論 説
 Original Article

日本海東縁海底下に分布する砂層の孔隙特性と年代：MD179 航海

内田 隆*・高島 勲*・須永 拓樹*・佐々木 静**・松本 良***

(Received May 10, 2012 ; accepted July 10, 2012)

Petrophysical properties and TL dating of sandy sediments in the eastern margin of Japan Sea : MD179 Leg

Takashi Uchida, Isao Takashima, Hiroki Sunaga, Shizuka Sasaki and Ryo Matsumoto

Abstract : In 2010 the MD179 project was undertaken aiming at recovery of deep seated gas hydrate, methane induced carbonate, and deep sediments older than 300 ka. Sediment samples were obtained in the Umitaka Spur, Joetsu Channel, Toyama Trough, Japan Basin, Nishi Tsugaru and Okushiri Ridge areas. Small amounts of sandy sediment have been retrieved as thin intercalations in Pleistocene and Holocene muddy layers, where trace fossils and strong bioturbations are commonly observed.

Those sandy sediments consist of very fine- to fine-grained sand grains, and are sometimes tuffaceous. Pore-size distribution measurements and thin-section observations of these sands were undertaken, which indicated that porosities of muddy sediments are around 50 % but those of arenites range from 42 to 52%. Mean pore sizes and permeabilities of those arenites are larger than those of mudstones. While the presence of gas hydrate in intergranular pores of sands has not been confirmed, the soupy occurrence in recovered sediments may strongly indicate the presence of hydrate filling the intergranular pore system of sands. Such arenites have been recognized till now in the Mallik, NW Territory Canada, as well as in the Nankai Trough areas, which are expected common even in the subsurface sandy sediments at the eastern margin of Japan Sea. Concentration of gas hydrate may need primary intergranular pores large enough for gas hydrate to occur within host sediments likely deposited in the sedimentary environment such as deep sea channels. Small amounts of sandy sediment were retrieved as thin intercalations in Pleistocene silty layers, because supplying sediments may not be abundant due to sea level fluctuation during Pleistocene ice age. As time of deposition of coarse-grained sediments can be recognized by the thermoluminescence (TL) dating method, sandy sediments are usually tuffaceous and contain a small amount of quartz grains, and TL dating has been completed only for seven samples, which indicate 48 to 980 ka in age. This study was performed as a part of the MH21 Research Consortium.

Keywords : sand, coarse-grained sediment, TL (thermoluminescence), pore properties, methane hydrate

1. はじめに

日本列島の太平洋側に走る南海トラフでは震探反射記録から BSR も広く分布することが報告されてきており、世界的にも屈指のメタンハイドレート分布が知られている。この地域東域に実施されてきた高分解能地震探査によりメタンハイドレートの分布が明瞭に示唆されているほか、2000 および 2004 年に掘削された基礎試錐「南海トラフ」および「東海沖～熊野灘」によっても海底下に高い濃集度のメタンハイドレート分布が確認された (Tsuji *et al.*, 2009;

Uchida and Tsuji, 2004)。さらに、1998 年と 2002 年にカナダ北極地域マッケンジーデルタにおいて掘削されたマリック坑井によって、永久凍土層下深度 890 ~ 1,110 m においてメタンハイドレートが卓越する砂層が確認され、それらの特性が明らかにされた。現場作業では連続的な LWD や物理検層データのほか、多くのメタンハイドレート含有砂試料が回収された (Dallimore *et al.*, 2005) ほか、2007 年と 2008 年には深度 1,000 m 付近のメタンハイドレート胚胎砂層からメタンガスの生産テストが実施され、大きな成功を収めた。

一方、日本海において新潟県上越沖に位置する上越海盆は、その南縁は陸棚に連なる急斜面となっており北方に海鷹海脚が伸びる (松本, 2009)。さらに、海鷹海脚の北西方向には上越海丘が南西～北東方向に分布する (Matsumoto *et al.*, 2009)。日本海東縁深海底下の堆積物は泥質岩を主体

* 秋田大学大学院工学資源学研究科 Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University

