

北海道内の主要挟炭層における石炭の主要元素（炭素，水素，窒素，硫黄）分析 および灰分分析結果

Major elemental compositions (C, H, N, S) and the ash content of coal from major coal-fields in Hokkaido

ABSTRACT

林 圭一*・大森一人**・明本靖広***

桑原 里*

HAYASHI Keiichi*, OHMORI Kazuto**

AKEMOTO Yasuhiro*** KUWABARA Sato*

In this study, we interpreted the sedimentary environment of coal by sedimentary facies analysis, and analyzed the major elemental compositions (carbon, hydrogen, nitrogen, and sulfur) and ash content of each coal samples in the major coal-fields in Hokkaido (Ishikari and Kushiro coal-fields). Most of the coals in Hokkaido were formed in the back marshes in the meandering river systems, and some were formed in the flood plains of braided river systems and in the lower marsh (salt marsh) of estuarine and bay systems. And all of the coal beds, thicker than 1 m, was formed in the higher moor that developed in the meandering river system. On the other hand, there was no clear relationship between the sedimentary environment of coals and the major elemental compositions of the coal, because other factors, such as degree of coalification, also had major influences.

受付：2021年11月22日

受理：2022年7月11日

* 資源エネルギー部

** 研究推進室

*** 循環資源部

Corresponding Author: HAYASHI Keiichi

hayashi-keiichi@hro.or.jp

Keywords: Coal, major elemental compositions, ash content, depositional environment, Ishikari Group, Urahoro Group

はじめに

北海道には、石炭を挟在する地層（挟炭層）が広く分布している。このため、19世紀末～1990年代頃まで、これらの挟炭層を対象に大規模な石炭開発が行われており、北海道の主要な産業のひとつであった。しかし、1980年代～1990年代にかけて主要な炭鉱が閉山したことで、石炭産業は縮小し、現在では、道内の数カ所で小規模な採掘が行われているのみである。このような社会状況、産業規模の変化に応じて、石炭および石炭地質に関する学術的な研究も縮小したため、道内の挟炭層に関する研究は、資源を目的としない一般地質学的な調査・研究を除き、1990年代以降は、ほとんど行われてこなかった。

一方、2000年代後半頃から、石炭を、直接、燃焼利用しない新しい技術に関する実証化試験、研究が道内でも行われるようになってきた。道内での事例としては、炭層メタンガスや坑道メタンガスなどの天然ガスの根源岩としての利活用の検討（夕張市、釧路市）、採掘難度の高い深部石炭を不完全燃焼させて可燃性ガスを得る石炭地下ガス化の技術的な研究（三笠市）、石炭を対象とした二酸化炭素回収・貯留技術の研究（三笠市）および、その技術を応用して炭層メタンガ

スの回収を促進する炭層メタン増進回収技術の研究（夕張市）などがある。

しかし、先述の通り、石炭地質や石炭の物質化学的な研究は停滞していることから、これらの新しい手法による石炭の利用方法の研究は、1990年代以前の石炭研究に依拠しているのが現状である。しかし、1990年代以前の北海道内の石炭地質の研究は、多くが“サイクロセム説”などの古典的な理論によって地層の形成が解釈されているため、1990年代頃から主流になってきた堆積相解析などの現代的な手法によって石炭の形成環境が議論されていない点などの問題がある。

そこで、本研究では、北海道内の主要な炭田地域である石狩炭田地域の石狩層群および釧路炭田地域の浦幌層群の主要な分布域において、石炭を含む挟炭部について、その前後の地層の堆積相から、それぞれの石炭の形成環境を推定した。また、一般に石炭の形成環境は、石炭の化学的な性質および灰分の含有量に影響があることが想定されることから、本研究では、基礎的な情報として石炭の主要成分（炭素，水素，窒素，硫黄）および灰分量について検討を行った結果を報告する。

採集した石炭試料の地質学的背景

本研究では、主に北海道内の主要な炭田地域である石狩炭田地域および釧路炭田地域においてモデル地区を設定し、現地調査および石炭試料の収集を行った。本項では、石炭試料を採集したそれぞれの地域の地質を概説する。

