

堆積軟岩中のガス移動現象の評価の試み

西松建設 (正)○石山宏二, 埼玉大学 (正) 渡辺邦夫
石油資源開発 早稲田 周, 地球科学総合研究所 加藤 進
日本原子力研究開発機構 國丸貴紀

1. はじめに

堆積軟岩を掘削する際、岩石粒子に吸着していた、あるいは地下水に溶存していたメタンガス等の可燃性ガスがトンネル坑内に噴出するケースが見られるが、その流動形態に関する研究はほとんど見られない。今後、放射性廃棄物処分用坑道を堆積軟岩中に建設する場合、施工中のみならず長期間にわたる操業および維持管理において、ガスの移動・滞留形態に関しては、地下水同様、重要な管理項目の1つになると考える。そこで、北海道の新第三紀堆積軟岩を対象に、深度520mまで鉛直ボーリングした際に採取された試料からガスを抽出し、ガスの成因を炭素の同位体組成から検討するとともに、深度変化からガスの流れを遮る地層・地質構造の存在について推定を試みた。

2. 試料採取および分析方法・結果

深度260m～520m間の約10m毎にボーリング孔から採取されたコア29試料に対し、ヘッドスペース法によりガス抽出を行った。その後、JIS K 2301「燃料ガス及び天然ガスの試験方法」に基づき、ガスクロマトグラフを用いてO₂、N₂、CO₂および炭化水素(CH₄～C₆H₁₄)の定量を行った。また、ガスクロマトグラフ燃焼質量分析計にてガス炭素同位体組成を測定し、標準試料(PDB)を基準にした千分率偏差(δ¹³C; ‰)で表す。ガス分析の結果一覧を表1に示す。なお、メタン濃度10%以下の474.95mおよび495mの試料は、メタン炭素同位体組成(δ¹³C₁)が異常に重い値を示したことから、容器からのリークが推定されたため、この後の検討対象から除外した。

3. ガスの成因(微生物起源 or 熱分解起源) および深度変化に関する検討

ガスの成因は、有機成因説に従い微生物起源(Microbial)とケロジェンの熱分解起源(Thermogenic)の大きく2つに分けて考える¹⁾。これら2つの起源のガスは、図1に示すように炭化水素の組成比も同位体組成も異なる。今回採取・分析したガスのメタン炭素同位体組成は、大部分の試料が-60～-50‰を示し、微生物起源ガスと熱分解起源ガスの混合と推定されるが、通常の混合ガスに比べてC₁/(C₂+C₃)が高い¹⁾。これは、ガスが地層中の深部から浅部へ移動する際に炭素数の多い炭化水素ほど岩石粒子に吸着されたためと推定している。図2に示すように、エタン炭素同位体組成は-38.3～-30.3‰である。図2および3の中のビトリナイト反射率(R₀)～同位体組成の熟成ライ

