報 告

石油システムにおける石炭からのガス生成機構の問題点*

鈴木祐一郎**・藤井 敬三***

(Received July 7, 2001; accepted January 13, 2002)

Some problems on petroleum system for the gas generation from coal source rocks

Yuichiro Suzuki and Keizo Fujii

Abstract: Recently source rock potentials on coals in Japan have attracted interests by the discoveries of Yufutsu oil/gas field and a new gas-field at offshore in Sanriku District, in which coals were assumed as their source rocks. The gas generation mechanism and gas potentials of coal as a source rocks in the petroleum system is discussed in this paper.

On the van Krevelen diagram, several Japanese coals are plotted in the area between type II and type III organic matter. Petrographical and ultimate analyses on coals revealed that the high hydrogen contents of Japanese coals are caused by abundant degradinite, a maceral of vitrinite group. The degradinite is observed such mixture as very small fragments of the virinite (type III organic matter) and exinite (type II organic matter) under the microscope. The oil generation is assumed to begin at $R_o=0.5$, but only dehydration and decarboxylation continue until $R_o=1.0$, and the demethylation occurs later along the curve on van Krevelen diagram, resulting in the decrease of H/C atomic ratio.

It is difficult for the degradinite in the oil window ($R_o=0.5$ to 1.0) to generate hydrocarbons because of its difficulty of primary migration from coals. The compositions of gases from Japanese coal mines showed that CH_4 content in hydrocarbon was more than 99% with a few exceptions. It suggests that little hydrocarbons are generated and migrated from coals in the oil window. Coals and terrestrial organic matters have been treated as gas source rocks only, and acknowledged to generated gas after $R_o=0.5$ in the previous studies. However in the petroleum systems for the basins of non-marine or deltaic environment, hydrogen rich coals, such as Japanese coals, should be awarded that non-migrating oil-drops in micron size could have generated light hydrocarbons in the gas generation window when a thermal clacking of oil and bitumen begun.

Key words: coal, source rock, degradinite, hydrogen rich coal, Japanese coal, van Krevelen diagram, coal mine gas, thermal cracking gas, petroleum system

* 平成13年 5月30日, 平成13年度石油技術協会春季講演会地質・探鉱部門シンポジウム「新しい時代のガス資源」にて講演 This paper was presented at the 2001 JAPT Geology and Exploration Symposium entitled "Natural gas: its origins and resource potential in the 21st century" held in Makuhari, Chiba, Japan, May 30, 2001

** 独立行政法人 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門
Institute of Geo-resources and Environment Research,
National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology.

*** 静岡大学教育学部 Faculty of Education, Shizuoka University

1. はじめに

石炭は植物起源, 石油は動物 (プランクトン) 起源という考え方が従来は支配的で, 石炭の堆積する環境では炭田ガス由来の小規模ガス鉱床以外には石油・ガス鉱床は成立しないとの考えが一般的であった (例えば Tissot and Welte, 1984)。しかし, インドネシアのマハカムデルタ (Hoffmann *et al.*, 1984) やオーストラリアのギブスランド堆積盆 (Philp *et al.*, 1983) などの油・ガス田では, 根源岩が明らかに石炭であると考えられ, またわが

国でも石炭を伴う堆積盆で常磐沖ガス田や勇払ガス田が発見され(藤井, 森谷, 1998), ガス根源岩としての石炭への注目度が大きくなっている。

従来, 石炭や陸源高等植物はガス指向の根源有機物として取り扱われ, Tissot *et al.* (1974) は van Krevelen 図(van Krevelen, 1961)上でタイプⅢ有機物(ケロジェン)に区分した。石油システム上ではタイプⅢ有機物は, 直接的にガスが発生する根源有機物として取り扱われている。しかし, 油田が成立している炭田堆積盆もまれではあるが存在している(MacGregor, 1994)。逆に, 熟成帯に達した石炭が多量に存在する堆積盆でもガス田が成立していない場合は多い。