1. 石狩炭田地域

石狩炭田地域の主要な挟炭層は、中期始新世の石狩層群である。石狩炭田地域は、北海道内でも初期（1880年頃）に大規模な炭鉱が開かれた地域であり、19世紀末～20世紀初頭には資源探査を目的とした調査が広く実施され、石狩炭田地域に広く分布する主要挟炭層である石狩層群の層序の概略が示された^{1,2)}。

石狩層群は、白亜系～暁新統の蝦夷層群・函淵層を不整合で覆う地層であり、下位より、登川層、幌加別層、夕張層、若鍋層、美唄層、赤平層、幾春別層、平岸層、芦別層の9層に区分されている。石狩層群は、空地背斜³⁾と呼ばれる北北西―南南東方向の大規模背斜構造の両翼分布を示し、北海道中央部のむかわ町穂別～赤平市、芦別市などの地域に南北に延びた馬蹄形～ハの字型に分布する⁴⁾ほか、地表分布域の西側に広がる石狩低地帯～空知の平野部の地下深部に伏在することが知られている⁵⁾。石狩層群は、石狩炭田地域の中央付近にある峰延山地付近を境界として、空知地区と夕張地区に2分される。この2地区は、堆積当時の堆積盆の基盤深度などの地域差により分布する地層に差異があり、南部の夕張地区では上部3層は分布しない^{4,6)}。

石狩層群は、砂岩・礫岩、砂岩泥岩互層を主体する岩相であり、砂岩が卓越する部分と泥岩が卓越する部分などの主要な岩相の変化をもとに層序が区分されている。これらの地層は、大部分が陸成層であり、網状河川、蛇行河川などの河川流域およびその河口域などで堆積したと考えられている^{6,7,8)}。また、若鍋層、美唄層、赤平層などの層群中部の地層の一部は、汽水性～浅海性の軟体動物化石、海生微化石が産出することなどから、内湾などの汽水域～浅海域で堆積したと考えられている^{6,7,9,10)}。

石狩層群は、経済的価値の低い、炭たけの薄い層を含めると、すべての地層で石炭を挟在しているが、過去に炭鉱が稼働していた主要な挟炭層は、登川層、夕張層、美唄層、幾春別層、芦別層である。本研究では、石狩層群のすべての地層が分布している空知地区の芦別市南部(頼城地区～芦別地区)の芦別川およびその支流において、新たに調査を行い、67試料の石炭～炭質泥岩試料を採集した。

2. 釧路炭田地域

釧路炭田地域の主要な挟炭層は、中期～後期始新世の浦幌層群である。釧路炭田地域では、江戸時代末（19世紀前半）から石炭の存在が知られており、20世紀初頭から戦後にか

けて大規模な炭鉱が開かれた。本地域の主要挟炭層である浦幌層群は、1900年代前半～第二次大戦の時期にかけて資源探査を目的とした広域的な地質調査が行われ、分布や層序が整理された^{11,12)}。浦幌層群の主な地表分布は、白糠丘陵地域と釧路海岸地域の2地域に分かれているが、浦幌層群は両地域の間分布する古第三系～新第三系の地下に伏在しており、地質上は連続している¹³⁾。

浦幌層群は、上部白亜系～下部始新統である根室層群を傾斜～微傾斜不整合で覆う地層であり、一般に、下位より、別保層、春採層、天寧層、雄別層、舌辛層、尺別層の6層に区分されている^{11,12)}。しかし、白糠丘陵地域の西部においては、下部で著しく礫岩が卓越しており、別保層～天寧層の3層の岩相層序学的な区別が明瞭ではないことから、礫岩主体の地層をまとめて留真層としている¹⁴⁾。別保層、春採層、天寧層の3層と留真層は、全体に礫岩の多い陸成層（河川成層）からなるため、生層序などの一般的な手法による層序対比が難しく、凝灰岩の放射年代による層序対比なども試みられているが、現時点では、関係は不明である¹⁵⁾。また、留真層の分布域である白糠丘陵地域の西部は、浦幌断層による根室層群の衝上の影響を強く受け、白糠丘陵地域の東部や釧路海岸地域と比較して、衝上断層を伴う複雑曲構造が発達するなど、地質構造が複雑であり、地層が急立していることから「急立地域」として区別されることもある^{13,16)}。

