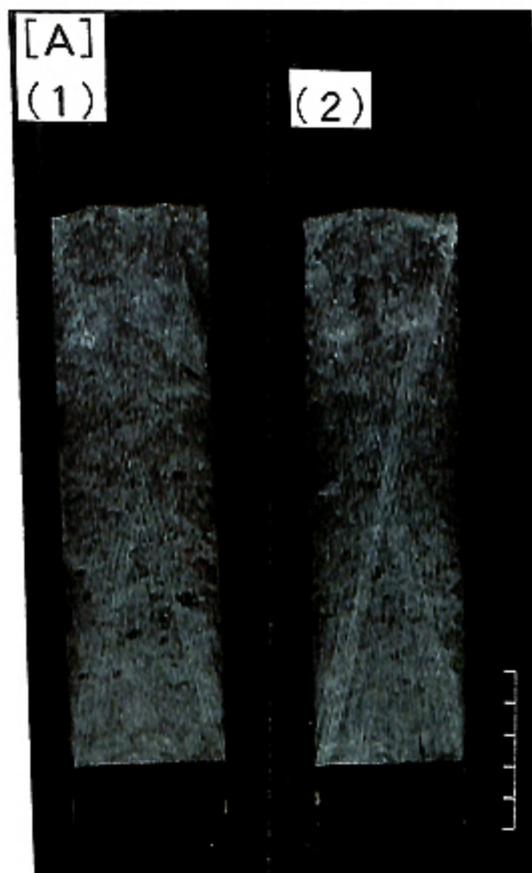


図4 第969及び970潜航（潜航者は共に竹内 章富山大教授）で採取された柱状試料のX線CT装置による断面画像。船首方向に平行（1）と垂直（2）な断面。（A）第969潜航-黄色、（B）第969潜航-緑、（C）第970潜航-青

Fig. 4 X-ray CT images of the sediment cores. Section parallel to ship heading (1) and normal to heading (2). (A) Dive #969-Yellow, (B) Dive #969-Green, and (C) Dive #970-Blue.

ため、古流向解析にはいたらなかった。しかし、試料の変形の問題は十分に対策を立てることが可能であり、本手法の展開に大きな問題とはならないと考えられる。潜水調査船を用いた簡易定方位試料採取—非破壊構造解析の手法はほぼ確立できたといえる。定方位試料の採取とその非破壊構造解析は、今回のような古流向解析のほか、変形構造などを始めとした方向性のある小構造の解析に有効な手段となる。今後さらにこの手法を発展させて、深海域の地質現象の解明が進められることが期待される。