表1 ヘッドスペースガス分析結果一覧

	深度 (m)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	炭 化 水 素 (ppm)								CO ₂ ウェットネス (ppm)	C ₁ /C ₂ +C ₃	C ₂ /C ₃	i-C ₄ /n-C ₄	δ ¹³ C (‰)					
				C ₁	C ₂	C ₃	i-C ₄	n-C ₄	i-C ₅	n-C ₅	n-C ₆					C ₁	C ₂	C ₃	i-C ₄	n-C ₄	CO ₂
1	262.85 ~ 262.90	0.49	33.54	621,671	58	1	0	0	0	0	37,995	0.01	10464	59.14	-52.8	-36.8				+4.7	
2	274.35 ~ 274.40	0.78	60.00	375,723	33	1	0	0	0	0	16,390	0.01	11183	32.88	-48.8					-2.6	
3	280.35 ~ 280.40	1.00	78.03	190,222	20	1	0	0	0	0	19,470	0.01	8928	19.35	-41.1					-4.6	
4	287.95 ~ 288.00	0.97	73.98	237,793	34	1	0	0	0	0	12,704	0.01	6694	28.69	-53.3					+4.2	
5	289.45 ~ 289.50	1.00	77.38	208,280	0	0	0	0	0	0	7,899	0.00			-51.1					+2.1	
6	299.15 ~ 299.20	0.88	68.62	289,278	44	2	0	1	0	0	15,682	0.02	6279	19.97	0.00	-53.6	-38.3			+3.7	
7	307.70 ~ 307.75	0.67	51.58	440,109	54	3	0	2	2	1	37,400	0.01	7626	15.51	0.00	-53.9	-37.6			+5.6	
8	316.85 ~ 316.90	0.84	65.24	313,135	50	1	0	0	0	0	25,963	0.02	6161	43.86		-50.6	-35.7			+4.1	
9	325.45 ~ 325.50	0.69	52.41	456,456	63	2	0	0	0	0	12,517	0.01	7054	30.19		-54.2	-31.5			+5.0	
10	336.05 ~ 336.10	0.71	54.46	431,955	65	3	0	3	1	0	16,276	0.02	6367	23.50		-52.4	-30.3			+9.3	
11	342.95 ~ 343.00	0.67	49.85	483,204	76	3	0	0	7	3	11,519	0.02	6132	25.73		-53.4	-31.0			+9.1	
12	354.95 ~ 355.00	0.60	45.71	498,562	78	2	0	0	0	0	38,247	0.02	6232	44.14		-49.1	-36.5			+12.2	
13	366.95 ~ 367.00	3.15	55.31	380,160	64	3	0	0	0	0	35,200	0.02	5723	25.36		-55.5	-36.9			+6.8	
14	375.65 ~ 375.70	6.64	60.53	290,532	51	1	0	0	0	0	37,764	0.02	5560	39.09		-55.8	-35.7			+6.2	
15	385.00 ~ 385.05	3.11	53.58	404,608	77	4	0	1	2	2	28,373	0.02	4968	18.64	0.00	-54.7	-33.9			+8.7	
16	396.93 ~ 397.70	5.34	57.14	331,737	62	3	0	0	0	0	43,372	0.02	5107	22.47		-54.8	-31.0			+9.8	
17	405.65 ~ 405.70	7.07	67.64	206,282	60	3	1	2	3	1	46,584	0.03	3276	18.73	0.64	-51.8	-35.9			+3.9	
18	416.00 ~ 416.05	4.66	76.81	174,274	56	9	2	2	4	1	10,972	0.04	2671	6.13	1.19	-47.7	-33.5			-0.2	
19	425.40 ~ 425.45	3.03	55.96	379,084	125	35	16	9	14	5	30,848	0.05	2371	3.55	1.72	-56.1	-38.0	-19.4		+3.6	
20	435.00 ~ 435.05	1.33	52.59	421,628	174	125	33	18	17	4	38,798	0.08	1408	1.39	1.80	-56.2	-33.5	-18.1	-25.9	-20.7	+4.1
21	444.95 ~ 445.00	4.28	65.19	251,577	127	108	28	19	18	6	53,405	0.11	1071	1.17	1.44	-53.8	-33.0	-18.8	-26.3	-20.9	+3.0
22	455.00 ~ 455.05	2.50	78.21	143,510	104	105	24	23	20	7	49,161	0.18	687	0.98	1.06	-52.9	-32.7	-19.3	-26.4	-20.8	+2.3
23	465.00 ~ 465.05	4.39	79.18	139,118	80	26	4	4	3	0	25,076	0.08	1316	3.06	0.95	-53.6	-34.6	-19.6		+3.5	
24	485.00 ~ 485.05	1.91	64.10	271,628	103	9	0	3	1	2	268,155	0.04	2429	11.93	0.00	-55.8	-35.8			+4.8	
25	504.00 ~ 504.05	5.33	66.76	242,278	76	24	11	11	14	5	36,671	0.05	2421	3.18	0.99	-51.9	-32.4	-18.8	-26.7	-22.2	+0.7
26	515.00 ~ 515.07	1.06	83.17	129,008	73	12	2	2	2	1	28,623	0.07	1523	6.18	0.98	-45.7	-33.2	-20.0		+2.2	
27	520.00 ~ 520.05	0.93	72.40	242,849	113	6	0	0	0	0	23,767	0.05	2045	18.97		-49.5	-34.8			+0.9	
28	474.95 ~ 475.00 *	1.53	97.47	3,832	4	2	0	0	0	0	6,164	0.15	683	1.77							
29	495.00 ~ 495.05 *	13.14	79.11	59,829	29	6	4	5	12	5	17,669	0.07	1687	4.91	0.85						

*: 容器からガスリーク

ウェットネス=(C₂+C₃+i-C₄+n-C₄)/(C₁+C₂+C₃+i-C₄+n-C₄)×100

キーワード ヘッドスペースガス、炭素同位体組成、微生物起源、熱分解起源、深度変化

連絡先 〒105-8401 東京都港区虎ノ門1-20-10 TEL. 03-3502-0263 FAX. 03-3502-0228

ンは、東北日本天然ガスについて作成されたライン¹⁾を基に、北海道の夾炭層起源のガスを想定して、夾炭層起源の原油の炭素同位体組成²⁾から根源ケロジェンの炭素同位体組成を補正して作成したものである。試料のエタン炭素同位体組成は熟成ラインから想定される値よりも軽く、エタンについても微生物起源と熱分解起源が混合していると推定される。プロパン炭素同位体組成は 425.4m 以深の 7 試料のみ分析できた。図 3 に示すように、プロパン炭素同位体組成は -20.0~-18.1‰ であり、上述の熟成ラインより重い。この原因として、メタンやエタンよりプロパンが選択的に分解される微生物分解作用を受けた結果として、プロパン炭素同位体組成が重くなった可能性がある。しかし、微生物分解を受けたガスは $i\text{-C}_4/n\text{-C}_4$ が 2 以上を示し、 C_2/C_3 も異常に高くなるが、表 1 に示すように本試料ではそのような値を示していない。したがって、微生物分解の可能性は低いと考えられる。このように、プロパン炭素同位体組成が微生物分解によって変質しておらず、ガスが深部の夾炭層起源とすると、ビトリナイト反射率換算で 2.0% 前後の高い熟成度でガスが生成したと推定される。