浦幌層群は、下部で礫岩が卓越し、その上位では、砂岩・礫岩および砂岩泥岩互層を主体とする地層であり、陸成層から浅海成層までの広い環境の堆積物からなる。浦幌層群は、層群全体で1回の海進―海退のサイクルを示しており、下部の礫岩卓越部～砂岩泥岩互層部は、網状河川システムおよび蛇行河川システムの堆積物、中部の泥質堆積物が卓越する部分は、汽水～浅海の二枚貝類^{17,18)}および海生微化石（有孔虫^{7,10)}、渦鞭毛藻シスト¹⁹⁾など）が産出する浅海成層、上部の砂岩・礫岩および砂岩泥岩互層は、河口～内湾域および蛇行河川システムの堆積物である。

浦幌層群の主要な挟炭層は、春採層、雄別層、尺別層であるが、留真層最下部の部層である一番沢挟炭層²⁰⁾でも炭鉱が稼働していたことがある。本研究では、白糠丘陵地域の白糠町新縫別地域および浦幌町留真～炭山地域の2地域について、新たに地質調査を行い、新縫別地域において49試料、留真～炭山地域において20試料の石炭～炭質泥岩を採集した。なお、本研究で調査をした地域は、どちらも別保層、春採層、天寧層が明瞭に区別できない、留真層の分布域であった。

石炭試料の収集および分析手法

採集した石炭136試料について、以下の方法で各種分析を行った。分析結果は、表1に取りまとめた。

1. 分析用石炭試料の記載と採集

調査路線上に露出する石炭を採集した。石炭の採集地点は、ハンディ GPS (Garmin 社製 GPSmap 62SCJ) で記録した。また、石炭の含まれる地層について、1/50 スケールで詳細な炭柱図を作成するとともに、上下層準の堆積相を記録した。

各試験に用いた石炭は、石炭露頭から塊状で採取し、現地で風化面を除去したのち、大気・水に接していない部分をポリエチレン製試料袋に採集した。採集した試料は、採取後、1 週間以内に室温下で風乾した。

2. 石炭試料の調整

風乾した石炭試料について、アセトンで清拭したハンマーを用いて 5 mm 径程度になるまで粉碎し、風化部を除去した。粉碎後の試料から、ピンセットを用いて無作為に約 20 ~ 30 粒子をハンドピッキングした。ハンドピッキングした石炭粒子は、ボールミルを用いて粉末化した。ボールミルの振動数および粉碎時間は、粉碎後の試料の粒径が、212 μ m 以下になるように調整した。粉碎後の試料は、ポリエチレン製試料袋に封入し、シリカゲルで十分に除湿した状態のデシケータ内に保管し、粉碎後、1 週間以内に各種分析を行った。なお、試料の粉末化調整の方法は、元素組成分析、灰分分析ともに共通である。

3. 主要元素組成の分析

石炭の主要元素である炭素 (C)、水素 (H)、窒素 (N)、硫黄 (S) の各元素濃度は、錫ボートに 20 mg の粉末化した石炭試料を秤量し、助燃剤として酸化タングステン を 40 mg 添加したものを、全自動元素分析装置 (Elementar 社製, vario EL cube) で分析した。なお、分析条件は、スルファニルアミドを標準物質とし、燃焼管温度が 1150°C、還元管温度が 850°C で、検出器には熱伝導度型検出器 (TCD) を用いた。上記の分析手法については、日本工業規格に準拠した²¹⁾。なお、全自動元素分析装置による測定は各試料について 3 回行い、その平均値を分析結果として採用した。

硫黄の分析については、いくつかの試料で定量下限値以下の数値があったため、参考値とし、表 1 では数値に * を付して示した。

4. 灰分の測定

815°C で 30 分以上焼成し、恒量に達した陶器製の燃焼用ボートに粉末化した試料を約 1 g になるよう採取し (試料重量は 0.1 mg まで計測)、燃焼用ボートの底面に対して均等になるように調整した。燃焼用ボートを室温のマッフル炉の均熱帯に並べ、以下の焼成プログラムで焼成した。

焼成プログラムは、日本工業規格 (JIS M8812)²²⁾ を参考にして、次のように設定した。室温から 60 分かけて 500°C まで昇温し、500°C で 15 分維持した後、30 分かけて 815°C まで昇温後、815°C を維持した状態で 120 分焼成し、その後、30 分かけて炉内を室温まで冷却した。また、焼成