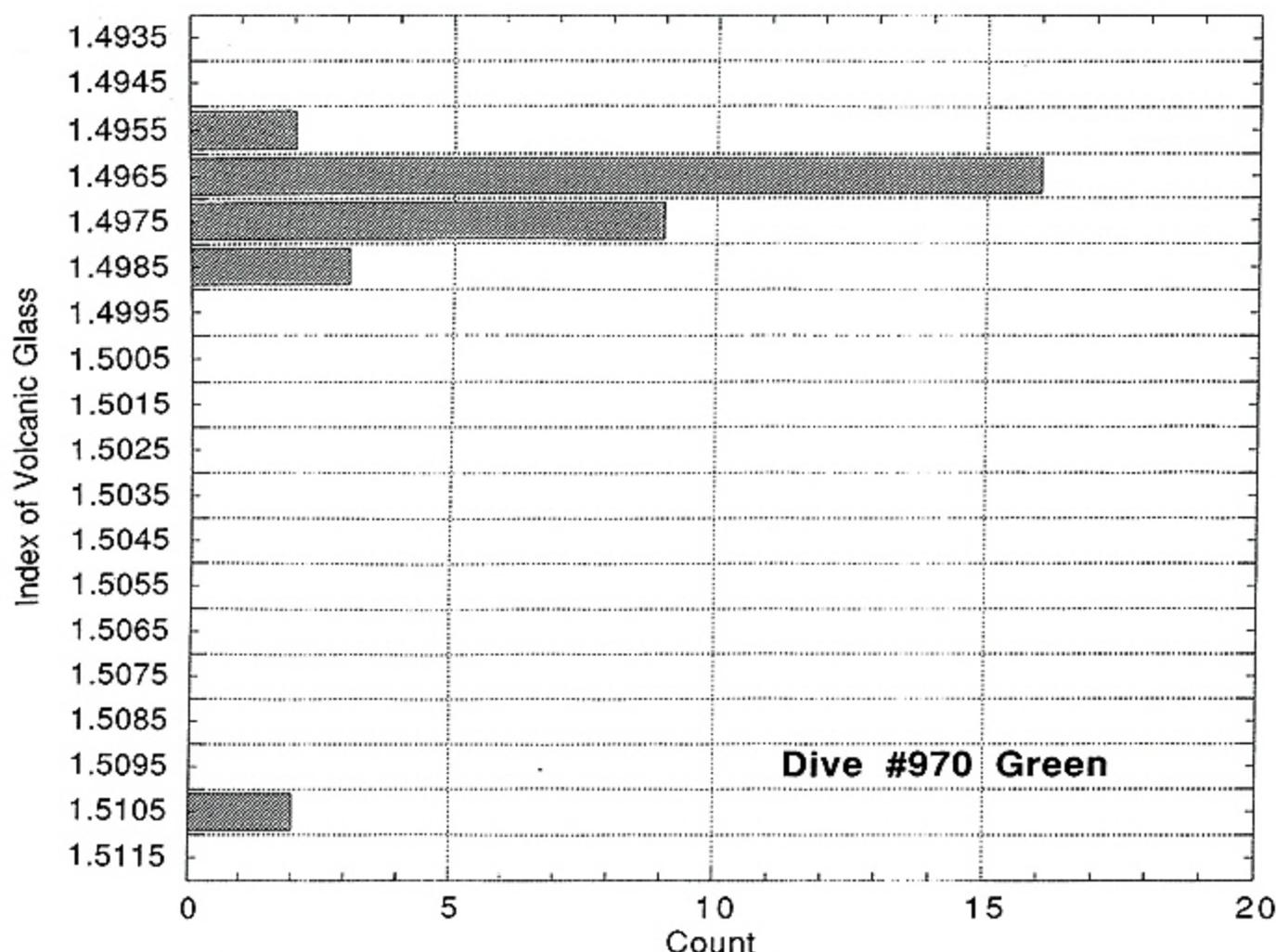


図5 第970潜航（潜航者：竹内 章富山大教授）で採取された堆積物中の火山ガラスの屈折率のヒストグラム。屈折率の測定は（株）京都フィッシュントラックに依頼し、温度変化型屈折率測定装置にて測定した

Fig. 5 Histogram of refractive index of volcanic glass shards in the core collected during Dive #970. The indexes of volcanic glass shards were measured by Kyoto Fission Track Co., Ltd. by using RIMS.

試料名	屈折率範囲		屈折率平均値	測定個体数	屈折率最頻値	火山ガラス形態	備考
	最小	最大					
970潜航（緑）	1.496	1.498	1.4969	30	1.496-1.498	多孔質型	非水和部 水和部
			1.5102	2			

表2 第970潜航で採取された堆積物中の火山ガラスの屈折率測定結果。屈折率の測定は（株）京都フィッシュントラックに依頼し、温度変化型屈折率測定装置にて測定した

Table 2 Characteristics of volcanic glass shards in the core collected during Dive #970. The indexes of volcanic glass shards were measured by Kyoto Fission Track Co., Ltd.