筆者らはこれまで, 炭田堆積盆での石炭の形成過程について, 石炭地質, 炭質解析, バイオマーカーなどの有機地化学的手法により解析を進めてきた(藤井ら, 1979; Suzuki and Fujii, 1995; 鈴木・藤井, 1999など)。本論では, 主にこれまで進めてきた炭田地域での炭質解析を基に, 石炭の根源岩能力についての問題を明らかにするとともに, 石油システムにおけるガス根源岩としての石炭について検討する。

2. 石炭の根源岩タイプ

根源有機物のタイプ区分や地下での熱的な続成変化を理解する上で, 有効な手法として有機物の元素組成に基づく van Krevelen 図上での解析がある。炭素に対する水素と酸素の原子比, つまり H/C と O/C を軸にとったこの図上で, 主に H/C の違いにより有機タイプが区分される。また各タイプの根源有機物の熱的变化の過程は進化曲線として示されている。根源有機物はその代表的な性質を持つものとして, タイプⅠ, タイプⅡ, タイプⅢが知られており, タイプⅠ有機物は淡水棲藻類, タイプⅡ有機物は海生プランクトン, タイプⅢ有機物は陸上高等植物起源とされている(Tissot *et al.*, 1974)。

図1に日本, 中国およびインドネシアの石炭を van Krevelen 図上にプロットしたものを示す。日本炭の試料を採取した炭鉱の位置および各石炭を含む炭田, 地層, 地質時代等は, 鈴木・藤井(1995)に示してある。中国の石炭では, 撫順炭田(Fushun Coal-field)は, 古第三紀始新世に堆積した炭田である。阜新炭田(Fuxin Coal-field)は, 中国東北部遼寧省の西部にある白亜紀前期に形成された炭田である。オルドス炭田(Ordos Coal-field)は, 中国の陝西省から内蒙古自治区にかけて広がるオルドス高原地域に分布するジュラ紀の炭田である。エンバルト(Embalt)炭鉱はインドネシア東カリマンタン州サマリダ市北西20kmにあり, クタイ堆積盆(Kutai Basin)内のマハカム川流域やデルタ

図1 van Krevelen 図上における日本炭, 中国撫順炭, 阜新炭(白亜紀), オルドス炭(ジュラ紀)およびエンバルト炭(インドネシア東カリマンタン)

図中の等反射率線は, おおよその目安である。

TAI (100% DEG): 計算で求めた太平洋炭鉱の純粋なデグラディナイト。

IKE (100% DEG): 計算で求めた池島炭鉱の純粋なデグラディナイト。

に発達する炭田内にある。炭層は中期中新世のプルバラン層(Pulubalang Formation)およびバリクパパン層(Balikpapan Formation)中に20層以上が存在している。

一般に石炭は, タイプⅢ有機物の領域にプロットされることが知られている(van Krevelen, 1961)。白亜紀の阜新炭は, 図1上でタイプⅢ有機物の領域にプロットされている。オルドスの石炭は, タイプⅢ有機物よりもさらに水素分に乏しい領域に分布している。この原因は, 水素に乏しい石炭マセラルであるイナートナイトを多く含むためである。

図1に示された日本の石炭は, タイプⅡ有機物とタイプⅢ有機物の中間に分布している。一部の石炭試料は, タイプⅡ有機物に近い位置にプロットされる。つまり分析した日本の石炭は, タイプⅢ有機物にタイプⅡ有機物であるエグジナイトグループの有機物が混合して構成さ

れていると考えられる。このことは、石炭の構成要素である石炭組織（マセラル）組成に反映されていることが期待される。

意外なことに、現在陸源高等植物起源とされる原油が生産されているインドネシア東カリマンタン州マハカムデルタ地域に関し、サマリダ市西方にあるエンバルト（Embalt）炭鉱の石炭が日本炭よりも水素分に乏しく、タイプⅢ有機物の変化曲線に近い位置に分布している。

