

日本海東縁海域におけるタービダイトの化学組成と放射能変化

金井 豊* 中嶋 健**

KANAI Yutaka and NAKAJIMA Takeshi (1996) Chemical composition and radioactivity distributions of turbidites from the eastern margin of the Japan Sea. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 47 (7), p. 377-392, 13 figs., 7 tables.

Abstract : Chemical composition and radioactivity distributions were determined for turbidite cores obtained from the southeastern margin of the Japan Basin, west of the Kyuroku island (GH 93-816), and from the Shiribesi Basin, west of Hokkaido (OS-2). The turbiditic layers were distinguished from the hemipelagic layers by their chemical compositions. In particular, the turbiditic layers of core GH 93-816 were poor in Fe_2O_3 , MnO, Na_2O , and P_2O_5 , and rich in TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , CaO, MgO, V, Cr, Sr, and Ba, compared to the hemipelagic layers. The trace element contents strongly suggest that the turbidity current was sourced from the western continental slope of Kyuroku island. ^{137}Cs activity distributions in the cores studied indicate that the uppermost turbidites were triggered by the 1983 earthquake in the central Japan Sea (GH 93-816) and the 1993 earthquake off southwestern Hokkaido (OS-2), respectively. The excess ^{210}Pb activities in the uppermost turbidites are nearly constant, and it is assumed that they were composed of much younger surface sediments and mixed homogeneously. It is shown that the equipment with a well-type Ge detector for gamma-ray measurement (Kanai, 1993) is sensitive enough to determine the rates of sedimentation for the small, intercalated hemipelagic layers.

要 旨

日本海盆南東縁にあたる久六島西方, および北海道南西部沖にある後志海盆の両地域におけるタービダイトを含む海底堆積物 (GH 93-816 および OS-2) の化学組成と放射性核種の鉛直分布を検討した結果, タービダイトと半遠洋性堆積物の識別は化学組成からも可能であることが判明した. 特に GH 93-816 コアでは, タービダイト層の化学組成は半遠洋性堆積物と比較して Fe_2O_3 , MnO, Na_2O , P_2O_5 の成分が少なく, TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , CaO, MgO, V, Cr, Sr, Ba 等に富んでいる特徴を有する. また, 微量元素パターンからタービダイトの起源が久六島西方の大陸棚斜面堆積物であることが強く示唆される. また, ^{137}Cs 放射能が検出される上位のタービダイトは 1954 年以降の堆積物であることから, GH 93-816 コアでは 1983 年日本海中部地震により, OS-2 コアでは 1993 年の北海道南西沖地震によって, 最上位のタービダイトがそれぞれ生じていると推定された. 最上位のタービダイト部分の過剰 ^{210}Pb 濃度は比較的一定であり, 乱泥流が表層の新しい堆積物を比較的多く取り込んで均質

化しているためと考えられた. また, タービダイトに挟在する薄い半遠洋性堆積物でも, 井戸型の検出器を用いる少量試料放射能測定装置でおおよその平均堆積速度を算出できることが示された.

1. はじめに

海洋底堆積物の元素濃度は, 堆積物の供給源となる陸域の地質特性, 供給河川の特異性, 空中浮遊塵組成, 海域における生物生産特性, 海水中での物理化学的特性, 底棲生物の活動, 続成作用や地質学的諸現象などによって支配されている. 水平的な濃度変化が地域的特異性や物質移動の指標となるのに対し, 堆積物の鉛直方向の濃度変化は時間的な変化を推定する上で有用な情報を提供する. すなわち, 過去から現在までのバックグラウンド濃度の変化, 人為的汚染の有無, 続成作用に伴う過去における元素の移動・濃集と地球化学的挙動, 過去に生じた地質学的イベントや古環境の復元に関する知見などである. こうした観点から, 寺島ほか (1995) は新潟一東北沖における広域分布のみならず柱状試料中の重金属類の濃度変化を調べている. その結果によると, 新潟沖

* 地殻化学部 Geochemistry Department (GSJ)

** 海洋地質部 Marine Geology Department (GSJ)

Keywords : chemical composition, radioactivity, lead-210, cesium-137, turbidite, Japan Sea

および60 km以内の東北沖沿岸海域で採取された試料の鉛直分布では水銀を除き大きな濃度変化は認められなかった。一方、沿岸から120 km以上の海域の試料では多くの火山灰層やタービダイトを含んでおり、鉛直濃度変化が大きいたことが明らかにされた。しかし、その詳細な検討は今後の課題として残されている。

津軽西方の久六島西方斜面の海底は、1983年日本海中部地震震源域に当たっており、しんかい6500による潜航調査や堆積過程の解明から、タービダイトが堆積していることが明らかとなっている(中嶋, 1993)。このようなタービダイトを堆積させる乱泥流は、一般に(1)洪水時の河川からの高濁度水の流入、(2)防風時の沿岸で生ずる冲向きの流れ、(3)堆積過剰や地震による陸棚斜面の崩壊によって生ずるとされている(Normark and Piper, 1991)。さらに、当地域で白嶺丸によりグラビティコアラを用いて採取された堆積物を解析して、上記理由のうち(3)の1983年の日本海中部地震をトリガーとして斜面上部の堆積物が地滑りによって堆積した可能性の高いことを明らかにした(中嶋・金井, 1995)。しかし、堆積物の化学組成や放射性核種の分布がタービダイトにおいてどのようなものかについての詳細な検討は未だなされていない。また、北海道南西部の奥尻島周辺でも1993年北海道南西沖地震によると推定されるタービダイトが調査されている(金井・中嶋, 1995)。本報告では、両地域におけるタービダイトを含む海底堆積物の化学組成と放射性核種の鉛直分布を明らかにし、タービダイトに伴う元素の地球化学的挙動について検討する。

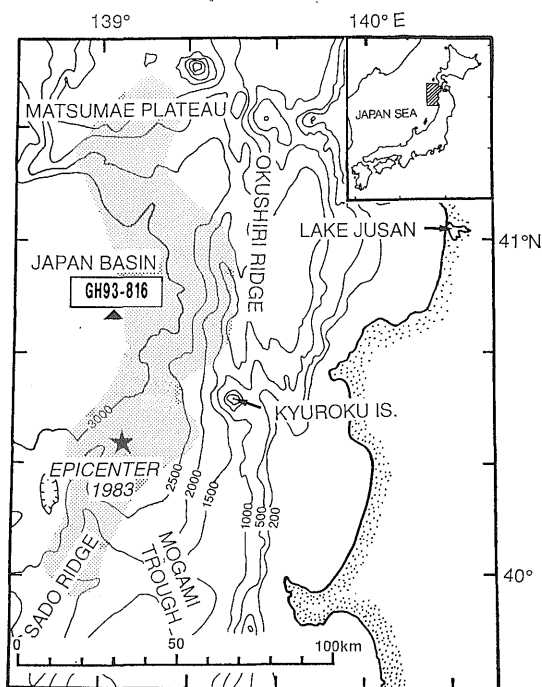
なお、本研究の試料採取は工業技術院特別研究「日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究」の調査航海の一環としてなされた。調査概要については、岡村(1994)にまとめられている。調査では海老原直美船長をはじめとする白嶺丸乗組員の方々、および岡村行信氏を団長とする調査研究員一同に大変お世話になった。ここに記して深く感謝する。

2. 試料と分析方法

対象としたコア試料の一つ(GH93-816)は、白嶺丸による地質調査航海GH93において、津軽西方の久六島北西方にあたる日本海盆南東縁北緯 $40^{\circ}47.734'$ 東経 $139^{\circ}02.721'$ 、水深3282 mの海底からグラビティコアラにより採取された(第1図)。コアの全長は392 cmで、数cmから20 cm厚の級化構造を示す砂層-粘土質シルト層と粘土層の互層堆積物からなる(第2図)。砂-粘土質シルトは緑灰色-暗緑灰色を呈する。68-71 cmの深度には灰色を呈するシルトサイズのガラス質火山灰

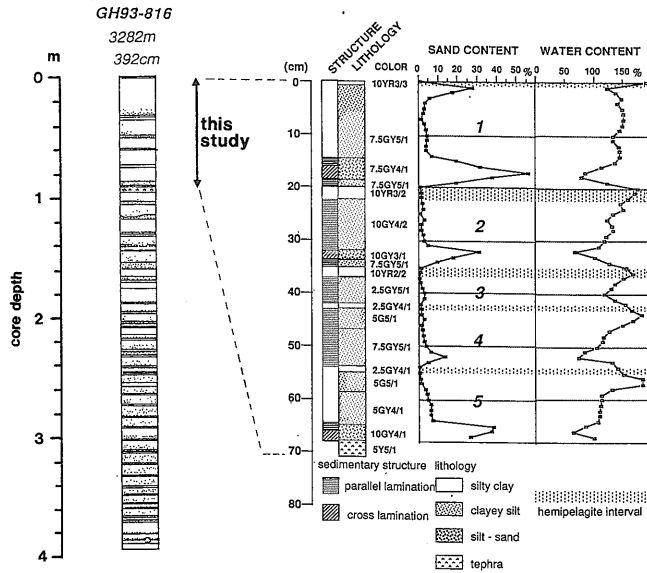
を挟み、当海域でのテフラ分布と火山ガラスの特徴から朝鮮半島の白頭山に由来する白頭山苦小牧火山灰(B-Tm)と同定される。この鍵層は約1000年前とされている。下位のシルト-粘土質シルトは黒色を呈している(中嶋ほか, 1994; 中嶋・金井, 1995)。コア試料は火山灰層よりも上の部分を0.3-1.0 cmの幅で分割し、乾燥してめう乳鉢で微粉碎して化学分析ならびに放射能測定に供した。

また、もう一つのコア試料(OS-2)は1993年7月26日に後志海盆で大口径コアラを用いて採取された(第3図)。OS-2は北緯 $42^{\circ}53.069'$ 東経 $139^{\circ}34.122'E$ の水深3325 mの海底から採取された全長わずか23 cmのコアである。表層がシルト-砂質シルトと粗く、日本海の深海堆積物の表層に共通してみられる褐色粘土層がなくいくつかの級化構造が認められ、表層下の級化砂層の下部に褐色粘土が挟んでいる(第4図)。OS-2コア試料も0.5 cm-3.5 cm間隔に分割した後、乾燥してめう乳鉢で微粉碎し、同様に化学分析ならびに放射能測定に供し



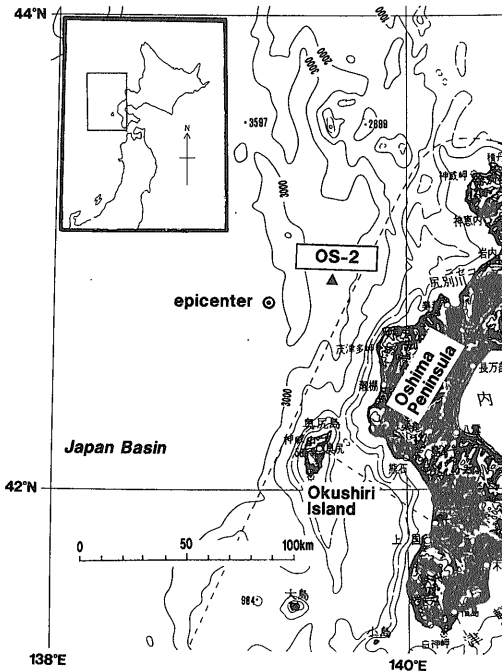
第1図 GH93-816 コアの試料採取地点 ★: 1983年日本海中部地震(M7.7)の震央

Fig. 1 Sampling location of GH93-816 core, southeastern margin of the Japan Basin. ★ indicates the epicenter of the 1983 earthquake in central Japan Sea.