** 秋田大学工学資源学部 Department of Earth Science and Technology, Akita University

*** 東京大学大学院理学系研究科 Graduate School of Science, University of Tokyo

とするものの、少量の砂層を伴うことが多い。MD179 航海は、上越沖において数箇所調査を行い、その後富山トラフ、日本海盆、奥尻海嶺へと移動しながら調査を続行した。これらの粗粒堆積物（砂層および凝灰質砂層）の堆積年代、堆積環境および埋没続成過程を調べるため、MD179 航海で採取したコア試料を用いて熱ルミネッセンス (TL) 年代、粒度分析、孔隙率 / 浸透率測定、岩石薄片観察などを実施した。これらの測定やコア観察によって、粗粒堆積物粒子間孔隙の炭化水素ガスの移動への貢献度を検討するとともに、チムニーやフラクチャーだけではなく砂堆積層中にもメタンなどの炭化水素ガスの移動経路となっていたことを示すことができるであろう。メタンハイドレートがチムニーやフラクチャーを充填する産状やマウンドやノジュールなどの塊状の産状のみならず、南海トラフやマッケンジーデルタ地域と同様な粗粒堆積物の粒子間孔隙を充填する産状の可能性も考察することは重要である (Uchida *et al.*, 2004; Uchida *et al.*, 2005)。

2010 年に実施されたメタンハイドレート研究に関わる MD179 航海 (科学掘削船 Marion Dufresne による Leg179) によって数多くの長尺コア試料が回収され、その年代は 300ka にも及ぶ (仲村ほか, 2013)。砂堆積物が比較的多い太平洋側の南海トラフ地域に比べて、本調査地域の海底下堆積物中には粗粒堆積物は比較的少ない。このため、これまで泥質堆積物の研究は実施されてきたものの、粗粒堆積物の孔隙特性や起源に関する研究はほとんどない。

2. 堆積物試料

新潟県上越沖に位置する上越海盆は、その南縁は陸棚に連なる急斜面となっており、北方に海鷹海脚が伸びている。また、海鷹海脚の北西方向には上越海丘が南西-北東方向に分布している (Matsumoto *et al.*, 2009)。

本研究の対象である粗粒堆積物を採取したサイトは、以下のとおりである (Fig. 1)；

調査地域	サイト
海鷹海脚中央	3304
上越チャネル	3308
上越トラフ	3313
上越海盆南	3317
上越海盆北	3320
富山トラフ	3325, 3326
日本海盆	3327
奥尻海嶺	3329

どの海域においても、一般に堆積物は泥質細粒碎屑物を主体とし、少量の砂層を伴うことが多い。砂層は、極細粒～中粒砂を主体とし、マトリクスの少ないアレナイトであることが多い。厚い軟質の泥質層中には細かいラミナの発達認められ、わずかに厚さ数 mm ～数 cm 程度の薄い未固結の砂質ラミナやテフラが夾在する (Fig. 2, 3)。薄いシルト質および砂質ラミナが保存されている泥質卓越層が多く観察されたものの、しばしばシルト質 (～砂質) バローや泥質ペレットのような生痕などのほか、生物擾乱が顕著な部分が認められた (Fig. 4)。砂質ラミナは、細粒～中粒砂を主体とし、やや凝灰質であることが多い。数箇所の砂堆積物の挟みでは、回収時にスプー (スプー状) であったり、大部分の堆積物が流出した痕跡が認められた (Fig. 5)。

本研究では、上述のような砂質および泥質堆積物を採取した後分析までの間に変形や破壊が生じることを防止するために、プラスチックビン中に採取した。研究室に持ち帰った後、60℃で低温乾燥し、以下に示すような測定を実施して孔隙特性について検討した。

3. 孔隙特性の測定

前述のように、堆積物中の孔隙系をできるだけ変化させないように採取し保存した堆積物試料の孔隙特性を把握するために、以下の分析を実施した；

- (1) 孔径分布：水銀ポロシメータによって毛管圧分布を測定し、そのデータから孔径分布のほか孔隙率、計

Fig. 1 Locations of MD179 sites

Fig. 2 A sandy layer slightly deformed in a muddy layer (#3320)

Fig. 4 Strongly bioturbated muddy layer (#3320)

Fig. 3 Thinly laminated sediment layers (#3320)

Fig. 5 Sandy sediments showing a soupy occurrence (upper core) (#3308)