謝 辞

潜航調査においては、与田代志男司令を始めとした「しんかい2000」の運航チームの方々、長谷川 澄船長を始めとする「なつしま」乗組員の方々には大変お世話

になった。また、この航海の主席研究員である富山大学の竹内 章教授を始め、海上保安庁水路部の加藤幸弘博士、広島大学の長沼 毅助教授、北海道立地下資源調査所の嵯峨山 積博士、同志社大学の室田 武教授には調

査航海を通じてお世話になったほか、数々のご助力をいただいた。特に、水路部の加藤幸弘博士には調査地域の海底地形やイザナギ音響画像に関して多くの情報をいただいた。また、イシイルカの頭蓋骨の同定は、長沼氏を通じて水産庁遠洋水産研究所の加藤秀広氏によるものである。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Adams, J. (1990) :Paleoseismicity of the Cascadia subduction zone-Evidence from turbidites off the Oregon-Washington coast. *Tectonics*, 9, 569-583.
- Adams, J. (1996) :Great Earthquakes recorded by turbidites off the Oregon-Washington coast. In: *Assessing Earthquake Hazards and Reducing Risk in the Pacific Northwest*. Edited by Rogers, A.M., Walsh, T.J., Kockelman, W.J. and Priest, G.R., U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1560, 147-158.
- Atwater, B.F. (1987) :Evidence for great Holocene earthquakes along the outer coast of Washington state. *Science*, 236, 942-944.
- Atwater, B.F. (1992) :Geologic evidence for earthquakes during the past 2000 years along the Copalis River, southern coastal Washington. *J. Geophys. Res.*, 97, 1901-1919.
- Atwater, B.F. (1996) :Coastal evidence for great earthquakes in western Washington. In: *Assessing Earthquake Hazards and Reducing Risk in the Pacific Northwest*. Edited by Rogers, A.M., Walsh, T.J., Kockelman, W.J. and Priest, G.R., U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1560, 77-90.
- Clague, J.J. and Bobrowsky, P.T. (1994) :Tsunami deposits beneath tidal marshes on Vancouver Island, British Columbia. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 106, 1293-1303.
- Clague, J.J., Naesgaard, E. and Sy, A. (1992) :Liquefaction features on the Fraser delta: Evidence for prehistoric earthquake? *Can. J. Earth Sci.*, 29, 1734-1745.
- 池原 研 (1997) : X線CT装置を用いた地質試料の非破壊観察と測定 (1)-X線CT装置の原理・概要と断面観察-. *地質ニュース*, 516, 50-61.
- 池原 研・井内美郎 (1998) :深海底タービダイトからみた北海道西方日本海東縁の地震発生間隔. *月刊地球*, 20, 470-475.
- 井内美郎・大塚雅之・公文富士夫・本山 功・片山 肇 (1995) :北海道南西沖海域の表層堆積物. 「北海道西方海域の環境変動に関する総合的研究」平成6年度研究概要報告書, 地質調査所, 73-85.
- 井内美郎・池原 研・本山 功 (1996) :北海道西方海域南部の表層堆積物. 「北海道西方海域の環境変動に関する総合的研究」平成7年度研究概要報告書, 地質調査所, 73-85.
- 片山 肇・池原 研・井内美郎 (1997) :石狩湾周辺海域の表層堆積物. 「北海道西方海域の環境変動に関する総合的研究」平成8年度研究概要報告書, 地質調査所, 150-175.
- 小林洋二 (1983) :プレート“沈み込み”の始まり. *月刊地球*, 5, 510-514.
- Minoura, K. and Nakaya, S. (1991) :Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: Some examples from northeast Japan. *J. Geol.*, 99, 265-287.
- Minoura, K., Nakaya, S. and Uchida, M. (1994) :Tsunami deposits in a lacustrine sequence of the Sanriku coast, northeast Japan. *Sed. Geol.*, 89, 25-31.
- 中嶋 健・片山 肇 (1992) :日本海盆東縁表層のタービダイト. 第8回しんかいシンポジウム報告書, 55-62.
- 中村一明 (1983) :日本海東縁新生海溝の可能性. *地震研報*, 58, 711-722.
- 七山 太・重野聖之 (1998) :Lunch Boxと速乾性ボンドを用いた未固結砂礫の定方位試料作成法. *地質ニュース*, 523, 52-56.
- 西村裕一・宮地直道 (1994) :北海道南西沖地震に伴う津波堆積物の分布および粒度特性. *月刊海洋*, 号外7, 139-147.
- 大草重康 (1984) :海底地盤の土質力学. *土木学会論文集*, 346/III-1, 13-21.
- 大草重康・根元謙次・清田恵三・徳山益威・土井博司 (1987) :海底地すべりについて. 第22回土質工学研究発表会昭和62年度発表講演集, 1453-1456.
- 大塚謙一・加賀美英雄・本座栄一・奈須紀幸・小林見吉 (1973) :相模湾の海底地すべりと乱泥流. *海洋科学*, 5, 446-452.
- 寒川 旭 (1992) :地震考古学. 中公新書, 251p.
- 寒川 旭 (1998) :考古遺跡にみる地震と液状化の歴史. *科学*, 68, 1, 20-24.