時は、燃焼室内の空気が十分循環するようにした。

試料の焼成後、燃焼用ボートを金属板上に移動し、5 ~ 10 分程度、十分に除湿したデシケータ内で 5 ~ 10 分程度冷却してから、精密天秤を用い、灰分の重量を 0.1 mg まで計測し、灰分の重量比 (wt%) を計算した。各試料について 2 回の焼成試験を行い、2 回の試験結果の平均値を試料の灰分量とした。なお、2 回の焼成試験で、灰分重量比が 5% 以上異なった場合は、3 回目の試験を行い、その内、偏差の少ない 2 回の平均値を採用した。また、灰分の重量比と各元素の重量比の合計が 100% を越えるものは、石炭試料内の鉱物成分の非均質性に由来すると考えられるため参考値とし、表 1 では灰分の重量比を括弧付で示した。

石炭の形成環境の推定

石炭試料の採集時に現地で記載した石炭を含む挟炭部の柱状図、上下層の堆積相変化および大型化石 (陸上植物、軟体動物等) の産出等に基づいて、各石炭の形成された堆積環境を推定した。堆積環境の推定にあたっては、河川成層~河川と浅海の接続部で形成される堆積相に関する先行研究^{23, 24)} に従った。また、石狩層群については、全層について堆積相解析を行った先行研究^{6, 25)} があるため、その結果を参考にした。

堆積相を検討した結果、本研究で石炭試料を採集した地層は、網状河川システム、蛇行河川システム、河口~内湾システムの 3 つの堆積システムに区分された。各石炭試料を採集した層準を含む地層の堆積システムについては、表 1 に示した。

網状河川システムは、網状河川の流路および周辺を含めた堆積環境を示す。チャンネル性の礫岩・砂岩が、泥岩をほとんど挟まずに癒着して累重する厚い砂岩・礫岩、層厚 1 ~ 3 m 程度のチャンネル性の礫岩・砂岩が優勢の礫岩、砂岩、泥岩の互層などの堆積相からなる堆積相である。

本堆積システムでは、礫岩が著しく卓越しており、砂岩・礫岩は、泥岩をほとんど挟まずに癒着して累重している。礫岩は、中礫~巨礫からなり、各層は下に凸のレンズ状で側方連続性が乏しいことが多い。砂岩は、中粒~極粗粒で、細礫~中礫を含むことが多く、礫がトラフ状の層理を形成していることがある。礫岩は、粗粒なため堆積構造の判別が難しい場合が多いが、砂岩はトラフ状斜交層理を示し、堆積上面にはリップルが認められる。砂岩・礫岩中には、多量の炭質物や材化石が含まれており、砂岩においては層の上部に炭質物の濃集したレイヤーが認められることがある。網状河川システムで形成された堆積物中には、石炭の挟在は少ないものの、泥質部に 10 ~ 30 cm 程度の厚さで挟在することがあるが、調査地域内においても側方連続性が悪い。これらの石炭は、氾濫原の一部に形成された小規模な湿地で形成されたものと考えられる。

表1：石炭の主要元素組成（炭素，水素，窒素，硫黄），灰分組成，および堆積環境
 Table 1: Major elemental compositions (C, H, N, S), the ash content and the sedimentary environment of each coal samples.