Fig. 6 Cumulative pore size distribution curves of sediments

算浸透率，計算比表面積を求めた。

- (2) 岩石薄片：ブルーレジンを圧入した堆積物試料の薄片を作製し，光学顕微鏡によって観察した。
- (3) 粒度分布：レーザー式粒度分析装置およびふるい法によって粒度分布を測定した。
- (4) TL年代：砂堆積物の年代および堆積環境を推定するため，TL（thermoluminescence）を測定した。

3.1 孔隙率，浸透率および孔径分布

十分に低温乾燥した岩石試料 1 g 程度を，サーモフィニガン社製 Pascal 140 型および Pascal 240 型水銀ポロシメータを用いて 0.1 kPa ～ 50 MPa の圧力を段階的に加え，毛管圧力 (P_c) と試料に圧入される水銀量の関係を測定した。これらの毛管圧力を(1)式によって孔（口）径値に変換し，水銀圧入量の累積曲線を作ることによって孔径分布が求め

た。また、水銀置換法で求めたバルク体積と水銀の総圧入体積から孔隙率を計算した。なお、約 0.1 kPa ~ 150 MPa の毛管圧力で測定できる孔隙の半径は、約 58,000 ~ 5 nm の範囲であり、毛管圧力 kg/cm^2 (P_c : kg/cm^2) と孔径 nm (r : 孔隙の半径) の関係式は、

$$r = -2\gamma \cos \theta / P_c \quad (1)$$

で示される。ただし、 γ は水銀の空気に対する表面張力 (480 dyne/cm)、 θ は水銀の接触角 (140°) である。

一方、計算浸透率 (K) は、測定圧力範囲 (減圧 ~ 150 MPa) における下式の内田 (1987) の経験式を用いて算出した。

$$\log K = 0.62 \times \log (\phi \times R^2 / \text{SSA}) + 0.675 \quad (2)$$

ただし、 ϕ は孔隙率 (%), R は中央孔径値 (μm : 1,000 nm), SSA は比表面積 (m^2/g) で、150 MPa までの測定値を使用する (Table 1)。

Fig. 6 に示したように、孔径分布の累積曲線の形状からも、砂堆積物は典型的なアレナイトであることが分かる (図中の太線: Table 1 の No.8, 9, 14, 15, 21, 22, 23) (内田・多田, 1992)。これらのアレナイト砂および凝灰質砂質堆積物 (マトリクスシルトを含む砂) の孔隙率は 42 ~ 52% の範囲を主体とする。

一方、泥質堆積物の孔隙率は 50% 程度である (Fig. 6)。平均孔径値は砂質堆積物で大きく、泥質になるに従って小さくなる。また、埋没深度が増すに従って砂質堆積物の孔隙率、浸透率および中央孔径値が減少する傾向が認められ

る (Fig. 7)。浸透率 (経験式に基づく計算浸透率値) も同様に、砂質堆積物で大きく泥質堆積物になるに従って小さくなる傾向がある (Fig. 8) (Uchida *et al.*, 2009)。

3.2 岩石薄片観察

岩石薄片鑑定は、孔隙にブルーレジン (青色に着色した樹脂) を浸潤させた岩石薄片を作製し、光学偏光顕微鏡を用いて行った。前項で述べたように、孔径分布の累積曲線の形状からアレナイトであると思われる砂堆積物は、岩石薄片観察からも確認できた。粒度は極細粒 ~ 細粒、円磨度は良くないが、淘汰度は良い。泥質堆積物には珪藻化石が含まれることが多い。

3.3 粒度分布

本研究で採取した砂堆積物の量がきわめて少なかったため、レーザー式粒度分析装置 (産総研 CILAS Granulometer 1064) を用いて砂質堆積物の粒度分析を行った。レーザー式粒度分析法では、一般に 0.1 ~ 500 μm が測定可能範囲となるため、500 μm を超える粗粒子についてはふるい法によって補完した。また、500 μm より細粒子について測定したふるい法とレーザー法による粒度分布にはやや差異があることが指摘されており、マリックや南海トラフ地域において測定された粒度分布データでも差が認められている (Uchida and Tsuji, 2004)。さらに、レーザー式測定法では 10 μm 以下の細粒子の分布が強調される傾向にあり、ふるい法と直接比較することはできないだけでなく、他のレーザー式分析装置の結果とも絶対値の比較は厳密には