(原稿受理:1998年6月29日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

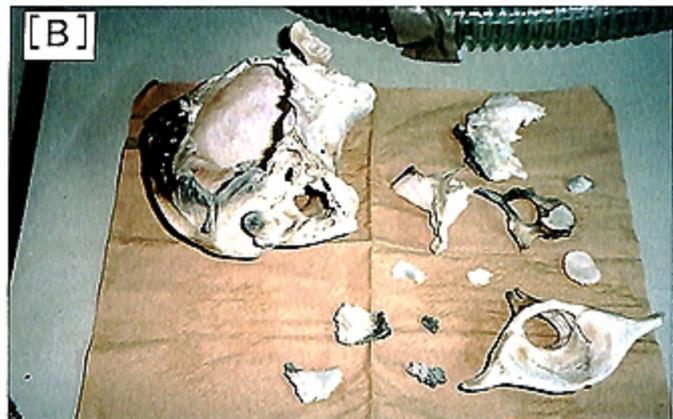
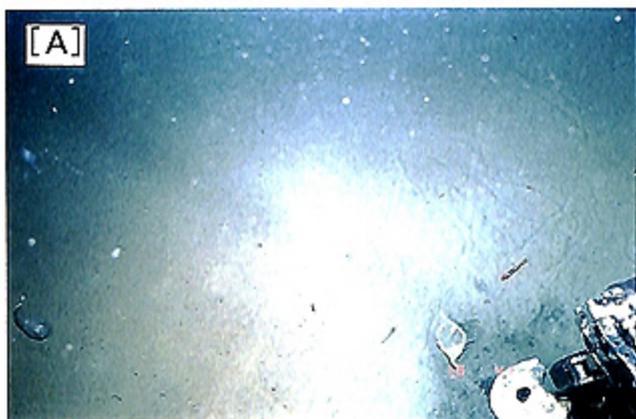


写真1 地点Cで採取されたイシイルカの頭蓋骨とその産状
Photo 1 Occurrence of skull of *Phocoenoides dalli* at Location C



写真2 地点Bに認められる海底表面の流木の産状とそれに付着するイソギンチャク
Photo 2 Occurrence of wood with sea-anemone at Location B