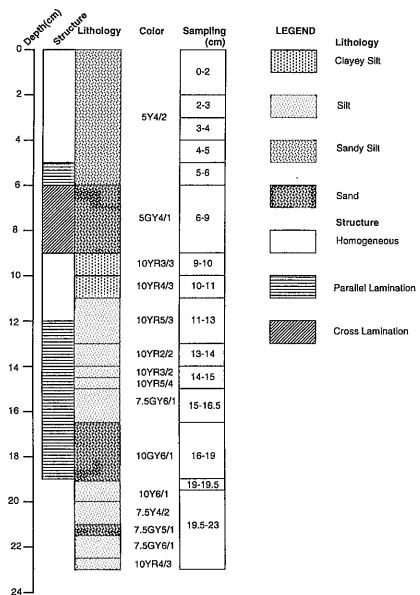
第2図 GH93-816 コアの堆積学的記載 含砂率・含水比の変化も示されている。

Fig. 2 Sedimentological description of GH93-816 core column. Sand content and water content are also shown. Sedimentary structures are based on observation of soft X-ray radiographs. Color codes are based on Munsell notation.



第3図 OS-2 コアの試料採取地点 (●): 1993年北海道南西沖地震 (M7.8) の震央 (42°47'N 139°12'E 震源深度 34 km)。

Fig. 3 Sampling location of OS-2 core, off southwestern Hokkaido. (●) indicates the epicenter of the 1993 earthquake off southwestern Hokkaido.



第4図 OS-2 コアの堆積学的記載。

Fig. 4 Description of OS-2 core column.

た。

化学分析は、アルゴンプラズマ発光分光法 (ICP) で Al_2O_3 , TiO_2 , 全 Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , P_2O_5 , Zn , Ni , Cr , V , Cu , Sr , Ba 等を、原子吸光法 (AAS) で Na_2O , K_2O を定量した。放射能測定は、微粉碎した試料 0.5-4 g をナルゲン社製の遠沈管にとりキャップを締めて放射性核種を放射平衡にした後 (約1ヶ月), 金井 (1993) に従い井戸型 Ge 検出器を用いて $Pb-210$ (^{210}Pb), $Pb-214$ (^{214}Pb), $Cs-137$ (^{137}Cs) 等の γ 線を計測してそれぞれの放射能を定量した。

3. 結果と考察

3.1 久六島西方斜面におけるコアの化学組成

GH 93-816 コア試料を分割して得た総計 78 試料の化学分析結果を第 1 表に示した。また、各元素の深度別含有量変化を第 5 図に示した。第 2 図に示した岩相の変化から、半遠洋性堆積層が 20-22.6 cm, 35-37 cm, 42-43 cm, 54-55 cm の合計 4ヶ所に挟んでいることが判明している (中嶋・金井, 1995)。この半遠洋性の堆積層に対応するように、いくつかの元素で特徴ある変化を示している。その一つが Fe_2O_3 である。第 5 図に示されたように、 Fe_2O_3 含有量はほとんどのところで約 5% 弱であるが、最表層と上記 4ヶ所で高くなっている。類似する傾向は MnO や P_2O_5 でも認められている。一方、 TiO_2 や Al_2O_3 では Fe_2O_3 で見られたのとは逆の傾向を示している。すなわち、表層と半遠洋性堆積物層で含有量の低下が見られている。これらの結果は、半遠洋性堆積物の化学組成とタービダイトの化学組成とが異なっており、化学組成からタービダイトの存在を推定できる可能性を示唆している。

鉛直濃度変化が認められた Fe_2O_3 と MnO や CaO のうち、 MnO は Fe_2O_3 と類似する変化を示すが、20 cm の半遠洋性堆積物のところでは高濃度を示す層が Fe_2O_3 の場合よりも下方にある (第 6 図)。 MnO と Fe_2O_3 は酸化的環境で移動しにくく、還元されると溶け易くなるが、両者の間では MnO の方が先に溶け易い。半遠洋性堆積物よりも還元である沿岸域の堆積物が上位に堆積することにより半遠洋性堆積物の上部が還元的に変化し、それにともない MnO が可溶化して上方に分散もしくは下方に移動・濃集したと推定される。一方、 CaO は半遠洋性堆積物のところで高濃度となる Fe_2O_3 の濃度変化と異なっており、タービダイトの下部で高濃度となっている。特に高濃度となっているのは、20-22.6 cm の半遠洋性堆積物の上位および 68-71 cm の B-Tm 火山灰層の上位である。この原因の一つとして、タービダイトに級化

構造が認められ粗粒の火山ガラスが多いことが考えられる。佐藤ほか (1986) は調査地域に近い日本海盆南東縁で採取した底質の火山ガラス中の CaO が 1.3-8.2% であると報告しているし、渡島大島火山の溶岩中の CaO は 5.2-10.9%, 男鹿半島一の目潟火山の噴出物中の CaO は 7.9-8.2% という値が報告されている (地質調査所, 1962)。どの火山ガラスであるかは不明であるが、 CaO 濃度の高い火山ガラスである可能性が高い。

深度 68-71 cm にある B-Tm テフラの化学組成は、上位のタービダイト層と比較して TiO_2 , MgO , Ni , Cr , V , Sr , Ba などに乏しく、 Na_2O , K_2O , Zn などに富んでいる。このテフラは極めて高い Zn 濃度を有し、 Ni , Cr に乏しい特徴が指摘されている (寺島ほか, 1995)。また、日本各地を起源とするテフラと比較して Na , Fe , La , Y , Th 等が著しく多く、 Mg , Sr , Ba , Sc 等が著しく少ない特徴を吉川・池原 (1991) は指摘している。本研究では、B-Tm テフラがこれらの特徴と調和的であり、さらにタービダイトと比較して K に富み、 TiO_2 , V に乏しいという特徴も有していることが明かとなった。

上部 20 cm のタービダイトと下位の 4 回のタービダイトは、主な化学組成の特徴でみる限り類似する組成である。そこで半遠洋性堆積物の化学組成とタービダイトの化学組成との相関係数から化学的特徴の抽出を試みた。テフラ層の 68-71 cm を除いた 0-68 cm の試料で検討し、その結果を第 2 表に示した。この表から元素が二つのグループに分類される。一つは Fe_2O_3 , MnO , Na_2O , P_2O_5 の成分で、このグループ内では強い正の相関を有している。もう一つは TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , CaO , MgO , V , Cr , Sr , Ba 等で、このグループ内での相関は強くまた前グループとは負の相関を有している。一例として、 $TiO_2-Fe_2O_3$, TiO_2-Na_2O (負の相関)、および $CaO-Sr$, $CaO-Ba$ (正の相関) を第 7 図に示した。以上の結果から、タービダイトとして運搬され堆積した堆積物は後者グループの組成に富んだ堆積物といえる。

タービダイト中の Fe_2O_3 濃度としては 4.4-5.2% (半遠洋性試料での最大は 9.45%), MnO 濃度は約 0.1% (半遠洋性試料の最大は 2.7%) である。久六島周辺の大陸棚斜面堆積物の化学組成は明かでないが、寺島ほか (1994; 1995) が秋田県沖の表層堆積物を分析した結果では、男鹿半島沖 (寺島ほか, 1995 の Fig. 1 における No.393-395, 399-401, 403-404, 407 等) で Fe として 3.7% 前後 (Fe_2O_3 として 5.3%) である。 Mn 濃度については 0.05-1.1% と濃度範囲が広いが、これはマンガンが表層に濃集するプロファイルを示すことが多くその濃度が水深と関係していること、および寺島ほか (1995) の値は表層