Table 1 The results of pore-size distribution measurements

No.	Sample	Depth (m)	Total specific surface area (m^2/g)	Bulk density (g/cm^3)	Grain density (g/cm^3)	Median pore radius ($\text{\AA}$)	Porosity (%)	Calculated permeability (md)	Sample weight (g)	Total cumulative volume (mm^3/g)
1	MD179-15 #3304	0.77	20.40	1.15	2.87	2713	59.80	1.83	.272	518.75
2	MD179-17 #3304	10.80	14.49	1.32	2.65	1513	50.18	0.98	.255	380.78
3	MD179-18 #3304	20.95	12.33	1.39	2.86	2057	51.26	1.61	.438	368.26
4	MD179-8 #3304	32.45	7.99	1.22	3.02	10676	59.73	17.86	.202	491.58
5	MD179-16 #3304	35.30	14.98	1.45	2.73	1642	46.96	1.02	.653	324.66
6	MD179-7 #3308	32.90	8.87	1.36	2.81	5308	51.51	6.42	.264	378.03
7	MD179-19 #3313	0.60	27.01	0.87	2.46	3420	64.75	2.15	.282	747.16
8	MD179-11 #3313	7.49	7.42	1.39	1.39	22133	56.55	44.64	.183	406.01
9	MD179-3 #3313	7.85	7.19	1.30	2.67	36393	51.20	79.29	.41	392.68
10	MD179-20 #3313	11.96	16.94	1.38	2.71	1614	49.02	0.95	.476	355.04
11	MD179-6 #3313	30.92	3.83	1.13	2.43	11156	53.31	27.73	.312	470.83
12	MD179-21 #3313	31.30	17.52	1.48	2.91	1503	49.19	0.86	.276	332.61
13	MD179-13 #3317	9.55	11.88	1.34	2.72	4278	50.84	4.07	.432	380.56
14	MD179-4 #3320	5.92	12.63	1.56	5.28	115603	70.20	285.06	.162	453.09
15	MD179-10 #3320	6.83	14.56	1.32	3.52	67760	62.64	125.40	.144	475.69
16	MD179-22 #3325	1.47	25.93	0.99	2.65	3081	62.77	1.90	.274	636.50
17	MD179-12 #3325	7.22	12.97	1.41	3.14	10667	54.92	12.54	.307	388.60
18	MD179-23 #3325	11.29	9.87	1.43	2.82	3069	49.40	2.97	.459	346.41
19	MD179-5 #3326	3.18	7.79	1.58	2.74	5308	42.25	6.15	1.186	266.78
20	MD179- 1 #3327	1.72	18.96	1.61	3.31	1167	51.40	0.61	.204	319.12
21	MD179-24 #3329	0.38	5.87	1.28	2.87	39242	55.52	103.81	.342	435.38
22	MD179-14 #3329	1.00	4.82	2.39	7.66	59699	68.73	225.29	.117	287.18
23	MD179-2 #3329	1.55	3.25	1.08	3.27	27340	67.00	107.51	.388	620.62
24	MD179-25 #3329	7.40	20.26	1.21	2.79	2408	56.65	1.53	.327	467.89

Fig. 7 Porosities, permeabilities (calculated) and median pore radii
Large circle: sandy sediments, Small diamond: muddy sediments

Fig. 8 Porosity vs permeability of sediments obtained from pore size measurements
Large circle: sandy sediments
Small diamond: muddy sediments

Fig. 9 Grain size distribution curves of sandy sediments

Fig. 10 Depth changes of mean grain size of sediments

Fig. 11 Depth changes of sorting of sediments

できないとされている。ふるい法では、通常 5.0φ未満の細粒子は測定しない。以上のような理由から、粒度分布の積算曲線は 5.5φから急激に立ち上がる傾向を示す (Fig. 9)。

Fig. 10 および 11 に粒度分布の平均値 (Mean) と淘汰度 (Sorting) の深度変化を示す。粒度は肉眼観察結果と比較するとやや細粒部が強調されているように見え、平均値で砂に分類される試料は数個である。また、淘汰度はあまり変動なく比較的良好。