太平洋炭鉱での、石炭組織組成と元素分析結果の解析結果およびそれから導かれる高水素分の原因となるマセラルについては、鈴木・藤井（1995）や Suzuki and Fujii（1995）などで報告しているが、ここで簡単に述べる。埋没履歴の差による熱の影響を取り除くため、炭鉱内の同一地点で単一の炭層から数 cm 間隔で詳細なサンプリングを行い、その試料に対して元素分析や石炭組織分析を行った。炭層は、厚さ数 m 程度であり、炭層内の最上部と最下部での埋没深度の差は埋没深度全体に比べ十分無視できるので、炭層全体が同一熱履歴であると判断できる。太平洋炭鉱の解析の結果、石炭組織成分の1つであるデグラディナイトの組成比率が、H/C とよい相関を示すことが明らかにされた（図2）。この相関関係およびデグラディナイトと O/C の相関関係から純粋な（100%）のデグラディナイトの H/C、O/C を計算で求めた。同様の手法により太平洋炭鉱よりも熟成度の高い池島炭鉱の石炭についても純粋なデグラディナイトの H/C、O/C の値を求めた。結果を図1の van Krevelen 図上に示している。その位置はほぼタイプⅡ有機物の変

化曲線上にある。

「JIS M 8816 石炭の微細組織成分及び反射率測定法」（1992）では、表1に示されるようにデグラディナイトは、ビトリナイトグループに属している。しかし、鈴木・藤井（1995）や Suzuki and Fujii（1995）、鈴木・藤井（1999）の結果から、デグラディナイトは明らかにエグジナイトグループに属すべきであり、日本炭がタイプⅢ有機物のビトリナイトとタイプⅡ有機物のエグジナイトの混合物であるとされる van Krevelen 図上での結果と一致する。

3. デグラディナイトの堆積環境

石炭の堆積環境は、石炭の石油・ガス根源岩能力を考える上で重要である。数十層の炭層が、堆積岩中に繰り返して夾在するアメリカのアパラチア炭田の石炭研究から、サイクロセム（堆積輪廻）の考え方が提出された。この考えは、1回の海進海退サイクルの間に一つの炭層が形成されるという考えで、現在の海水準変動の考えと類似している。石狩炭田の堆積環境を論じた手島（1971）では、サイクロセム環境下での石炭の起源物質である陸上高等植物の集積・堆積作用として、異地性起源説である流木説を用いて説明している。石炭組織成分分析でも、石炭の大部分が木質（ビトリナイトグループ）から成ることから当時は流木説が支持された。

しかし、この説に対しては、炭層がほとんど碎屑物を含んでいない点、厚さ数 m の炭層が数 10 km も連続す

図2 太平洋炭における H/C 原子比とデグラディナイト含有率との関係
右上に相関式および相関係数を示す。

表1 日本の石炭の微細組織成分（マセラル）区分（JISM 8816に基づく）

JIS では伝統的なドイツ語の語尾のニットを用いているが、国際標準である ICCP(1971)に従い英語の語尾であるナイトに変更した。

微細組織成分群 (マセラルグループ)	微細組織成分群 (マセラル)
ビトリナイト (V)	テリナイト (Tel) コリナイト (Col) デグラディナイト (Deg)
エグジナイト (E)	スポリナイト (Sp) クチナイト (Cut) アルジナイト (Alg) レジナイト (R)
イナーチナイト (I)	ミクリナイト (Mi) マクリナイト (Ma) スクレロチナイト (Sc) フジナイト (F) セミフジナイト (SF)