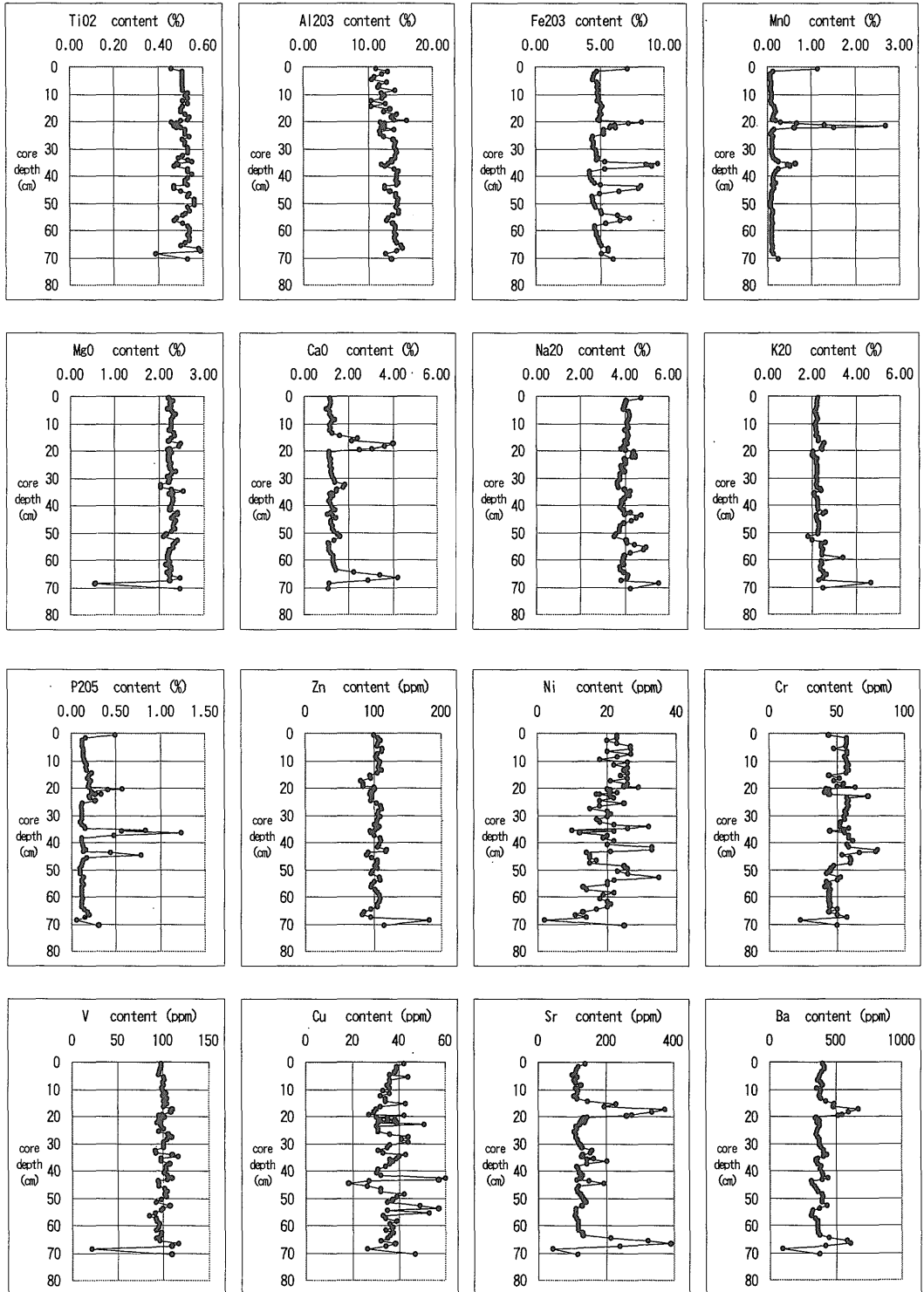
第 1 表 GH93-816 コアの化学組成

Table 1 Chemical composition of GH93-816 core taken from southeastern margin of the Japan Sea

core depth (cm)	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	(ppm)							
										Zn	Ni	Cr	V	Cu	Sr	Ba	
0 - 1	0.46	11.20	7.15	1.14	2.22	1.16	4.73	2.28	0.50	101	23	44	98	42	140	399	
1 - 2	0.51	13.03	4.77	0.13	2.32	1.17	4.06	2.21	0.16	107	23	58	98	39	119	414	
2 - 3	0.51	12.16	4.57	0.07	2.26	1.17	4.00	2.22	0.12	111	20	58	97	39	114	413	
3 - 4	0.51	10.97	4.52	0.07	2.28	1.13	3.96	2.22	0.12	107	23	58	96	38	111	393	
4 - 5	0.51	10.62	4.44	0.07	2.20	1.01	3.92	2.19	0.12	106	27	57	95	38	103	383	
5 - 6	0.51	12.97	4.77	0.09	2.30	1.16	4.15	2.09	0.13	113	27	48	101	44	117	373	
6 - 7	0.51	11.77	4.88	0.09	2.37	1.15	4.22	2.17	0.13	112	20	58	102	36	107	360	
7 - 8	0.51	11.51	4.79	0.08	2.32	1.21	4.21	2.20	0.13	106	27	58	100	36	112	389	
8 - 9	0.51	14.06	4.84	0.08	2.27	1.39	4.17	2.24	0.13	103	23	56	101	35	127	402	
9 - 10	0.53	12.03	4.79	0.09	2.27	1.21	4.08	2.16	0.14	105	18	57	99	36	113	357	
10 - 11	0.52	12.61	4.85	0.09	2.27	1.15	4.11	2.15	0.15	109	26	58	100	33	119	386	
11 - 12	0.53	12.22	4.91	0.10	2.27	1.19	4.15	2.18	0.17	108	22	59	103	36	116	383	
12 - 13	0.51	10.51	4.80	0.08	2.24	1.14	4.03	2.19	0.16	107	26	57	100	32	107	376	
13 - 14	0.53	12.63	5.02	0.10	2.34	1.28	4.12	2.21	0.17	112	25	59	104	34	118	391	
14 - 15	0.51	10.51	5.19	0.16	2.35	1.60	4.18	2.19	0.23	105	26	57	101	34	146	428	
15 - 16	0.50	13.34	5.03	0.17	2.28	2.40	4.14	2.31	0.20	94	24	44	104	43	231	489	
16 - 17	0.50	12.42	4.98	0.20	2.22	2.13	4.03	2.29	0.18	96	26	52	101	32	196	485	
17 - 18	0.52	14.38	5.13	0.16	2.49	4.01	4.14	2.57	0.22	81	21	48	110	30	374	676	
18 - 19	0.54	13.62	4.96	0.14	2.45	3.63	3.99	2.48	0.20	85	26	55	108	29	336	600	
19 - 19.5	0.53	13.94	4.85	0.12	2.24	3.04	3.83	2.42	0.19	85	25	50	99	27	276	545	
19.5 - 20	0.50	15.98	4.98	0.20	2.20	2.48	4.03	2.44	0.20	100	29	64	95	42	261	516	
20 - 20.5	0.46	11.92	8.24	0.31	2.24	1.11	4.41	2.03	0.57	102	20	42	102	30	144	351	
20.5 - 21	0.48	12.61	7.20	0.67	2.28	1.09	4.36	2.02	0.41	100	21	44	97	35	133	343	
21 - 21.5	0.49	12.52	6.14	1.30	2.22	1.11	4.36	2.03	0.23	96	21	43	95	38	130	361	
21.5 - 22	0.47	12.21	5.81	2.70	2.21	1.11	4.48	2.00	0.23	98	23	41	98	32	139	376	
22 - 22.3	0.48	12.02	6.20	1.50	2.21	1.12	4.48	2.08	0.33	96	17	44	96	39	137	366	
22.3 - 22.6	0.50	12.61	5.75	0.61	2.21	1.12	4.31	2.09	0.27	95	18	45	93	31	123	359	
22.6 - 23	0.52	13.94	5.28	0.16	2.21	1.19	3.97	2.21	0.20	97	21	73	97	51	121	377	
23 - 24	0.52	11.76	5.30	0.11	2.21	1.15	4.00	2.18	0.21	97	22	58	98	30	112	373	
24 - 25	0.52	11.86	5.29	0.08	2.25	1.19	4.01	2.17	0.27	96	18	59	101	31	115	361	
25 - 26	0.54	12.37	4.46	0.14	2.24	1.15	3.82	2.20	0.12	104	25	58	95	31	106	357	
26 - 27	0.51	13.90	4.36	0.12	2.26	1.22	3.87	2.21	0.11	110	18	59	105	36	113	351	
27 - 28	0.52	14.20	4.51	0.11	2.36	1.19	3.96	2.20	0.11	112	15	58	109	44	113	360	
28 - 29	0.52	14.18	4.49	0.12	2.27	1.24	3.80	2.20	0.11	107	20	56	104	41	116	374	
29 - 30	0.53	14.03	4.47	0.11	2.19	1.27	3.77	2.17	0.11	106	21	47	101	44	120	371	
30 - 31	0.53	14.23	4.67	0.10	2.23	1.32	3.78	2.23	0.11	109	20	55	101	36	123	377	
31 - 32	0.53	14.33	4.69	0.10	2.21	1.39	3.68	2.22	0.11	106	17	56	101	35	128	388	
32 - 33	0.51	14.14	4.70	0.12	2.04	1.63	3.65	2.18	0.10	104	18	53	91	31	159	410	
33 - 34	0.49	14.13	4.85	0.13	2.05	1.77	3.69	2.23	0.11	100	22	52	92	33	153	405	
34 - 34.5	0.53	13.62	4.70	0.19	2.28	1.44	3.98	2.38	0.14	108	32	52	110	43	132	433	
34.5 - 35	0.55	13.55	5.39	0.24	2.55	1.44	4.24	2.42	0.15	105	26	59	116	40	129	410	
35 - 35.5	0.48	13.10	9.45	0.64	2.31	1.22	4.13	2.12	0.83	102	10	55	98	39	164	365	
35.5 - 36	0.49	12.08	8.59	0.46	2.23	1.14	4.09	2.07	0.56	95	12	45	98	38	144	349	
36 - 37	0.47	12.50	8.99	0.52	2.29	1.31	4.21	2.10	1.23	96	12	46	98	37	204	353	
37 - 38	0.53	14.01	5.33	0.24	2.32	1.20	3.96	2.21	0.48	101	20	59	107	36	144	366	
38 - 39	0.53	14.59	4.19	0.20	2.32	1.10	3.86	2.26	0.11	109	19	59	103	34	114	390	
39 - 40	0.55	14.38	4.16	0.15	2.29	1.17	3.85	2.24	0.11	110	22	62	103	31	119	385	
40 - 41	0.53	14.34	4.22	0.14	2.25	1.25	3.79	2.25	0.12	108	20	58	101	30	122	396	