3.4 TL (Thermoluminescence) 年代測定

TL 年代測定法は、自然放射線や宇宙線の被曝総量を測ることによって土器などの土製品・岩石などの年代を求める比較的簡便な手法として 1980 年代から利用されるようになってきた。土器だけではなく砂などの粗粒堆積物に含まれる鉱物粒子が、高温に加熱されたときや太陽の光に十分に曝された時点 (この時を蓄積線量のゼロイングと呼

ぶ) からの蓄積線量の総量 (paleodose) を測定し、年間の被曝線量 (annual dose) (Table 2) で除することによって、ゼロイング時からの時間経過を求めることができる。年間の被曝線量を求めるには、試料中のウラン、トリウムおよびカリウム 40 の含有量を測定し、試料を採取した場所のガンマ線量の推定から宇宙線量を補正する。その測定可能年代範囲は、一般に 5000 年～100 万年程度とされている。若い年代では S/N が小さくなるため精度が悪くなる。TL 法年代測定では一般に石英粒子が用いられるが、長石粒子を測定することもある (塚本・岩田, 2005; 高島ほか, 2006)。

砂堆積物は全般に凝灰質であり層厚が薄く試料採取が少量であったため、含有石英粒子量が少なかったことから、TL 年代測定ができたのは 7 試料だけであった (Table 2)。測定の結果、48～980 ka の年代値が求められたが、試料

Table 2 The results of TL measurements and TL ages

Sample No.	Lithology	U (ppm)	Th (ppm)	K ₂ O (%)	Annual dose (mGy/a)	Paleodose (Gy)	TL Age (ka)
3327-22	tuffaceous sand	0.56	0.00	0.75	0.61	600	980
3304-95	tuffaceous sand	4.27	0.97	2.41	2.51	120	48
3313-96	tuffaceous sand	1.09	0.34	4.25	3.09	440	140
3320-142	sand	3.78	0.27	2.05	3.09	520	170
3325-122	sand	0.66	0.64	1.59	1.24	460	370
3317-55	sand	3.65	0.36	1.15	1.50	1,080	720
3329-100	tuffaceous sand	1.64	0.82	2.46	2.02	160	79

Table 3 The results of XRD mineral compositions

Sample	Lithology	smectite	illite	kaolinite	chlorite	quartz	feldspar	remarks
#3304 Depth 3,245 cm	sd Slt					–		opal-A
#3304 Depth 3,130 cm	Mst		–			+	–	opal-A, halite
#3308 Depth 2,852 cm	Mst		–	–		–	+	opal-A, halite
#3308 Depth 3,290 cm	Ss	–	–	–		++	–	opal-A, halite
#3313 Depth 749 cm	Tf	–	–	–		++	–	opal-A, halite
#3313 Depth 1196 cm	Mst	–	–	–		++	+	opal-A, halite
#3313 Depth 3,092 cm	Tf							opal-A abundant
#3313 Depth 3,096 cm	Tf		–					opal-A abundant, halite
#3313 Depth 3,130 cm	Mst	–	–	–		++	+	opal-A
#3317 Depth 785 cm	Ss	–	–	–		–	–	opal-A, halite
#3317 Depth 955 cm	Ss	–	–	–		–	–	opal-A, halite
#3317 Depth 1,035 cm	Mst	–	–	–		++	–	opal-A, halite
#3320 Depth 551 cm	Mst	–	–	–		–	–	opal-A abundant
#3320 Depth 592 cm	Ss	–	–	–		–	–	opal-A abundant
#3320 Depth 603 cm	Mst	–	–	–		++	–	opal-A, halite
#3320 Depth 683 cm	tf Ss	–	–	–		–	–	opal-A abundant, halite
#3325 Depth 722 cm	tf Ss	–	–	–		++	–	opal-A abundant, halite
#3325 Depth 735 cm	Mst	–	–	–		++	+	opal-A, halite
#3326 Depth 318 cm	tf Ss	–	–	–		+	+	opal-A abundant, halite
#3326 Depth 685 cm	Mst	–	–	–		++	+	opal-A
#3327 Depth 172 cm	Tf							opal-A abundant, halite
#3327 Depth 260 cm	Mst	–	–	–		+	–	opal-A, halite
#3329 Depth 100 cm	Ss	–	–	–		+	–	opal-A, halite
#3329 Depth 101 cm	Mst	–				–		opal-A
#3329 Depth 155 cm	Tf							opal-A abundant, halite