写真3 地点Eにおける角材の産状
Photo 3 Occurrence of wood at Location E

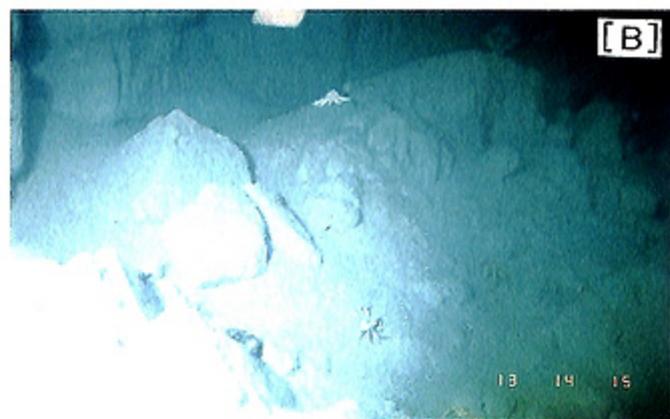


写真4 地点Gの南北に延びる小崖
Photo 4 Small escarpment with N-S trend at Location G

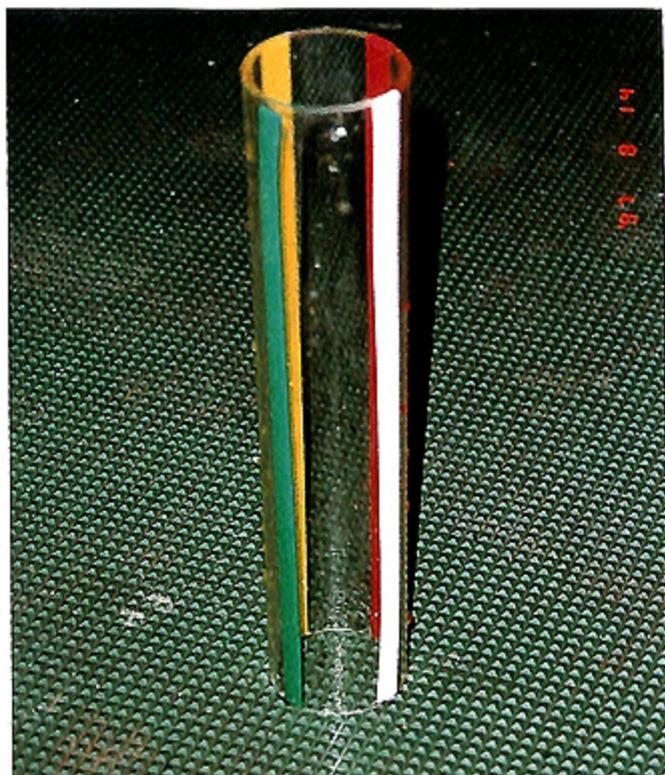


写真5 90°毎に色を変えたビニールテープが貼られた簡易定方位
試料採取用インナーチューブ

Photo 5 Used plastic tube for collection of the orientated sediment
core sample

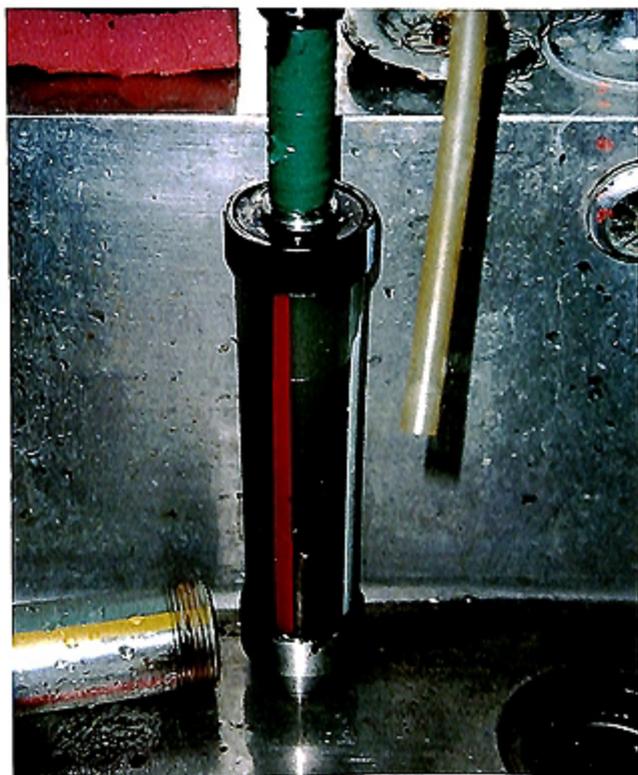


写真6 試料採取後の状態

Photo 6 A orientated core sample