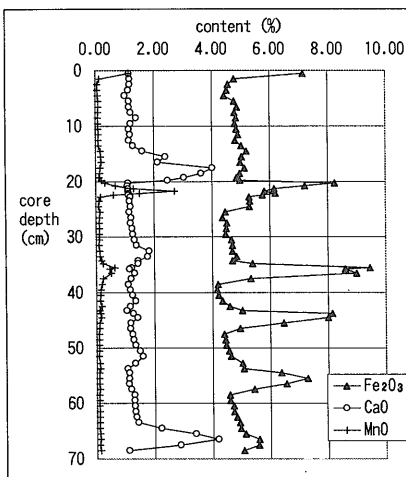
Table 1 continued

core depth (cm)	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	(ppm)							
										Zn	Ni	Cr	V	Cu	Sr	Ba	
41 - 42	0.52	14.24	4.35	0.13	2.23	1.36	3.88	2.27	0.13	106	33	59	104	32	128	404	
42 - 43	0.52	14.61	4.60	0.19	2.41	1.17	4.23	2.59	0.16	119	33	80	109	60	123	442	
43 - 43.5	0.53	14.44	5.03	0.11	2.40	1.05	3.98	2.47	0.13	118	21	79	104	57	114	392	
43.5 - 44	0.47	12.52	8.14	0.14	2.33	1.27	4.72	2.19	0.44	92	14	67	94	27	148	314	
44 - 45	0.47	12.59	7.99	0.16	2.28	1.42	4.52	2.17	0.78	90	15	54	95	18	195	317	
45 - 46	0.50	13.29	6.46	0.11	2.36	1.18	4.27	2.23	0.17	97	15	60	95	26	120	335	
46 - 47	0.54	14.23	4.96	0.10	2.34	1.17	3.93	2.29	0.13	106	17	61	102	32	114	348	
47 - 48	0.53	14.20	4.40	0.09	2.31	1.25	3.80	2.28	0.12	105	15	60	104	32	118	365	
48 - 49	0.56	14.70	4.45	0.09	2.35	1.28	3.76	2.28	0.11	102	25	48	102	42	124	398	
49 - 50	0.56	14.48	4.47	0.08	2.27	1.34	3.73	2.27	0.10	105	26	46	103	39	128	401	
50 - 51	0.56	14.50	4.57	0.08	2.16	1.49	3.58	2.26	0.10	98	23	45	98	37	135	398	
51 - 52	0.53	14.21	4.64	0.08	2.10	1.59	3.50	1.79	0.10	96	26	42	92	35	141	397	
52 - 53.5	0.54	14.67	5.02	0.11	2.40	1.33	4.07	2.00	0.13	108	35	53	107	49	130	431	
53.5 - 54	0.52	14.61	5.07	0.12	2.35	1.07	4.08	2.58	0.11	109	22	50	100	57	111	378	
54 - 55	0.51	13.72	6.37	0.09	2.32	1.12	4.45	2.39	0.11	101	20	42	98	35	111	319	
55 - 56	0.48	13.05	7.28	0.09	2.31	1.12	4.95	2.42	0.13	97	20	44	91	53	112	328	
56 - 57	0.47	12.86	6.54	0.09	2.23	1.11	4.85	2.47	0.11	96	13	41	85	33	109	313	
57 - 58	0.51	13.68	5.44	0.11	2.21	1.19	4.23	2.45	0.11	102	14	45	92	34	115	341	
58 - 59	0.53	14.14	4.59	0.09	2.19	1.30	3.96	2.43	0.11	105	22	44	93	39	119	362	
59 - 60	0.54	14.09	4.60	0.09	2.20	1.30	3.93	3.41	0.11	108	19	44	96	36	120	363	
60 - 61	0.54	14.05	4.72	0.09	2.23	1.31	3.88	2.40	0.12	109	18	44	95	37	120	361	
61 - 62	0.53	14.23	4.73	0.10	2.16	1.34	3.94	2.44	0.11	108	20	44	92	34	120	362	
62 - 63	0.54	14.02	4.83	0.10	2.28	1.37	3.79	2.36	0.11	106	21	45	98	37	128	365	
63 - 64	0.54	14.08	4.92	0.10	2.26	1.43	3.80	2.36	0.11	106	20	45	97	36	131	373	
64 - 65	0.52	14.42	4.97	0.09	2.17	2.22	3.92	2.48	0.14	96	17	50	92	35	213	445	
65 - 66	0.50	15.05	5.13	0.11	2.23	3.41	4.14	2.53	0.18	86	13	44	96	32	324	589	
66 - 67	0.58	15.33	5.60	0.12	2.47	4.19	4.08	2.47	0.20	83	11	50	116	38	389	612	
67 - 68	0.59	14.33	5.59	0.10	2.23	2.88	3.83	2.31	0.15	96	14	58	109	34	242	423	
68 - 70	0.39	12.62	5.07	0.13	0.55	1.11	5.54	4.68	0.06	183	2	23	21	26	43	97	
70 - 71	0.53	13.65															



第 5 図 GH93-816 コアにおける化学組成の深度変化。

Fig. 5 Variation of chemical composition of GH93-816 core with core depth.



第6図 Fe₂O₃, CaO および MnO 濃度の深度変化.

Fig. 6 Variation of Fe₂O₃, CaO and MnO contents in GH 93-816 core with core depth.

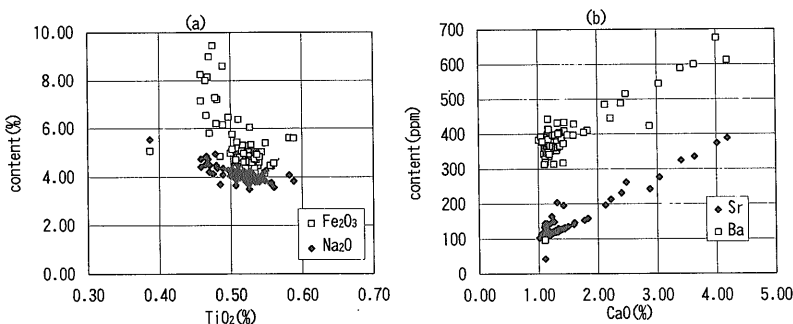
2-3 cm の試料であること等を考えると当然である。そこで寺島ほか (1995) の東北沖日本海柱状試料 No. 12 (最上トラフ: 北緯 40°15.34' 東経 139°30.07', 水深 1306 m), 25 (大和海盆: 北緯 39°50.37' 東経 138°20.00', 水深 2,629 m), 20-2 (日本海盆: 北緯 41°08.83' 東経 138°00.07', 水深 3640 m) のコア深度数 m の部分における平均的な Mn 濃度をみると 0.04-0.12% の範囲であり, MnO として平均 0.1% 前後である。これらのことから, タービダイトとして堆積した堆積物は秋田県沖に広く堆積している海底堆積物や大陸棚斜面堆積物と類似した化学組成であることが分かる。さらに微量元素に注目すると, タービダイトの平均的 Zn, Ni, Cr, Cu 濃度はそれぞれおおよそ 100 ppm, 20 ppm, 50 ppm, 30-40 ppm であるのに対し, 寺島ほか (1995) の No. 12 は 100 ppm, 20 ppm, 50 ppm, 20-30 ppm, No. 25 は 110 ppm, 50 ppm, 70 ppm, 40-50 ppm, No. 20-2 は 100 ppm, 20-30 ppm, 50 ppm, Cu 40 ppm である。タービダイトの微量元素化学

第2表 GH 93-816 コアの化学組成における相関係数

Table 2 Correlation matrix of chemical composition of GH 93-816 core

	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Zn	Ni	Cr	V	Cu	Sr	Ba	
TiO ₂	1.00	0.50	-0.67	-0.45	0.22	0.28	-0.68	0.28	-0.55	0.19	0.17	0.20	0.51	0.13	0.11	0.30	TiO ₂
Al ₂ O ₃		1.00	-0.32	-0.27	0.06	0.37	-0.44	0.39	-0.30	-0.01	-0.06	0.05	0.22	0.24	0.31	0.33	Al ₂ O ₃
Fe ₂ O ₃			1.00	0.35	0.08	-0.09	0.65	-0.22	0.84	-0.40	-0.42	-0.21	-0.22	-0.13	0.12	-0.26	Fe ₂ O ₃
MnO				1.00	-0.12	-0.14	0.40	-0.29	0.32	-0.18	-0.06	-0.30	-0.11	-0.02	-0.01	-0.10	MnO
MgO					1.00	0.20	0.28	0.16	0.07	0.03	0.08	0.33	0.69	0.23	0.22	0.28	MgO
CaO						1.00	-0.14	0.33	-0.04	-0.67	-0.08	-0.12	0.31	-0.20	0.96	0.90	CaO
Na ₂ O							1.00	-0.02	0.38	-0.24	-0.18	-0.17	-0.19	0.03	0.00	-0.20	Na ₂ O
K ₂ O								1.00	-0.27	-0.02	-0.08	-0.02	0.05	0.17	0.27	0.31	K ₂ O
P ₂ O ₅									1.00	-0.33	-0.33	-0.04	-0.06	-0.18	0.20	-0.14	P ₂ O ₅
Zn										1.00	0.31	0.37	0.12	0.44	0.37	-0.47	Zn
Ni											1.00	0.15	0.26	0.30	-0.15	0.21	Ni
Cr												1.00	0.37	0.22	-0.13	0.01	Cr
V													1.00	0.20	0.27	0.42	V
Cu														1.00	-0.21	-0.01	Cu
Sr															1.00	0.86	Sr
Ba																1.00	Ba

□ and ■ indicate positive and negative correlation at 98% confidence, respectively



第7図 GH 93-816 コアの化学組成における (a) TiO₂, Fe₂O₃, および Na₂O (b) CaO, Sr, および Ba の相関関係.

Fig. 7 Correlations among (a) TiO₂, Fe₂O₃ and Na₂O, (b) CaO, Sr and Ba in GH 93-816 core.