++ abundant + common – little - trace

の量が十分ではなく、放射性元素の分析と分離石英による発光測定精度が確保できなかった。このため、測定精度も $\pm 50\%$ 程度であることを留意する必要がある。

3.5 X線回折測定

以下の装置を用いて、粉末にした試料について定方位およびエチレングリコール処理のX線回折測定を実施した；

装置名：理学社製 Multi Flex

電圧：40 kV

電流：20 mA

線源：CuK α

回折角度：2 $\sim$ 40° (2 θ)

X線回折分析結果を、Table 3 に示す。

採取した砂堆積物試料は全般に凝灰質であり続成作用初期段階であるため、全ての試料で opal-A を多く含む。構成鉱物は石英および長石類を主体とし、少量のイライトおよびスメクタイト、カオリナイトがところどころに検出された。ハライトはほとんどの試料に含まれるが、2 θ が 31° 付近で被るためその一部はドロマイト、ジブサム、硫化物の可能性もある。

4. 考 察

日本海における調査地域の海底下堆積物中には粗粒堆積物はきわめて少ないものの、孔径分布累積曲線の形状および岩石薄片観察から砂堆積物の一部は南海トラフやマリク地域に類似したアレナイト砂 (Uchida *et al.*, 2004) であることが分かった。粒度はやや細粒ながら、孔隙率および浸透率などにおいて孔隙特性は良く似ている。これらのアレナイト砂およびシルト質砂 (マトリクスシルトを含む砂) の孔隙率は 42 $\sim$ 52% の範囲を主体とすることを考慮すると、粗粒堆積物中の粒子間孔隙における炭化水素ガスの移動は比較的容易なため、チムニーやフラクチャーだけではなく堆積層孔隙中も移動経路となりうると考えられる。また、今回の調査においてシルト質堆積物中にノジュール状ハイドレートが確認された。アレナイト砂中のハイドレート有無は不明であるものの、数箇所のコアでスーピーまたは砂の大部分が流出した砂質層が認められたことから、海底下の砂堆積層中では砂の粒子間孔隙を充填するメタンハイドレートが胚胎している可能性があることが示唆される (Uchida *et al.*, 2011)。ハイドレートの濃集には、浸透性の良い砂層またはフラクチャーなどに沿うメタンの集積が必要であることが示唆される (Uchida *et al.*, 2009)。物理化学的生成条件のみならず浸透性の良い粗粒砂層の分布がハイドレートの産状と濃集に重要な要因であると考えられる。

堆積物の埋没深度が浅く続成作用初期段階であるため、すべての試料で opal-A を多く含むものと思われる。埋没深度が増すに従って砂質堆積物の孔隙率、浸透率および中央孔径値が減少する傾向が認められ (Fig. 6)、堆積物は埋没後徐々に機械的圧密作用を受けていることを示す (Uchida *et al.*, 2009)。

今回採取したコア長がカバーする 150 ka 程度の期間における最終氷期から後氷期では、砂堆積物が比較的多い太

平洋側の南海トラフ地域に比べて、日本海における背弧海盆 (上越チャネルでも) には粗粒堆積物は比較的少ないと考えられる。

砂堆積物は全般に凝灰質であり層厚が薄く含有石英粒子量が少なかったことから、TL 年代測定ができた試料は 7 試料とわずかであった。測定の結果、48 $\sim$ 980 ka の年代値が求められたが、サイト 3317、3325 および 3327 の試料からの年代値は 150 ka を大幅に超えており、試料量が特に少なく放射性元素の分析と分離石英による発光測定精度が確保できなかったため、信頼性に欠けるといえる (Table 2)。測定精度も $\pm 50\%$ 程度であることを留意する必要がある。TL 年代測定法は比較的少量の試料で簡便に測定できる長所を有する反面、堆積時にゼロイングが確実に達成されたか、また測定精度に課題が残る。TL 法単独ではなく、測定原理が同じである OSL 法 (光刺激ルミネセンス) や ESR 法 (電子スピン共鳴) と組み合わせて議論することが多くなってきている。すでに年代が高い精度で決定されている広域テフラなどのキーベッドとの対比によって (仲村ほか, 2013; Freire *et al.*, 2011)、これらの TL 年代値の妥当性を判断する必要がある。