備考 () 内の記号は、略称である

図3 ピートドームの発達過程についての概念図
McCabe (1984) を一部改変。

る点など説明困難な問題が多く存在した。近年は石炭の形成機構としてピートドーム（高位泥炭）説が注目を集めており、炭層形成のモデルとして取り上げられている。従来から地形学、農業土壌学の分野では高位泥炭の研究が行われていたが、初めに石炭の堆積作用に応用したのは McCabe (1984) で、図3で説明されるように堆積が進行する。最初はスゲやアシなどの水辺の草本が堆積した後、ミズゴケからなるピートドームが水位面より上位に発達する。ミズゴケは、内部の毛管圧により水位面より高い位置まで水分を補給することが可能なため離水しドーム状に発達することが可能である。最初に堆積するスゲやアシは水中でのバクテリアの作用により分解されやすい。この過程で抵抗性の強いワックス分に富んだ部分などがより多く残る。ミズゴケ泥炭中は酸性のためバクテリアの活動が抑制され、分解が進まないと考えられている。泥炭の堆積面が河川の水位より高いため、河川水中に浮遊している堆積物が供給されず、ミズゴケ泥炭中へは鉱物質が供給されない。一方、スゲなどの泥炭では、水中に浮遊する粘土粒子が混じる可能性が高い。

図4は、デグラディナイトを多く含む石炭の石炭反射顕微鏡写真である。暗い部分がエグジナイトで、写真では分りにくいがデグラディナイトは2 μm 程度以下の暗灰色の基質をなし、エグジナイトの微小破片を多く含むことが特徴である。紫外線を当てると基質部分も弱く

図4 デグラディナイトを含む部分の石炭顕微鏡写真(反射光)
左下のスケールバーは100 μm 。

Vit: ビトリナイト, Deg: デグラディナイト,
Sc: スクレロチナイト, Res: レジナイト

二次蛍光を発する。ビトリナイトは蛍光を発しない。二次蛍光を発するのはエグジナイトの特徴である。

日本炭で、H/Cと灰分の関係を求めたのが図5である。各炭鉱で正の相関関係が認められる。特に太平洋炭鉱では、かなりよい相関関係を示している。スゲなどの泥炭ではバクテリアなどによる分解が進行するにしがたが、抵抗力の大きいデグラディナイトと灰分が増える。上述した解析結果から、スゲなどの水生草本類がデグラディナイトの起源である可能性が大きいと推論できる。藤井ほか (1979) によると、デグラディナイト含有量と炭層の厚さの水平変化は一致するが、夾炭層全体の層厚とは一致していない。したがって、デグラディナイト含有量は炭層の発達には密接に関係するが、砂岩、泥岩を含む地層全体の堆積作用とは関係しないと考えられる。

炭層内では垂直方向でもデグラディナイト含有量は変化する。図6は、太平洋炭鉱春採層炭の層内での垂直変化を東西水平方向と比較したもので、明確ではないが水平方向でサイクルの対比が可能である。このサイクルは、水位面の上下を示していると考えられる。水位面の

図5 日本炭における H/C 原子比と灰分含有量との関係

図6 太平洋炭鉱内の4地点での春採本層炭デグラディナイト含有量垂直変化とその対比
4地点は東西方向に並んでおり、各地点間の間隔は任意。デグラディナイト含有量のスケールも地点間で異なる。

変化により泥炭の堆積様式が変化し、このようなサイクルが形成されたと推論される。

日本の炭田では、いずれも夾炭層が汽水性の地層や海成層に連続して堆積しており、海岸近辺で堆積したことが推定されている。高水素分含有石炭が、海に近い堆積環境と関係があるとも考えられる。しかし図1から明らかなように、海から遠い内陸部にある古第三紀撫順炭田の石炭も高水素分含有石炭であり、石炭にはデグラディナイトが多く含まれている。他方、同じ内陸環境の白亜紀阜新炭田ではこのような水素分の多い石炭が見られな

図7 石炭の熟成時に起きる諸反応により生じる組成変化について

い。この原因は、地質時代を通じての植物種の変化により説明できる。新生代に入り急激に被子植物の広葉樹や草本類が発達した(酒井, 1995)。スゲやヨシは新生代以降の草本植物であり、白亜紀以前には存在しなかったかほとんど分布がなかったと考えられる。それに対し、ミズゴケなどの苔類はデボン紀以降地質時代を通じて広く陸上に分布してきた。高水素分含有石炭の起源が水生草本起源の泥炭であるとすれば、草本類が第三紀以降に限られることから、高水素分含有石炭の分布は第三紀以降に形成された炭田に限られることになる。