組成は No. 25 よりむしろ No. 12 や試料の採取地点の近い No. 20-2 に良く類似している。先に述べたように、一般にタービダイトを堆積させる乱泥流は、(1)洪水時の河川からの高濁度水の流入、(2)防風時の沿岸で生ずる沖向きの流れ、(3)堆積過剰や地震による陸棚斜面の崩壊によって生ずるとされており (Normark and Piper, 1991), 本研究で扱ったタービダイトの形成は(3)の地震による陸棚斜面の崩壊によると考えられている。震源域に近く、しかも急峻な傾斜を有する斜面の崩壊であることから、化学組成の類似性を考慮すると、タービダイトの供給源として秋田県沖の大陸棚斜面堆積物、特に久六島西方の大陸棚斜面堆積物であることが強く示唆される。

3.2 奥尻島北方におけるコアの化学組成

OS-2 コアにおける化学組成を第3表に、その深度変化を第8図に示した。OS-2 コアでは、23 cm の堆積物のうちユニモダルで広い粒度分布を示す 9-11 cm のみが半遠洋性堆積物で、それ以外の級化構造を示す堆積物は基底面が明瞭で全体に生物擾乱が認められず平行葉理や斜交葉理などの堆積構造が明瞭に残っていることから、タービダイトと考えられる。タービダイトのうち、最上位の 0-9 cm は堆積構造や粒度分布の連続性から一枚のタービダイトと考えられているが、0-6 cm は比較的均質な化学組成である。6-9 cm では、TiO₂, Al₂O₃, CaO, Sr 等の含有量が部分的に高い値を示し、逆に、Na₂O, Pb, Cu, Ni, Zn 等は低い値となった。岩相が 6 cm 以浅が砂質シルト、6 cm 以深が砂質組成のため化学組成にもその違いが現れているのであろう。半遠洋性の 9-10 cm 部分では、Pb, Cu, Ni が高濃度となっている。11 cm 以深で激減するのは、上記 3 元素の他に MgO, V, Zn, Cr, Co, Fe₂O₃ 等がある。

これらの化学組成における元素間の相関係数を第4表に示した。ここで、分割試料の長さが異なることから長さによる重みをつけて相関係数を計算している。この表から、主成分では TiO₂, Al₂O₃, CaO が強い相関をもっており、逆に Na₂O と負の相関関係にあることが分かる。また、重金属類の間では相互に相関が強く、MgO とも相関を有している。これらの相関は、6-9 cm の特徴的組成、および 11 cm を境界とする上下の組成の差異が大きく関わっていると考えられる。

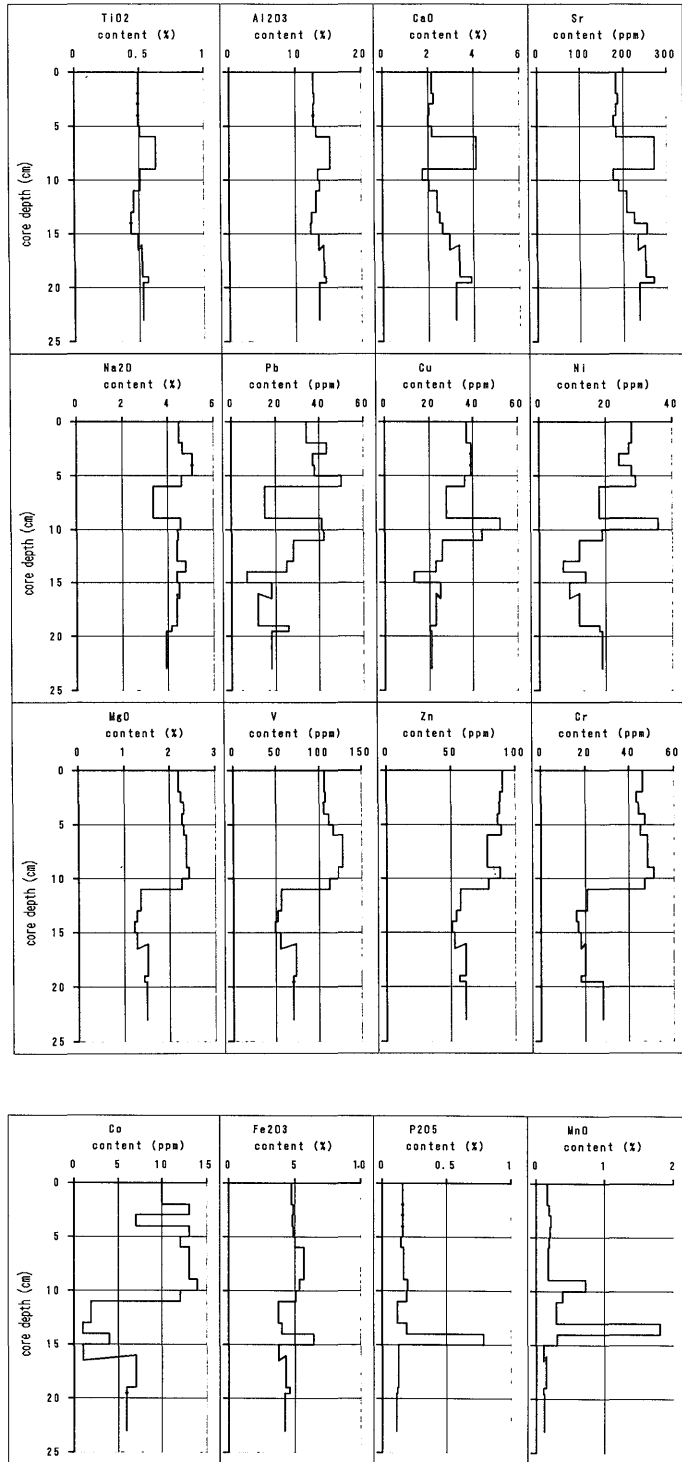
11 cm 以深の層準には含砂率が少なくとも 2 回 (11-19 cm, 19-21 cm) の級化が認められるほか、13-15 cm にかけても含水比の減少や中央粒径値・平均粒径値の増加が認められる (第9図) ことから、13-15 cm 層準でさらに 2-3 枚のタービダイトに分けられる可能性がある。また 21-23 cm も粒度分布の特徴から 1-2 枚のタービダイトからなると考えられる (金井・中嶋, 1995)。化学組成では元素による変化の様子が異なり、Co, Fe₂O₃, P₂O₅ 等の含有量が 14-15 cm で高くなっている。MnO 含有量は 9-15 cm の範囲で高く、特に 9-10 cm および 13-14 cm で高濃度となっている。15 cm で堆積物の色調の変化が認められ (第4図)、13-15 cm における Fe₂O₃, P₂O₅, MnO 等の含有量が高いのは、一度そこで酸化的環境下になった、もしくは酸化的な堆積物が運搬堆積したという理由が考えられる。詳細にみると、本コアでも GH 93-816 コアの場合と同様に Fe₂O₃ 含有量の最大層と MnO 含有量の最大層が幾分異なっていた。ここでも、古い時代にタービダイトの堆積によって堆積層の酸化還元環境に変化が生じたのかも知れない。

以上のことから、OS-2 コアでは数層のタービダイトが堆積しており、その化学組成も GH 93-816 コアの場合と幾分異なっていた。それぞれのタービダイトによって

第3表 OS-2 コアの化学組成

Table 3 Chemical composition of OS-2 core taken from off southwestern Hokkaido

core depth	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Zn Pb Co Ni Cr V Cu Sr Ba									
	%										ppm								
0-2cm	0.49	12.76	4.75	0.16	2.20	2.16	4.46	1.95	0.16	90	34	10	28	46	107	37	183	416	
2-3cm	0.49	12.89	4.89	0.18	2.23	2.22	4.64	1.98	0.16	88	43	13	27	43	108	39	189	431	
3-4cm	0.49	12.71	4.81	0.21	2.29	2.03	5.07	1.98	0.16	87	37	7	24	44	106	39	184	417	
4-5cm	0.49	12.78	4.89	0.20	2.26	2.00	5.09	2.03	0.16	86	38	13	28	47	111	39	177	438	
5-6cm	0.51	13.17	4.99	0.19	2.30	2.14	4.61	2.07	0.15	89	50	12	29	45	116	36	183	425	
6-9cm	0.63	15.23	5.66	0.17	2.36	4.11	3.35	1.95	0.17	78	15	13	18	48	128	28	273	456	
9-10cm	0.51	13.37	5.31	0.72	2.41	1.77	4.57	2.02	0.20	88	41	14	36	51	123	52	178	473	
10-11cm	0.51	13.65	5.07	0.39	2.25	2.03	4.42	2.03	0.19	79	42	12	19	47	112	44	190	463	
11-13cm	0.46	13.19	3.77	0.29	1.35	2.41	4.38	1.82	0.12	57	28	2	12	21	56	26	210	438	
13-14cm	0.44	12.48	4.04	1.81	1.27	2.50	4.77	1.73	0.19	54	25	1	7	16	52	23	226	424	
14-15cm	0.44	12.28	6.42	0.30	1.21	2.64	4.41	1.66	0.79	51	7	4	14	17	49	13	256	397	
15-16.5cm	0.49	13.51	3.76	0.11	1.28	2.96	4.49	1.74	0.13	53	18	1	9	18	55	25	235	417	
16-19cm	0.52	14.22	4.32	0.14	1.52	3.37	4.41	1.68	0.13	61	12	7	12	20	73	23	251	403	
19-19.5cm	0.56	14.58	4.56	0.11	1.44	3.89	4.17	1.60	0.12	56	26	6	18	18	70	20	271	421	
19.5-23cm	0.53	13.56	4.28	0.12	1.50	3.19	3.91	1.80	0.11	61	18	6	19	28	70	21	237	401	



第8図 OS-2 コアにおける化学組成の深度変化.

Fig. 8 Variation of chemical composition of OS-2 core with core depth.