試料番号	セクション	北緯	東経	層群名	地層名	炭たけ (山たけ) (cm)	C	H	N	S	灰分 (wt%)	堆積環境
Sample No.	Section	Latitude	Longitude	Group	Formation	Thickness	C	H	N	S	Ash	Environment
20180823-02	盤の沢(油谷)	43.543807	142.245398	石狩層群	茂尻層	20	77.6	6.1	2.2	2.7	10.40	蛇行河川
20180822-01	六線沢	43.466320	142.182847	石狩層群	芦別層	100	57.6	5.0	1.6	0.4	29.75	蛇行河川
20180822-02	六線沢	43.466011	142.183249	石狩層群	芦別層	250	24.2	2.6	0.8	0.3	67.27	蛇行河川
20180822-12	六線沢	43.457352	142.183496	石狩層群	芦別層	150	74.4	5.6	2.1	0.4	9.79	蛇行河川
20180822-13	六線沢	43.456480	142.183414	石狩層群	芦別層	40	72.1	5.9	2.1	1.8	9.72	蛇行河川
20180821-01	番の沢	43.443756	142.144881	石狩層群	幾春別層	90	74.7	5.8	2.4	0.6	4.50	蛇行河川
20180821-02	番の沢	43.443971	142.146542	石狩層群	幾春別層	30	79.5	6.4	2.2	0.6	2.87	蛇行河川
20200625-01	番の沢	43.444222	142.146136	石狩層群	幾春別層	50+	76.2	6.1	2.3	2.9	4.24	蛇行河川
20180823-13	八月沢	43.416472	142.170020	石狩層群	幾春別層	30+	74.6	5.8	2.1	0.5	8.75	蛇行河川
20190801-06	八月沢	43.428341	142.140877	石狩層群	夕張層	10	23.9	2.5	0.8	0.3	64.43	蛇行河川
20190801-07	八月沢	43.428341	142.140877	石狩層群	夕張層	5	22.6	2.2	0.7	0.3	60.71	蛇行河川
20190801-09	八月沢	43.428341	142.140877	石狩層群	夕張層	40	2.8	1.0	0.3	0.0*	89.46	蛇行河川
20190801-11	八月沢	43.428079	142.141860	石狩層群	夕張層	5	74.8	5.7	1.8	0.7	16.81	蛇行河川
20190801-12a	八月沢	43.428079	142.141860	石狩層群	夕張層	300+	76.0	6.1	2.0	0.7	1.67	蛇行河川
20190801-12b	八月沢	43.428079	142.141860	石狩層群	夕張層	300+	76.8	6.1	2.0	1.0	3.38	蛇行河川
20191003-01	八月沢	43.427279	142.141449	石狩層群	夕張層	20	26.3	2.6	0.9	0.3	65.35	網状河川
20191003-02b	八月沢	43.427279	142.141449	石狩層群	夕張層	120	77.6	6.1	2.5	0.5	3.62	蛇行河川
20191003-06	八月沢	43.425789	142.142888	石狩層群	夕張層	25	47.4	4.3	1.4	0.6	41.83	蛇行河川
20191003-07	八月沢	43.424919	142.145197	石狩層群	夕張層	60	46.2	4.1	1.4	0.3	45.03	蛇行河川
20191003-08	八月沢	43.424919	142.145197	石狩層群	夕張層	50+	63.1	5.1	1.8	0.4	26.37	蛇行河川
20191003-10	八月沢	43.423111	142.147239	石狩層群	夕張層	220 (255)	69.9	5.9	1.8	0.4	14.77	蛇行河川
20191003-11	八月沢	43.420691	142.152094	石狩層群	美唄層	210	58.6	4.9	1.5	0.4	25.65	蛇行河川
20191003-12	八月沢	43.420691	142.152094	石狩層群	美唄層	30	79.5	5.9	2.2	0.7	2.67	蛇行河川
20200617-02a	八月沢	43.415267	142.159872	石狩層群	美唄層	20 (240)	77.4	5.9	2.0	0.4	12.16	河口～内湾
20200617-02b	八月沢	43.415267	142.159872	石狩層群	美唄層	45 (240)	76.2	5.9	2.2	0.6	9.66	河口～内湾
20200617-03a	八月沢	43.415267	142.159872	石狩層群	美唄層	40 (80)	75.6	5.9	2.2	0.5	15.41	河口～内湾
20200617-03b	八月沢	43.415267	142.159872	石狩層群	美唄層	30 (80)	70.9	5.7	1.9	1.2	13.11	河口～内湾
20200617-04a	八月沢	43.415267	142.159872	石狩層群	美唄層	60	67.0	5.5	1.7	1.6	18.15	蛇行河川
20200617-05a	八月沢	43.415267	142.159872	石狩層群	美唄層	100	72.6	5.6	2.0	0.3	12.68	蛇行河川
20200617-05b	八月沢	43.415267	142.159872	石狩層群	美唄層	100	72.6	5.5	1.7	1.1	7.69	蛇行河川
20200617-06	八月沢	43.417737	142.154235	石狩層群	美唄層	20	68.7	5.5	1.7	2.0	21.14	蛇行河川
20200617-07a	八月沢	43.417737	142.154235	石狩層群	美唄層	200+	79.7	6.3	2.2	0.4	3.09	蛇行河川
20200617-07b	八月沢	43.417737	142.154235	石狩層群	美唄層	200+	75.5	6.0	2.0	0.3	5.91	蛇行河川
20200617-08	八月沢	43.419001	142.153364	石狩層群	美唄層	40 (100)	79.1	5.6	2.0	0.7	3.55	蛇行河川