4. 石炭からの石油・ガス生成について

図7は、van Krevelen 図上で、有機物の熱的反応により生じる脱メタン(CH_4)または脱メチレン($-\text{CH}_2-$)、脱水(H_2O)、脱炭酸(CO_2)反応によって根源有機物の元素組成がどのように変化するかを示している。図1には、各石炭の熟成度を見やすくするため、正確ではないが目安として等ビトリナイ反射率(R_o)線を示している。

van Krevelen 図上でタイプII有機物は $R_o=0.8$ 前後

表2 北海道石狩炭田の諸炭鉱における炭層ガスにおける炭層ガス成分分析結果 (永田松三氏未公表データ)

(ガス組成単位: Vol %)

No.	炭 鉱 名	炭 層 名	He	H ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ +	Total HC	C ₂ H ₅ ⁺ / CH ₄ (%)	Ro
(夕張地区)															
1	真谷地鉱	3 番 4 下層	0.0000	0.0000	1.52	3.53	3.79	90.74	0.256	0.130	0.033	0.007	91.17	0.28%	0.75
2	真谷地鉱	3 番層 (10尺)	0.0000	0.0000	0.69	2.83	3.14	93.26	0.008	0.000	0.000	0.000	93.27	0.01%	0.82
3	真谷地鉱	1 番層 (平 8 尺)	0.0000	0.0000	0.51	2.54	3.45	93.45	0.034	0.010	0.000	0.000	93.49	0.05%	0.80
4	真谷地鉱	1 番層 (平 8 尺)	0.0000	0.0000	0.43	1.00	4.32	94.18	0.035	0.010	0.000	0.000	94.23	0.05%	0.79
5	清水沢鉱	8 尺層	0.0000	0.0000	0.58	3.57	4.60	91.16	0.071	0.024	0.000	0.000	91.26	0.10%	0.88
6	清水沢鉱	8 尺上層	0.0000	0.0000	0.48	1.80	1.18	96.40	0.084	0.056	0.007	0.000	96.55	0.15%	0.88
7	平和鉱	登川層	0.0000	0.0000	0.49	3.30	0.32	95.84	0.042	0.000	0.000	0.000	95.88	0.04%	0.79
8	平和鉱	10尺層	0.0000	0.0000	0.53	1.23	2.42	95.53	0.216	0.021	0.003	0.000	95.77	0.25%	0.79
9	平和鉱	登川層	0.0056	0.0010	0.53	4.25	0.26	94.90	0.047	0.000	0.000	0.000	94.95	0.05%	0.79
10	平和鉱	10尺層	0.0020	0.0000	0.58	3.57	9.02	86.81	0.028	0.000	0.000	0.000	86.84	0.03%	0.79
11	平和鉱	(10尺層)	0.0020	0.0000	0.73	2.23	1.44	95.31	0.270	0.023	0.000	0.000	95.60	0.31%	0.79
12	北炭新鉱	夕張本層	0.0017	0.0010	0.40	1.30	1.40	97.00	0.111	0.136	0.018	0.008	97.27	0.28%	0.85
13	北炭新鉱	夕張本層	0.0024	0.0010	0.56	2.45	0.60	96.13	0.194	0.053	0.009	0.000	96.39	0.27%	0.85
14	夕張二坑	登川層	0.0000	0.0000	1.48	5.58	0.63	92.31	0.000	0.000	0.000	0.000	92.31	0.00%	?
15	南大夕張鉱	上層 (平 8 尺)	0.0000	0.0000	0.19	9.27	2.32	88.93	0.007	0.000	0.000	0.000	88.94	0.01%	0.92
16	南大夕張鉱	10尺架層	0.0000	0.0000	0.18	1.29	8.85	89.16	0.152	0.341	0.018	0.000	89.67	0.57%	0.92
17	南大夕張鉱	本層 (10尺)	0.0010	0.0010	4.62	15.73	4.91	75.02	0.033	0.051	0.000	0.000	75.10	0.11%	0.92
18	南大夕張鉱	下層 (10尺)	0.0000	0.0000	0.50	0.93	5.06	93.19	0.095	0.208	0.011	0.000	93.50	0.34%	0.92
19	南大夕張鉱	下層	0.0000	0.0000	1.92	5.83	4.79	87.37	0.079	0.024	0.002	0.000	87.48	0.12%	0.92
(三笠地区)															
20	幌内鉱		0.0000	0.0000	0.32	2.41	0.39	96.81	0.065	0.000	0.000	0.000	96.88	0.07%	0.69
(空知地区)															
21	赤平鉱	?	0.0015	0.0015	0.85	2.59	0.12	94.77	1.517	0.111	0.033	0.006	96.44	1.76%	0.78
22	赤平鉱	若鍋 7 番	0.0018	0.0000	0.26	2.79	0.32	92.43	3.400	0.656	0.111	0.430	97.03	4.97%	0.78
23	赤平鉱	夕張 11 番	0.0070	0.0000	1.93	6.22	0.02	89.93	1.500	0.277	0.039	0.001	91.75	2.02%	0.78
24	砂川鉱	登川層	0.0010	0.0012	1.86	2.45	0.17	95.52	0.016	0.000	0.000	0.000	95.54	0.02%	0.80
25	空知鉱	登川層 5 番	0.0010	0.0000	3.25	14.98	0.17	81.57	0.014	0.007	0.000	0.000	81.59	0.03%	0.80
26	空知鉱	夕張 8 番層	0.0020	0.0010	0.24	1.04	0.54	96.49	1.509	0.134	0.027	0.007	98.17	1.74%	0.80
27	空知鉱	登川 2 番	0.0018	0.0000	0.32	2.59	1.09	95.95	0.023	0.020	0.000	0.000	95.99	0.04%	0.80
28	芦別鉱	?	0.0010	0.0000	1.70	2.98	0.64	94.48	0.207	0.000	0.000	0.000	94.69	0.22%	0.82