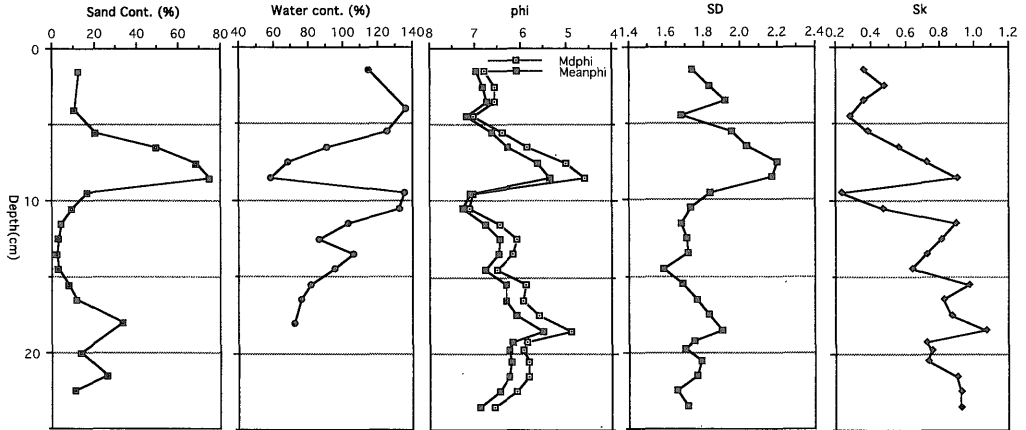
第4表 OS-2 コアの化学組成における相関係数

Table 4 Correlation matrix of chemical composition of OS-2 core

N=15

	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Zn	Pb	Co	Ni	Cr	V	Cu	Sr	Ba	
TiO ₂	1.00	0.91	0.40	-0.37	0.45	0.78	-0.82	0.17	-0.29	0.21	-0.31	0.55	0.07	0.41	0.57	-0.05	0.59	0.36	TiO ₂
Al ₂ O ₃		1.00	0.19	-0.34	0.18	0.86	-0.79	-0.11	-0.33	-0.08	-0.47	0.32	-0.23	0.11	0.32	-0.21	0.73	0.31	Al ₂ O ₃
Fe ₂ O ₃			1.00	-0.10	0.57	0.13	-0.30	0.37	0.64	0.43	-0.02	0.65	0.40	0.56	0.60	0.20	0.15	0.36	Fe ₂ O ₃
MnO				1.00	-0.15	-0.28	0.29	-0.04	0.12	-0.14	0.14	-0.24	-0.18	-0.15	-0.18	0.08	-0.15	0.21	MnO
MgO					1.00	-0.18	-0.08	0.89	-0.15	0.95	0.55	0.92	0.76	0.98	0.99	0.80	-0.38	0.64	MgO
CaO						1.00	-0.82	-0.45	-0.12	-0.40	-0.77	-0.01	-0.48	-0.23	-0.03	-0.63	0.95	-0.08	CaO
Na ₂ O							1.00	0.07	0.07	0.14	0.56	-0.20	0.20	-0.12	-0.21	0.38	-0.73	-0.20	Na ₂ O
K ₂ O								1.00	-0.17	0.89	0.72	0.74	0.75	0.93	0.84	0.84	-0.63	0.64	K ₂ O
P ₂ O ₅									1.00	-0.17	-0.24	-0.09	-0.06	-0.13	-0.17	-0.23	0.13	-0.13	P ₂ O ₅
Zn										1.00	0.69	0.84	0.86	0.94	0.90	0.85	-0.60	0.47	Zn
Pb											1.00	0.39	0.70	0.56	0.44	0.83	-0.88	0.40	Pb
Co												1.00	0.74	0.89	0.94	0.66	-0.20	0.56	Co
Ni													1.00	0.80	0.71	0.77	-0.64	0.32	Ni
Cr														1.00	0.96	0.79	-0.43	0.63	Cr
V															1.00	0.72	-0.25	0.65	V
Cu																1.00	-0.77	0.63	Cu
Sr																	1.00	-0.17	Sr
Ba																		1.00	Ba

□ and ■ indicate positive and negative correlation at 98% confidence, respectively



第9図 OS-2 コアにおける含砂率, 含水比, 粒径分布等の変化 Mdphi, Meanphi, SD, Sk は, 粒度測定における中央粒径値, 平均粒径値, 標準偏差, 歪み度を示し, φ スケールで表示されている。

Fig. 9 Vertical profiles of sand contents, water contents, median grain size (Mdphi), mean grain size (Meanphi), standard deviation (SD) and Skewness (Sk) of OS-2 core. Mdphi, Meanphi, SD and Sk are shown in phi (φ) scale.

化学組成の特徴が異なることから, タービダイトの起源も異なっていると考えられ, その酸化還元環境にも変化があったと推定される。

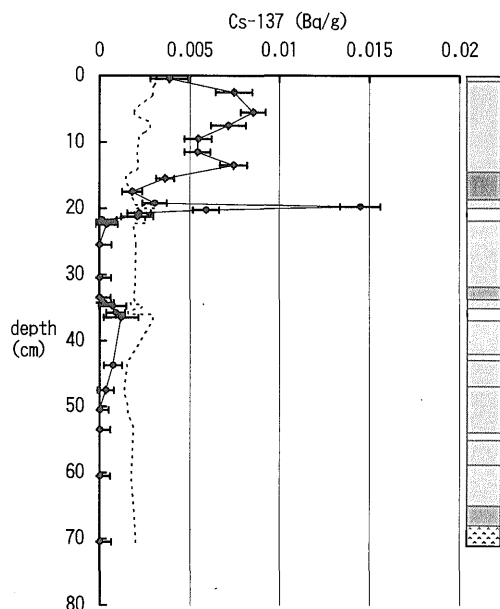
3.3 放射線強度分布特性

GH93-816 コア試料中の Cs-137, Pb-210, Pb-214 等の放射能測定結果を第5表に, 放射線強度変化を第10, 11 図に示した。同様に OS-2 コア試料における Cs-137, Pb-210, Pb-214 等の放射能測定結果も第6表に, 放射線強度変化を第12, 13 図に示した。Cs-137 は核実験によって生じた放射性核種で, 1954 年以降に堆積した堆積

物に確認される (Peirson, 1971)。今回の GH93-816 コアでは, 20 cm のところで急激に低下し, それ以深では検出限界以下となっている。この結果から, 20 cm よりも上位の堆積物は 1954 年以降の堆積物であることを示しており, 1983 年日本海中部地震に起因するタービダイトであることが示唆される (中嶋・金井, 1995)。また, OS-2 コア試料では全般に Cs-137 放射線強度は低いものの, 9 cm 以深においては検出限界以下となっており, 最上位のタービダイトは 1993 年北海道南西沖地震に起因したタービダイトであることを示している (金井・中

core depth (cm)	Pb-210 (Bq/g)	1σ	Pb-214 (Bq/g)	1σ	Cs-137 (Bq/g)	1σ	detection limit (Bq/g)
0 - 1	0.203 ± 0.015		0.033 ± 0.002		0.0039 ± 0.0011		0.0031
2 - 3	0.226 ± 0.014		0.035 ± 0.002		0.0074 ± 0.0010		0.0029
5 - 6	0.337 ± 0.021		0.028 ± 0.001		0.0085 ± 0.0007		0.0019
7 - 8	0.313 ± 0.014		0.040 ± 0.002		0.0071 ± 0.0010		0.0028
9 - 10	0.339 ± 0.011		0.032 ± 0.001		0.0054 ± 0.0008		0.0022
11 - 12	0.372 ± 0.012		0.032 ± 0.001		0.0054 ± 0.0007		0.0021
13 - 14	0.441 ± 0.012		0.032 ± 0.001		0.0074 ± 0.0008		0.0021
15 - 16	0.367 ± 0.008		0.030 ± 0.001		0.0036 ± 0.0005		0.0015
17 - 18	0.169 ± 0.008		0.037 ± 0.001		0.0018 ± 0.0006		0.0017
19 - 19.5	0.178 ± 0.009		0.031 ± 0.001		0.0030 ± 0.0007		0.0020
19.5 - 20	0.525 ± 0.015		0.034 ± 0.002		0.0145 ± 0.0011		0.0030
20 - 20.5	0.281 ± 0.010		0.026 ± 0.001		0.0059 ± 0.0007		0.0021
20.5 - 21	0.177 ± 0.009		0.030 ± 0.001		0.0022 ± 0.0007		0.0019
21 - 21.5	0.092 ± 0.012		0.037 ± 0.001		0.0021 ± 0.0009		0.0027
21.5 - 22	0.135 ± 0.013		0.055 ± 0.002		0.0001 ± 0.0008		0.0025
22 - 22.3	0.116 ± 0.015		0.040 ± 0.002		0.0000 ± 0.0008		0.0026
22.3 - 22.6	0.101 ± 0.011		0.028 ± 0.001		0.0004 ± 0.0006		0.0019
25 - 26	0.142 ± 0.012		0.031 ± 0.001		0.0000 ± 0.0007		0.0020
30 - 31	0.098 ± 0.010		0.029 ± 0.001		0.0000 ± 0.0006		0.0020
33 - 34	0.054 ± 0.010		0.030 ± 0.001		0.0000 ± 0.0006		0.0019
34 - 34.5	0.311 ± 0.009		0.035 ± 0.001		0.0002 ± 0.0006		0.0017
34.5 - 35	0.087 ± 0.010		0.030 ± 0.001		0.0007 ± 0.0008		0.0023
35.5 - 36	0.066 ± 0.007		0.031 ± 0.001		0.0009 ± 0.0005		0.0016
36 - 37	0.000 ± 0.013		0.056 ± 0.002		0.0012 ± 0.0010		0.0029
43.5 - 44	0.046 ± 0.006		0.027 ± 0.001		0.0007 ± 0.0005		0.0015
47 - 48	0.049 ± 0.006		0.030 ± 0.001		0.0003 ± 0.0005		0.0014
50 - 51	0.010 ± 0.007		0.030 ± 0.001		0.0000 ± 0.0005		0.0016
53 - 54	0.045 ± 0.008		0.034 ± 0.001		0.0000 ± 0.0006		0.0019
60 - 61	0.020 ± 0.008		0.034 ± 0.001		0.0000 ± 0.0006		0.0018
70 - 71	0.033 ± 0.009		0.034 ± 0.001		0.0000 ± 0.0006		0.0020

第5表 GH93-816 コアにおける Pb-210, Pb-214, Cs-137 等放射性各種濃度
Table 5 Pb-210, Pb-214 and Cs-137 radioactivities in GH93-816 core



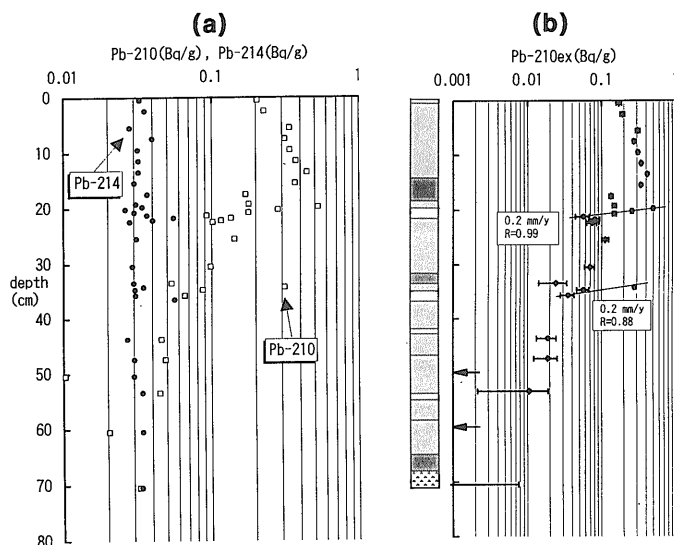
第10図 GH93-816 コアにおける¹³⁷Cs 放射能の深度変化
計数誤差は1σ。点線は測定時の検出限界を示す。

Fig. 10 Variation of ¹³⁷Cs radioactivity in GH93-816 core. Error bars indicate 1σ counting errors and dotted line is a level of detection limit.