表 1 : 続き
Table 1: Continued

試料番号	セクション	北緯	東経	層群名	地層名	成たけ (山たけ) (cm)	炭素 (wt%)	水素 (wt%)	窒素 (wt%)	硫黄 (wt%)	灰分 (wt%)	堆積環境
20200617-08a	八月沢	43.419328	142.152715	石狩層群	美唄層	130	78.7	5.8	2.2	0.6	4.36	蛇行河川
20200623-03	八月沢	43.417431	142.146292	石狩層群	登川層	20+	77.6	5.6	1.9	0.7	(16.34)	蛇行河川
20200623-04	八月沢	43.416764	142.145794	石狩層群	登川層	50+	33.2	2.7	0.9	0.2	58.99	蛇行河川
20190802-02a	月見沢	43.393743	142.173496	石狩層群	美唄層	80	49.9	4.2	1.3	0.3	29.63	蛇行河川
20190802-03	月見沢	43.393743	142.173496	石狩層群	美唄層	20	46.9	4.0	1.3	0.4	(51.35)	蛇行河川
20190802-04a	月見沢	43.393743	142.173496	石狩層群	美唄層	30 (240)	71.2	5.6	1.8	0.3	14.46	蛇行河川
20190802-04b	月見沢	43.393743	142.173496	石狩層群	美唄層	25 (240)	56.1	4.4	1.4	0.3	(44.22)	蛇行河川
20190802-04c	月見沢	43.393743	142.173496	石狩層群	美唄層	50 (240)	81.4	5.8	1.9	0.4	6.96	蛇行河川
20190802-04d	月見沢	43.393743	142.173496	石狩層群	美唄層	20 (240)	20.3	2.1	0.6	0.3	(77.08)	蛇行河川
20190802-05a	月見沢	43.393517	142.171795	石狩層群	美唄層	55 (200+)	75.3	5.9	1.7	0.5	9.95	蛇行河川
20190802-05b	月見沢	43.393517	142.171795	石狩層群	美唄層	40 (200+)	76.0	6.0	1.9	0.5	7.90	蛇行河川
20191002-02	月見沢	43.394060	142.169715	石狩層群	夕張層	30	13.0	1.7	0.4	0.2*	82.44	蛇行河川
20191002-03	月見沢	43.393756	142.170082	石狩層群	夕張層	40+	69.7	5.6	1.7	0.5	11.48	蛇行河川
20191002-04	月見沢	43.393298	142.170953	石狩層群	夕張層	140	78.4	6.7	1.6	0.4	5.23	蛇行河川
20200624-10	芦別川本流	43.416747	142.171305	石狩層群	幾春別層	40	72.7	5.7	2.1	4.3	12.78	蛇行河川
20200624-11a	芦別川本流	43.418142	142.172561	石狩層群	幾春別層	110	45.0	3.8	1.5	0.5	40.76	蛇行河川
20200624-11b	芦別川本流	43.418142	142.172561	石狩層群	幾春別層	110	78.6	6.1	2.2	1.6	3.09	蛇行河川
20200624-12	芦別川本流	43.418163	142.172868	石狩層群	幾春別層	20	70.5	5.7	2.2	4.5	5.32	網状河川
20200624-13	芦別川本流	43.418245	142.173021	石狩層群	幾春別層	20	76.5	6.1	2.0	3.0	11.25	網状河川
20200624-14	芦別川本流	43.418247	142.173167	石狩層群	幾春別層	30	71.0	5.6	2.2	0.5	12.45	蛇行河川
20200626-01a	芦別川枝沢	43.403193	142.169017	石狩層群	幾春別層	35 (280)	78.7	5.9	1.9	0.5	3.08	蛇行河川
20200618-01a	パンケリヤウシ川	43.429034	142.184791	石狩層群	美唄層	100+	77.4	5.5	2.0	0.6	(18.04)	蛇行河川
20200618-02	パンケリヤウシ川	43.429356	142.185458	石狩層群	芦別層	50+	16.4	1.7	0.6	0.1*	77.14	蛇行河川
20200618-03a	パンケリヤウシ川	43.429619	142.187519	石狩層群	芦別層	250	60.6	4.6	1.6	0.5	(36.80)	蛇行河川
20200618-04b	パンケリヤウシ川	43.429590	142.187719	石狩層群	芦別層	300 (500)	28.9	2.4	0.9	0.2	(72.81)	蛇行河川
20200618-04d	パンケリヤウシ川	43.429590	142.187719	石狩層群	芦別層	60 (500)	23.6	2.1	0.7	0.3	(74.18)	蛇行河川
20200618-05	パンケリヤウシ川	43.430054	142.188360	石狩層群	芦別層	100+	48.4	3.7	1.4	0.3	(54.18)	蛇行河川
20200624-01	パンケリヤウシ川	43.425822	142.172040	石狩層群	平岸層	15	40.5	3.7	1.4	0.5	46.33	蛇行河川
20200624-03	パンケリヤウシ川	43.425886	142.172452	石狩層群	平岸層	30	19.1	2.1	0.8	0.2	57.26	蛇行河川
20200624-04b	パンケリヤウシ川	43.425984	142.172625	石狩層群	平岸層	120+	77.2	5.9	2.0	0.5	10.88	蛇行河川
20180829-03	五ノ沢川	43.283632	141.971732	石狩層群	幾春別層	130	73.7	6.3	1.8	0.4	5.15	蛇行河川
20180829-08	五ノ沢川	43.283992	141.972291	石狩層群	幾春別層	300	74.8	6.6	1.2	0.2	3.88	蛇行河川
20180830-07	五ノ沢川	43.298749	141.981162	石狩層群	幾春別層	100	67.8	5.4	1.4	0.5	14.50	蛇行河川