また、石英または長石砕屑粒子の TL 強度の温度変化から堆積物の運搬 (移動) 履歴が判断できるとの報告がある (例えば、岸本, 2008)。熱ルミネセンスは、低温では石英粒子の浅く寿命の短いトラップに捕らえられた電子が解放されて発光し、高温になるほど深いトラップに捕らえられた電子が発光する。石英では 330°C 以上で数十万年に対応し、通常 330 から 400°C での発光強度を評価することによって、堆積物が運搬される際にどのような侵食、運搬、風化作用を受けて地表に露出していたかを推定することが可能となる。粗粒堆積物の起源と堆積環境を明らかにするためには、上述のような被曝情報だけではなく、含有鉱物 (とくに重鉱物) の種類、量および性質などのほか堆積構造を認定する必要がある。

5. ま と め

- (1) 孔径分布測定と岩石薄片観察、粒度分析を実施した結果、粗粒堆積物は未固結な極細粒 $\sim$ 細粒砂で、それらの一部はマトリクスの少ないアレナイトである。孔隙率は 50% 前後で、アレナイトおよび凝灰質砂の平均孔径と浸透率はシルト岩や泥岩よりも大きい。このような浸透性の高い砂層では、メタンガスを含む地層流体が容易に移動することが可能なほど十分な浸透性を有している。
- (2) シルト質堆積物中にノジュール状ハイドレートが確認された。一方、アレナイト砂中のハイドレート有無は不明である。しかし、数箇所のコアでスーピーまたは砂の大部分が流出した砂質堆積層が認められたことから、堆積層中にあるメタンハイドレートがコア試料揚管に分解したことによって未固結砂が流動化した可能性がある。したがって、海底下の特に深海チャネル相のような砂層中では砂の粒子間孔隙を

充填するメタンハイドレートが胚胎している可能性があることが示唆された。

- (3) 砂堆積物は全般に量が少なく凝灰質であったため含有石英粒子量が少なかったことから、TL年代測定ができたのは7試料だけであり、48～980 kaの年代値が得られた。測定精度は良くないことを考慮する必要がある。

謝 辞

本発表は、東京大学を中心とする日本海メタンハイドレート研究グループによって日本海東縁の上越沖をはじめ西津軽沖、奥尻海嶺周辺域において採取したコア試料の分析結果である。秋田大学工学資源学部の伊藤智也君には船上作業と分析の一部作業をお願いした。石油資源開発技術研究所の辻 隆司博士には孔径分布測定の際に、また産総研つくばの中島 健博士にはレーザー式粒度分析の際に便宜を図っていただいた。2名の査読者からは原稿内容を精読し貴重なご指摘をいただいた。ここに記して、感謝の意を表する次第である。また、本研究は資源エネルギー庁/JOGMECのメタンハイドレート資源化プロジェクト(MH21)の一環として実施されたものである。