嶋, 1995).

GH93-816 コアおよび OS-2 コアにおける Pb-210 と Pb-214 から計算される過剰²¹⁰Pb (²¹⁰Pb_{ex}) 強度変化を第11図および第13図に示す。GH93-816 コアでは、20 cm の半遠洋性堆積物の部分および 35 cm の部分で急激に減少しているのが認められる。一定の堆積速度で堆積する堆積物では、²¹⁰Pb_{ex} の対数は直線的に減少する (金井・池原, 1995 参照)。この半遠洋性堆積物部分で平均堆積速度を計算すると、おおよそ 0.2 mm/y となる。本コアの近くの GH92-724 (水深 3133 m) で、約 1000 年前に堆積した B-Tm テフラから推定した堆積速度は 0.06-0.07 mm/y であった (中嶋・金井, 1995)。OS-2 コア試料 (水深 3325 m) では測定点が 2 点しかないので誤差は大きいものの約 0.1 mm/y 程度の堆積速度が推定されている (金井・中嶋, 1995)。これらの結果は多少の相違はあるもののオーダ的には類似しており、井戸型の検出器を用いた少量試料放射能測定システム (金井, 1993) を使用することで、わずかに挟在する少量の半遠洋性堆積物からおおよその平均堆積速度を求めることができることが示された。

このようにして求めた半遠洋性堆積物の堆積速度 (0.01-0.02 cm/y) をほかの深海域での堆積速度と比較して第7表に示した。日本海域では、石狩海盆 (水深 820 m)・奥尻海盆 (水深 1415 m)・最上トラフ (水深 779



第11図 GH93-816 コアにおける (a) ^{210}Pb (□), ^{214}Pb (●), および (b) 過剰 ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) 放射能の深度変化。

Fig. 11 Variations of (a) ^{210}Pb (□), ^{214}Pb (●), and (b) excess ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) radioactivities in GH93-816 core. Error bars indicate 1σ counting error and straight line is a regression line of $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ activity in hemipelagic layers.

第6表 OS-2 コアにおける Pb-210, Pb-214, Cs-137 等放射性核種濃度
Table 6 Pb-210, Pb-214 and Cs-137 radioactivities in OS-2 core

core depth	Pb-210 (Bq/g)	1σ	Pb-214 (Bq/g)	1σ	Cs-137 (Bq/g)	1σ	detection limit (Bq/g)
0-2cm	0.341 ± 0.017		0.038 ± 0.003		0.0057 ± 0.0012		0.0036
2-3cm	0.330 ± 0.012		0.035 ± 0.002		0.0034 ± 0.0008		0.0024
3-4cm	0.338 ± 0.014		0.034 ± 0.002		0.0040 ± 0.0010		0.0028
4-5cm	0.306 ± 0.014		0.035 ± 0.002		0.0034 ± 0.0010		0.0029
5-6cm	0.272 ± 0.014		0.034 ± 0.002		0.0031 ± 0.0010		0.0029
6-9cm	0.168 ± 0.006		0.028 ± 0.001		0.0016 ± 0.0004		0.0011
9-10cm	0.372 ± 0.025		0.040 ± 0.004		0.0009 ± 0.0017		0.0053
10-11cm	0.053 ± 0.025		0.034 ± 0.004		0.0005 ± 0.0016		0.0050
11-13cm	0.050 ± 0.008		0.027 ± 0.001		0.0000 ± 0.0006		0.0017
13-14cm	0.069 ± 0.009		0.047 ± 0.002		0.0000 ± 0.0006		0.0019
14-15cm	0.044 ± 0.010		0.035 ± 0.002		0.0004 ± 0.0007		0.0021
15-16.5cm	0.040 ± 0.008		0.020 ± 0.001		0.0000 ± 0.0006		0.0018
16-19cm	0.034 ± 0.006		0.018 ± 0.001		0.0010 ± 0.0004		0.0012
19-19.5cm	0.031 ± 0.011		0.017 ± 0.002		0.0000 ± 0.0008		0.0026
19.5-23cm	0.027 ± 0.005		0.019 ± 0.001		0.0000 ± 0.0004		0.0012

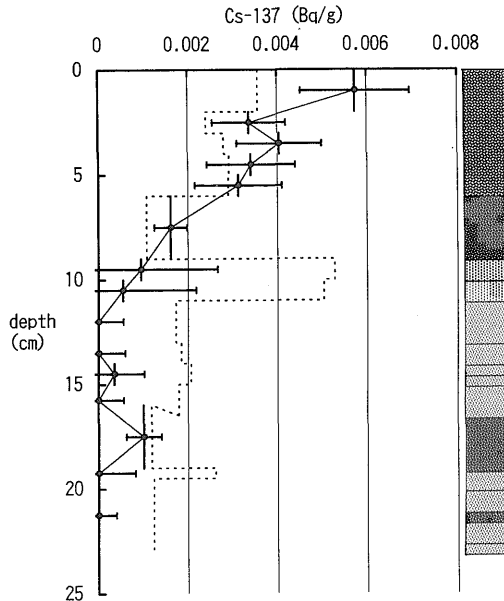
m)・富山トラフ(水深1120-1860m)・隠岐トラフ(水深1780m)等で、 $0.049-0.079\text{ g/cm}^2/\text{y}$ という値が ^{210}Pb 法により報告されている(鈴木, 1993)。堆積物の乾燥密度を2.45, 間隙率を69%と仮定して換算すると $0.06-0.1\text{ cm/y}$ となる。これらは水深が浅いこともあり、ここでの推定値よりも大きい。水深3000mを越える深海での堆積速度としては、太平洋(水深約1600-5600m)で $0.14-3.8\text{ cm/1000y}$ (Peng *et al.*, 1979; Cochran and

Krishnaswami, 1980; Aller and DeMaster, 1984; Yang *et al.*, 1986), 大西洋・北東大西洋(水深約5000m前後)で $0.5-2\text{ cm/1000y}$ (Stordal *et al.*, 1985; Kershaw, 1985; Smith *et al.*, 1986/87; Thomson *et al.*, 1988), 中央海嶺(水深約3000m前後)で $1.0-2.9\text{ cm/1000y}$ (Somayajulu *et al.*, 1983/84; Nozaki *et al.*, 1977), 北大西洋(水深1500-3200m)で 9 cm/1000y (Smith and Shafer, 1984)等があり, かなり遅い堆積速

度である。今回の結果はほぼ中間的な結果で、堆積物の主要供給源である陸域からの距離を考慮すると妥当なも

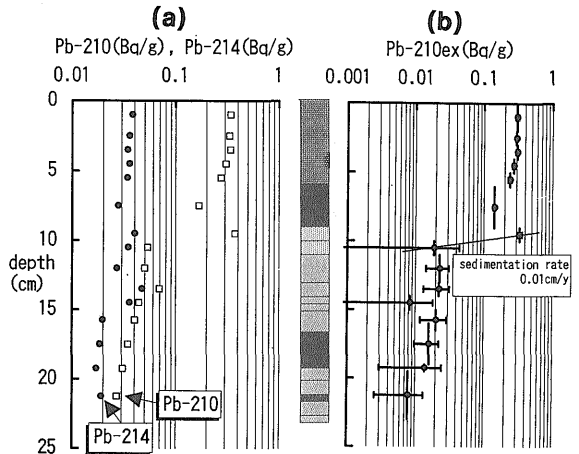
のといえる。

タービダイトが堆積物に混じるとその部分の過剰²¹⁰Pbは急激に減少することが多い。例えば、カナダのGeorgia海峡の堆積物ではタービダイト層で5桁以上の



第12図 OS-2コアにおける¹³⁷Cs放射能の深度変化 計数誤差は1σで、点線は測定時の検出限界を示す。

Fig. 12 Variation of ¹³⁷Cs radioactivity in OS-2 core. Error bars indicate 1σ counting errors and dotted line is a level of detection limit.



第13図 OS-2コアにおける (a) ²¹⁰Pb (□), ²¹⁴Pb (●), および (b) 過剰²¹⁰Pb (²¹⁰Pb_{ex}) 放射能の深度変化。

Fig. 13 Variations of (a) ²¹⁰Pb (□), ²¹⁴Pb (●) and (b) excess ²¹⁰Pb (²¹⁰Pb_{ex}) radioactivities in OS-2 core. Error bars indicate 1σ counting error and straight line is a regression line of ²¹⁰Pb_{ex} activity in hemipelagic layers.

第7表 様々な海域における堆積速度の一例

Table 7 Rates of sedimentation at various seafloors

core location	water depth	rate of sedimentation	references	
Japan Sea				
GH93-816	3282m	0.011-0.014g/cm ² /y	0.02cm/y	this study
OS-2	3673m [*]	0.007g/cm ² /y	0.01cm/y	
Ishikari basin	820m	0.053g/cm ² /y	0.07cm/y [*]	Suzuki(1993)
Okushiri basin	1415m	0.064g/cm ² /y	0.08cm/y [*]	
Mogami trough	1860m	0.065g/cm ² /y	0.09cm/y [*]	
Oki trough	1120m	0.073g/cm ² /y	0.1cm/y [*]	
Pacific Ocean				
	1598m		1.0-2.3cm/1000y	Peng et al.(1979)
	4640-5050m		0.14-0.30cm/y	Cochran and Krishnaswami(1980)
	3990m		2.3-3.8cm/1000y	Aller and DeMaster(1984)
	5381-5654m		0.4-1cm/1000y	Yang et al.(1986)
Atlantic Ocean				
	4660-5200m		0.5-2.0cm/1000y	Stordal et al.(1985)
	4760-5448m		0.8-2cm/1000y	Kershaw(1985)
	4400m		2cm/1000y	Smith et al.(1986/87)
	5400m		0.5-1cm/1000y	Thomson et al.(1988)
	1500-3200m		9cm/1000y	Smith and Schafer(1984)
Mid-ocean Ridge				
	3500m		1.0cm/1000y	Somayajulu et al.(1983/84)
	2600m		2.9cm/1000y	Nozaki et al.(1977)

*:calculated using the data of 2.45 as solid density and 69% as porosity

減少となっているし (Macdonald *et al.*, 1991), 黒海の堆積物でも3%に減少している (Cursius and Anderson, 1991). しかし, 当地域のタービダイトではいずれも検出限界よりもはるかに大きく, 最上位のタービダイトの平均でGH 93-816が0.26 Bq/g, OS-2が0.28 Bq/gであった. 日本海沿岸の表層堆積物中の過剰 ^{210}Pb は0.35-1.16 Bq/gという値が報告されており (鈴木, 1993), 新潟沖の表層堆積物においても0.41-0.76 Bq/gであった (金井・池原, 1995). これらのことから, タービダイトで急激に過剰 ^{210}Pb が低下するのは古い堆積物が堆積した場合であり, 本研究のタービダイトの場合には比較的新しい表層の堆積物が多く混入したため過剰 ^{210}Pb の低下が著しくないと考えられる.