まで、タイプⅢ有機物の場合は明確でないが $Ro=1.0$ を超える付近までは O/C が減少する方向で変化している。これは、続成のこの段階では根源有機物から生成して失われると考えられる代表的なものが H_2O , CO_2 で、ほとんどメタンまたはエタン以上 (C_2+) の炭化水素が生成、移動していないことを示唆している。この反応は、有機物中の $-OH$ や $-COOH$ などの含酸素官能基の離脱および吸着していた H_2O の離脱で説明される。Tissot *et al.* (1974) などでも示されているように、タイプⅡ有機物やタイプⅢ有機物からの石油やガスの生成は、 Ro が 0.5 以上で連続的に起きるとされている。また石油生成帯で発生するガスは、熟成が進行するにしたがい C_2+ が増えることが知られている。

表 2 は、北海道石狩炭田で移行していた炭鉱坑内でガス抜きによって得られたガスの成分分析値である。分析は元地質調査所の永田松三氏により行われたもので、諸般の事情によりこれまで未公表であった。表中には各炭鉱の石炭の代表的な Ro 値を書き加えてある。炭化水素中の C_2+ の割合を示した図 8 から明らかなように、赤平炭鉱およびそれに南接する空知炭鉱の一部を除き、炭化水素組成はメタンが 99% 以上で、熱熟成 (Ro) による変化は認められない。赤平炭鉱などのガスの起源についての検討が必要である。一般的には炭層のガスは CH_4 のみで、石油生成帯 ($Ro=0.5\sim1.0$) では C_2+ の生成がほとんど起きてないか、石炭に吸着されて選択的に酸化された可能性がある。Rice (1993) によるアメリカ西部地域の炭田ガスの報告で、 Ro が 0.5~1.0 の間で C_2+