図 4 に示すように、組成の深度変化をみると、深度とともに 455m まで $\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3)$ が減少し、これ以深でやや増加する傾向が見られる。一方、メタン、エタンの炭素同位体組成は深度に対して不規則な変化を示すが、両者の変化傾向は比較的同調しており、深度 350m、420m、500m 付近に組成が変化しているように見える。これらの境界は、ガス流体の流れを遮る断層などの地層・地質構造の存在を窺わせる。

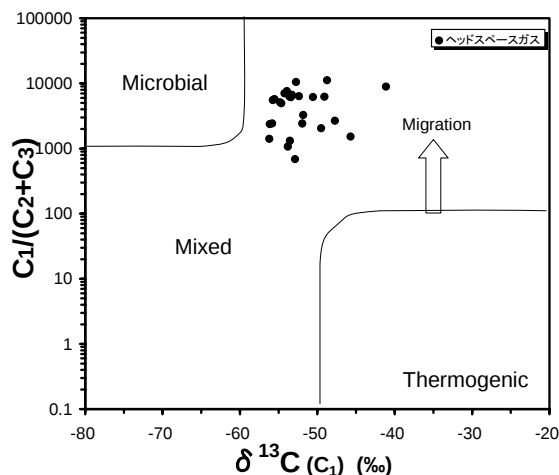


図 1 メタン(C_1)炭素同位体組成とガス組成

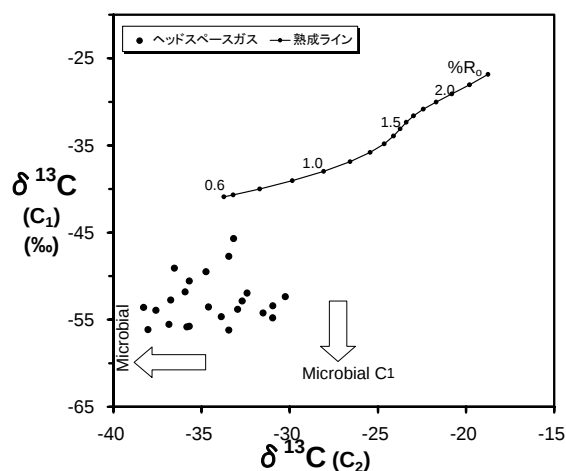


図 2 メタン(C_1)とエタン(C_2)の炭素同位体組成

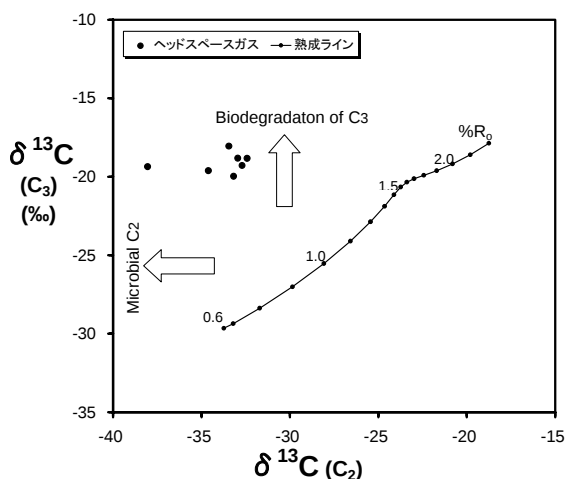


図 3 エタン(C_2)とプロパン(C_3)の炭素同位体組成

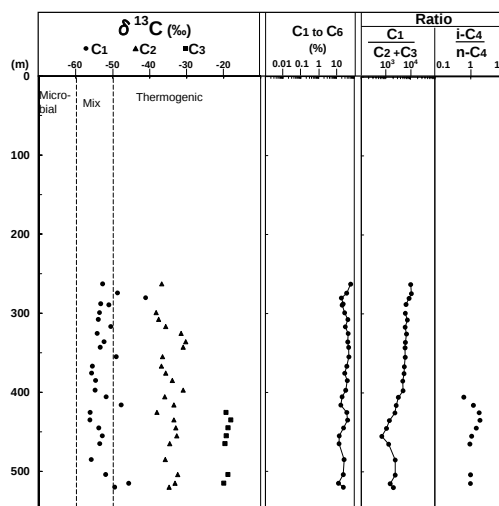


図 4 ヘッドスペースガス分析結果の深度変化

4. おわりに

堆積軟岩中に在るガスの成因を炭素の同位体組成から検討するとともに、深度変化からガスの流れを遮る地層・地質構造の存在について推定を試みた。今後、地質情報との比較検討を行い、ガス移動現象の評価・把握を進める。

【参考文献】

- 1) 早稲田, 岩野, 武田: 地球化学からみた天然ガスの成因と熟成度. 石油技術協会誌, No. 1, Vol. 67, pp. 3-15, 2002.
- 2) Waseda, A. and Nishita, H., Geochemical Characteristics of Terrestrial- and Marine-Sourced Oils in Hokkaido, Japan, *Organic Geochemistry*, **28**, pp.27-41, 1998.