タービダイト部分では過剰 ^{210}Pb 濃度は比較的一定である. 乱泥流が表層の新しい堆積物から下部の堆積物までを巻き込んで均質化しているためと考える. 半遠洋性堆積物の下部にある過去のタービダイトや半遠洋性堆積物では, 時として放射線強度が上位の半遠洋性堆積物よりも強くなる場合がみられる. 例えば, GH 93-816 コアの35 cmから急激に減少する部分では, 上位の半遠洋性堆積物の堆積よりも古いためその最下部の放射線強度よりも低いとみられたが, 初期強度は上位の半遠洋性堆積物の初期強度と同程度のかかなり高い放射線強度を有している. 中部北大西洋や東部太平洋でのボックスコアで観察された最表層部よりも下位の堆積層における過剰 ^{210}Pb の濃集はマンガンによる吸着メカニズムと推定されている (Somayajulu *et al.*, 1983/84; Finkel *et al.*, 1981). 本コアでも鉄とマンガンの濃度がタービダイト層よりも幾分高いので, こうした吸着のメカニズムや, 級化構造となるタービダイト層の最上位にPb-210の濃集した粒度の細かな粘土質シルトが堆積しているためではないかと推定しているが, こうした現象については今後詳細に検討していく予定である.

4. ま と め

日本海盆南東縁にあたる久六島西方, および北海道南西部にある後志海盆の両地域におけるタービダイトを含む海底堆積物 (GH 93-816 および OS-2) の化学組成と放射性核種の鉛直分布を明らかにし, その地球化学的挙動を検討した.

(1) タービダイトと半遠洋性堆積物の識別は, 粒度分布と化学組成の双方から可能であることが判明した. 特にGH 93-816 コアでは, タービダイト層の化学組成は半遠洋性堆積物と比較して Fe_2O_3 , MnO , Na_2O , P_2O_5 に乏しく, TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , CaO , MgO , V , Cr , Sr , Ba

等に富んでいる特徴が明らかになった. また, 微量元素パターンからタービダイトの起源が久六島西方の大陸棚斜面堆積物であることが強く示唆される.

(2) ^{137}Cs 放射能が検出される堆積物は1954年以降の堆積物であることから, ^{137}Cs 放射能測定を行うことによりタービダイトがいつの巨大地震によって誘起されたのか推定できる. GH 93-816 コアでは1983年日本海中部地震により, OS-2 コアでは1993年の北海道南西沖地震によって, 最上位のタービダイトがそれぞれ生じたと考えられる.

(3) 表層のタービダイト部分では過剰 ^{210}Pb 濃度は比較的高く一定であった. 乱泥流が表層の新しい堆積物から下部の堆積物までを巻き込んで均質化しているためと考えられた. また, タービダイトに挟在する薄い半遠洋性堆積物でも, 井戸型の検出器を用いる少量試料放射能測定装置でおおよその平均堆積速度 (0.01-0.02 cm/y) を算出できることを示した.

文 献

- Aller, R.C. and DeMaster, D.J. (1984) Estimates of particle flux and reworking at the deep-sea floor using $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ disequilibrium. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **67**, 308-318.
- Cochran, J.K. and Krishnaswami, S. (1980) Radium, thorium, uranium and ^{210}Pb in deep-sea sediments and sediment pore waters from the North Equatorial Pacific. *Amer. J. Sci.*, **280**, 849-889.
- Cursius, J. and Anderson, R.F. (1991) Immobility of ^{210}Pb in Black Sea sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **55**, 327-333.
- Finkel, R.C., Berger, W.H. and Chung, Y.C. (1981) Mn distributions in eastern equatorial Pacific sediments -evidence for an historical effect. *EOS*, **62**, 899.
- 金井 豊 (1993) 微量環境試料用井戸型 Ge 検出器の効率特性. *Radioisotopes*, **42**, 169-172.
- 金井 豊・池原 研 (1995) 新潟沖大陸棚の Pb-210 および Cs-137 法による堆積速度. 地調月報, **46**, 269-282.
- 金井 豊・中嶋 健 (1995) 放射能測定などによって明らかにされる1993年北海道南西沖地震に起因する海底タービダイト. *Ra-*

- radioisotopes*, **44**, 856-864.
- Kershaw, P. (1985) ^{14}C and ^{210}Pb in NE Atlantic sediments: evidence of biological reworking in the context of radioactive waste disposal. *J. Environ. Radioact.*, **2**, 115-134.
- 吉川清志・池原 研 (1991) 日本海東縁海域のコア (GH 90, GH 89-4 航海) に含まれるテフラ (火山灰) 層の化学組成と広域対比. 岡村行信編, 日本海中部東縁部大陸棚海域の海洋地質学的研究, 平成 2 年度研究概要報告書, 地質調査所, 92-106.
- Macdonald, R. W., Macdonald, D. M., O'Brien, M. C. and Gobeil, C. (1991) Accumulation of heavy metals (Pb, Zn, Cu, Cd), carbon and nitrogen in sediments from Strait of Georgia, B. C., Canada. *Mar. Chem.*, **34**, 109-135.
- 中嶋 健 (1993) 日本海久六島西方斜面でのタービダイトの海底観察, 第 9 回しんかいシンポジウム報告書, 海洋科学技術センター, 65-75.
- 中嶋 健・金井 豊 (1995) 1983 年日本海中部地震震源域でのタービダイトによる地震発生前隔の推定. 地震第 2 輯, **48**, 223-228.
- 中嶋 健・片山 肇・池原 研 (1994) GH 93 航海の堆積物. 岡村行信編, 日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究, 平成 5 年度研究概要報告書, 地質調査所, 148-173.
- Normark, W. R. and Piper, D. J. W. (1991) Initiation processes and flow evolution of turbidity currents: implications for the depositional record. In Osborne, R. H., ed., *From Shoreline to Abyss: Contribution to Marine Geology in Honor of Francis Parker Shepard*. SEPM Spec. Publ., **46**, 207-230.
- Nozaki, Y., Cochran, J. K., Turekian, K. K. and Keller, G. (1977) Radiocarbon and ^{210}Pb distribution in submersible-taken deep-sea cores from Project FAMOUS. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **34**, 167-173.
- 岡村行信 (1994) GH 93 航海の概要. 岡村行信編, 日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究, 平成 5 年度研究概要報告書, 地質調査所, 1-15.
- Peirson, D. H. (1971) Worldwide deposition of long-lived fission products from nuclear explosions. *Nature*, **234**, 79-80.
- Peng, T.-H., Broecker, W. S. and Berger, W. H. (1979) Rates of benthic mixing in deep-sea sediments as determined by radioactive tracers. *Quat. Res.*, **11**, 141-149.
- 佐藤博明・山野 誠・上田誠也・徳山英一・松田高明・木村政昭・倉本真一 (1986) 日本海盆南東縁での第四紀火山の存在について. 火山第 2 集, **31**, 193-201.
- Smith, J. N. and Schafer, C. T. (1984) Bioturbation processes in continental slope and rise sediments delineated by Pb-210, microfossil and textural indicators. *J. Mar. Res.*, **42**, 1117-1145.
- Smith, J. N., Boudeau, B. P. and Noshkin, V. (1986/87) Plutonium and ^{210}Pb distributions in northeast Atlantic sediments: subsurface anomalies caused by non-local mixing. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **81**, 15-28.
- Somayajulu, B. L. K., Sharma, P. and Berger, W. H. (1983/84) ^{10}Be , ^{14}C and U-Th decay series nuclides and $\delta^{18}\text{O}$ in a box core from the central North Atlantic. *Mar. Geol.*, **54**, 169-180.
- Stordal, M. C., Johnson, J. W., Guinasso, Jr. N. L. and Shink, D. R. (1985) Quantitative evaluation of bioturbation rates in deep ocean sediments II, comparison of rates determined by ^{210}Pb and $^{239,240}\text{Pu}$. *Mar. Chem.*, **17**, 99-114.
- 鈴木頼介 (1993) 近海海底堆積物中の ^{207}Bi および ^{137}Cs I. 日本海沿岸で採取した海底堆積物における分布. *Radioisotopes*, **42**, 503-510.
- 寺島 滋・中嶋 健・片山 肇・池原 研 (1994) 日本海東縁部から得られた堆積物柱状試料における重金属等の鉛直変化. 岡村行信編, 日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究, 平成 5 年度研究概要報告書, 地質調査所, 207-214.
- 寺島 滋・中嶋 健・片山 肇・今井 登・谷口政

- 碩(1995) 秋田-山形沖海底堆積物における重金属等の地球化学的研究. 地調月報, **46**, 153-176.
- Thomson, J., Colley, S. and Weaver, P. P. E. (1988) Bioturbation into a recently emplaced deep-sea turbidite surface as revealed by $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$, $^{230}\text{Th}_{\text{excess}}$ and planktonic foraminifera distributions. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **90**, 157-171.
- 地質調査所(1962) 日本産火山岩の化学成分. 地質調査所, 441 p.
- Yang, H.-S., Nozaki, Y., Sakai, H., Nagaya, Y. and Nakamura, K. (1986) Natural and man-made radionuclide distributions in Northwest Pacific deep-sea sediments: rates of sedimentation, bioturbation and ^{226}Ra migration. *Geochem. J.*, **20**, 29-40.

(受付: 1996年5月9日; 受理: 1996年7月5日)