が 5% 以上なのは San Juan 堆積盆と Piceance 堆積盆であるが、これらのガスは炭素同位体組成から、他の発生源から移動してきたことが明らかにされている。石炭が根源岩と考えられている基礎試錐「三陸沖」の天然ガス鉱床では C_2+ が 10% 以上を占めており、貯留岩の近くにある石油生成帯 ($Ro=0.5\sim1.0$) に達した炭層から発生し、貯留岩に移動・集積しガス鉱床を形成と考えると、ガス組成が炭鉱の炭層ガスの分析結果とは一致しない。ガス根源岩として、より深部の熟成が進んだ石炭を検討する必要がある。

5. 石油システムとしての石炭起源の天然ガス

タイプⅡ有機物の場合、 Ro が 0.5~1.0 の間に石油が生成するはずである。水素分に富む日本の石炭では、生成した石油の大部分は移動できず微少な油状物質として石炭中に残り、系から排出されることがなかった可能性は大きい。図 4 で明らかなようにデグラディナイトは微少な粒子の集合体である。また、生成した油状物質は微小で浮力が小さく、しかも石炭の表面は親油性で吸着しやすいことから、一次移動は困難である。

しかし、熟成がさら進行して油の熱分解帯に入れば、油状物質は移動しやすい炭化水素ガスに変化する。この段階で大量のメタンまたは C_2+ のガス状炭化水素が発生し、これらが系から排出されることにより急激な H/C の減少が起きる。日本炭のようなタイプⅡ有機物とタイプⅢ有機物の中間の性質を持つ場合、図 1 上の変化は、熟成がある程度進行しても H/C はほとんど変化せず、生成した炭化水素が系外に出ていないことを示唆している。したがって、 $Ro=0.9\sim1.0$ 付近で、石炭に吸着された油状物質の熱分解によるガス状炭化水素の大規模な生成が始まることが予想される。また、デグラディナイトを多く含む石炭は、中国の白亜系阜新炭のようなタイプⅢ有機物に比較し H/C の減少量が多くなることから、より大量の熱分解ガスの発生が示唆される。

石油システム上で、日本の石炭のようなタイプⅡ有機物とタイプⅢ有機物の混合物的な性質を持つ石炭は、タイプⅡ有機物から生成した油状物質とタイプⅢ有機物の混合物とし、熱分解ガスの根源物質として位置づけるのが正しいと考えられる。石炭根源岩起源の天然ガス鉱床を評価する場合には、これらのことを考慮すべきである。

マハカムデルタの石炭は、石炭組織的にはビトリナイトが大部分を占めるが、中に含まれる樹脂のサイズが大きい。この種の石炭では、石油生成帯で樹脂から生成した油状物質のサイズが大きいため浮力が大きく、キャリアベッドへの移動が可能であることが予想される。我が国の石炭とは違ったタイプの石炭であり、石油システム

図 8 石狩炭田の炭層ガスの C_2H_6+/CH_4 組成とビトリナイト反射率 (Ro , %) の関係

上で石炭根源岩を考える場合には、異なった取り扱いが必要である。

6. ま と め

- (1) 我が国の石炭は、van Krevelen 図上でタイプⅡ有機物とタイプⅢ有機物の中間的な性質を持ち、水素分に富む石炭の性質を持つ。
- (2) 高水素分の原因は、デグラディナイトと呼ばれる石炭組織が多く含まれるため、デグラディナイトはタイプⅡ有機物であるエグジナイトの性質を有する。
- (3) デグラディナイトの起源は、湿地帯で水位が高いために繁茂したスゲやヨシなどの水生の草本類と推論される。
- (4) 石炭の熟成度に対する炭鉱ガスの組成の変化から、 R_o が0.5~1.0ではほとんどメタンガスは発生していないと考えられる。
- (5) 日本炭のようなタイプⅡ有機物とタイプⅢ有機物の混合物では、タイプⅢ有機物だけからなる石炭に比べ発生するガス量も多いことが予想される。
- (6) 日本炭のような性質の石炭は、微小な油状物質とタイプⅢ有機物の混合物として石油システム上で位置づけ、石油分解帯における油状物質からの多量のガス発生を考慮する必要がある。
- (7) 大きな樹脂を多く含むマハカムデルタの石炭の場合は、別の取り扱いが必要である。