参 考 文 献

- Dallimore, S.R., Collett, T.S., Uchida, T. and Weber, M., 2005 : Overview of the science program for the Mallik 2002 Gas Hydrate Production Research Well Program. In *Scientific Results from the Mallik 2002 Gas Hydrate Production Research Well Program, Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada*, (ed.) S.R. Dallimore and T.S. Collett; Geological Survey of Canada, Bulletin, #585.
- Freire, A.F.M., Matsumoto, R., Santos, L.A., 2011 : Structural-stratigraphic control on the Umitaka Spur gas hydrates of Joetsu Basin in the eastern margin of Japan Sea. *Marine and Petroleum Geology*, **28**, 1967–1978.
- 岸本 瞬, 2008 : 長石の熱ルミネッセンス特性に基づく流砂系の土砂移動の分析. 東京大学工学部社会基盤学科(設計・技術戦略コース)卒業論文概要.
- 公文富士夫・山本正伸・長橋良隆・青池 寛 2009 : 最終間氷期の環境変動 - 日本列島陸域と周辺海域の比較と統合 -. 地質学雑誌, **115**, 301–310.
- Matsumoto, R., Okuda, Y., Hiruta, A., Tomaru, H., Takeuchi, E., Sanno, R., Suzuki, M., Tsuchinaga, K. and others, 2009 : Formation and collapse of gas hydrate deposits in high methane flux area of the Joetsu Basin, Eastern Margin of Japan Sea. *Journal of Geography*, **118**, 43–71.
- 松本 良, 2009 : メタンハイドレート - 海底下に氷状巨大炭素リザーバー発見のインパクト. 地学雑誌 **118**, 7–42.
- 仲村祐哉・須貝俊彦・石原武志・アントニオ フェルナンド フレイレ・松本 良 : MD179 日本海ガスハイドレート調査で得られた上越沖海底堆積物の後期更新世テフラ層序, 石技誌, **78**(1), 79–91.
- 高島 勲・村上英樹・ディクグエンホン・エディスチプタ・毛利陽司・柴田能辰, 2006 : 鬼首・鳴子カルデラ周辺の後期更新世火砕流堆積物及び火山岩の熱ルミネッセンス年代. 岩石鉱物科学, **35**, 70–77.
- Tsuji, Y., Fujii, T., Hayashi, M., Kitamura, R., Nakamizu, M., Ohbi, K., Saeki, T., Okui, K. et al., 2009 : Methane-hydrate occurrence and distribution in the eastern Nankai Trough, Japan. 228-246. In *AAPG Special Volume, Memoir 89: Natural Gas Hydrates - Energy Resource and Associated Geologic Hazards* (editors: Collet, T.S., Johnson, A., Knapp, C., and Boswel, R.).
- 塚本すみ子・岩田修二, 2005 : ルミネッセンス年代測定法の最近の進歩 - 適用年代の拡大と石英の OSL 成分について -. 地質学雑誌, **111**, 643–653.
- Uchida, T., Takashima, I., Ito, T. and Matsumoto, R., 2011 : Provenance of sandy sediments and their possibility of hosting gas hydrate in the eastern margin of Japan Sea. *Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2011)*, Edinburgh, Scotland, United Kingdom, July 17-21, 2011.
- Uchida, T., Waseda, A. and Namikawa, T., 2009 : Methane Accumulation and High Concentration of Gas Hydrate in Marine and Terrestrial Sandy Sediments. 1-13. In *AAPG Special Volume, Memoir 89: Natural Gas Hydrates-Energy Resource and Associated Geologic Hazards* (editors: Collet, T.S., Johnson, A., Knapp, C., and Boswel, R.).
- Uchida, T., Ochiai, K., Waseda, A., and Sawamura, F., 2005: Occurrence of Natural Gas Hydrate and Associated Gas Hydrate-Bearing Sediments in the JAPEx/JNOC/GSC et al. Mallik 5L-38 Gas Hydrate Production Research Well. In *Scientific Results from Mallik 2000 Gas Hydrate Production Research Well Program, Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada*, (ed.) S.R. Dallimore and T.S. Collett; Geological Survey of Canada, Bulletin. **585**.
- Uchida, T. and Tsuji, T., 2004 : Petrophysical properties of natural gas hydrates-bearing sands and their sedimentology in the Nankai Trough. *Resource Geology*, **54**, 79-87.
- Uchida, T., Lu, H., Tomaru, H. and the MITI Nankai Trough Shipboard Scientists, 2004 : Subsurface occurrence of natural gas hydrate in the Nankai Trough area : Implication for gas hydrate concentration. *Resource Geology*, **54**, 35–44.
- 内田 隆・多田隆治, 1992 : 砂岩の孔隙の性質 - その 2. 孔隙径分布曲線解析の天然砂岩への応用 -. 石技誌, **57**(3), 213–222.
- 内田 隆, 1987 : 貯留岩の浸透率と孔径分布について - 孔隙の岩石学的特性を考慮した浸透率の経験式の提唱 -. 石技誌, **52**(1), 1–11.