謝 辞

本報告は、これまで旧地質調査所で行ってきた石炭に関する研究に基づくもので、一連の研究の過程で、石炭試料を提供いただいた、三井鉱山株式会社、三菱鉱業セメント株式会社（現三菱マテリアル株式会社）、住友石炭鉱業株式会社、太平洋炭鉱株式会社、松島炭鉱株式会社、北炭幌内炭鉱株式会社の各社に対しましては厚くお礼申し上げます。また、顕微鏡分析用試料を作成していただいた元地質調査所後藤 進氏、未公表の炭鉱ガスの資料を提供いただきました元地質調査所永田松三氏に対してお礼申し上げます。また日頃から討論いただいている同学の諸氏に対して深くお礼申し上げます。

引 用 文 献

藤井敬三・佐々木 実・後藤 進・曾我部正敏, 1979 : 太平洋炭鉱における炭質の側方変化と炭層の層厚変化との関係について. 地調月報, 30, 589-607.

- 藤井 健・森谷信明, 1998 ; 勇払開発10年のあゆみ. 石技誌, 63, 5, 369-375.
- Hoffmann, C. F., Mackenzie, A. S., Lewis, C. A., Maxwell, J. R., Oudin, J. L., Durand, B. and Vandenbroucke, M., 1984 ; A biological marker study of coals, shales and oils from the Mahakam Delta Kalimantan, Indonesia. *Chem. Geo.*, 42, 1-23.
- ICCP, 1971 ; *International handbook of coal petrology, Supplement to 2nd edition (International Committee for Coal Petrology ed.)*. CNRS, Paris.
- JIS M8816, 1992 : 石炭の微細組織成分及び反射率測定法. 日本規格協会, 1-21.
- van Krevelen, D. W., 1961 : *Coal*. Elsevier, Amsterdam, 514 p.
- MacGregor, D. S., 1994 ; Coal-bearing strata as source rocks, — a global overview. In Scott, A. C. and Fleet, A. J., eds. : *Coal and coal-bearing strata as oil-prone source rocks?*, *Geol. Soc. Special Pub.*, 77, 107-116.
- McCabe, P. J., 1984 : Depositional Environments of coal and coal-bearing strata. In Rahmani, R. A. & Flores, R. M., eds. : *Sedimentology of Coal and Coal-bearing sequence*, IAS Special pub., 7, 13-42, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Philp, R. P. and T. D. Gilbert, 1986 ; Biomarker distributions in Australian oils predominantly derived from terrigenous source material. In Leythausen, D. and Rullkötter, J. eds. : *Advances in Organic Geochemistry 1985*, 73-84, Pergamon Press, London.
- Rice, D. D., 1993 : Composition and origins of coalbed gas. In Law, B. E. and Rice, D. D., eds. : *Hydrocarbon from coal*, AAPG Studies in Geology, 38, 159-184.
- 酒井 昭, 1995 ; 植物の分布と環境適応—熱帯から局地・砂漠へ. 1-164, 朝倉書店.
- 鈴木祐一郎・藤井敬三, 1995 : 石炭の炭質からみた石炭の石油根源岩能力について. 石技誌, 60, 520-529.
- Suzuki, Y. and Fujii, K., 1995 : The properties of Japanese coals and its relations with degradinite. In Pajares, J. A. and Tascon, J. M. D. eds, *Coal Science*, Elsevier Science B. V., Amsterdam, 271-274.
- 鈴木祐一郎・藤井敬三, 1999 : 石炭の石油根源岩能力の評価—日本炭と諸外国炭との比較—. 地調月報, 50, 405-420.
- 手島 淳, 1971 : 夕張炭田夾炭層の堆積環境. 日本鉱山地質学会昭和41年度研究討論会資料「石炭の堆積環境」, 17-26.
- Tissot, B. P., Durand, B., Espitalie, J. and Combaz, A., 1974 : Influence of the nature and diagenesis of organic matter in the formation of petroleum. *AAPG Bull.*, 58, 499-506.