表 1 : 続き
Table 1: Continued

試料番号	セクション	北緯	東経	層群名	地層名	炭たけ (山たけ) (cm)	炭素 (wt%)	水素 (wt%)	窒素 (wt%)	硫黄 (wt%)	灰分 (wt%)	堆積環境
Sample No.	Section	Latitude	Longitude	Group	Formation	Thickness	C	H	N	S	Ash	Environment
20181023-05	北1の沢	43.116786	143.970589	浦幌層群	尺別層	70 (170)	58.4	5.0	1.7	0.8	13.68	蛇行河川
20181023-06	北1の沢	43.116786	143.970589	浦幌層群	尺別層	45 (170)	47.7	4.5	1.4	1.0	34.88	蛇行河川
20181023-07	北1の沢	43.117311	143.970106	浦幌層群	尺別層	20	67.7	6.2	2.0	0.7	6.60	蛇行河川
20181023-08	北1の沢	43.117311	143.970106	浦幌層群	尺別層	50	64.1	5.7	1.7	0.6	12.02	蛇行河川
20181023-11c	北1の沢	43.122708	143.972664	浦幌層群	尺別層	30	48.6	4.6	1.5	0.6	6.51	蛇行河川
20200908-01	北1の沢	43.117007	143.970418	浦幌層群	尺別層	100+ (200+)	65.7	6.0	1.8	1.7	10.92	蛇行河川
20200908-02	北1の沢	43.117007	143.970418	浦幌層群	尺別層	100+ (200+)	34.0	3.4	0.9	2.2	51.58	蛇行河川
20200908-03	北1の沢	43.117007	143.970418	浦幌層群	尺別層	50 (200+)	23.0	2.4	0.7	2.2	62.25	蛇行河川
20200908-04	北1の沢	43.117288	143.970053	浦幌層群	尺別層	25	67.3	5.6	1.9	0.7	10.10	蛇行河川
20200908-05	北1の沢	43.117288	143.970053	浦幌層群	尺別層	25	66.7	5.4	2.0	0.7	10.55	蛇行河川
20200908-06	北1の沢	43.117288	143.970053	浦幌層群	尺別層	50	61.5	5.8	1.7	0.5	16.44	蛇行河川
20181025-07	北2の沢	43.112792	143.965522	浦幌層群	尺別層	100	64.1	5.2	1.9	0.7	8.56	蛇行河川
20181025-09	縫別沢川	43.120206	143.946222	浦幌層群	雄別層	10	64.6	5.3	1.5	0.6	(36.46)	蛇行河川
20190829-02	縫別沢川	43.119279	143.950976	浦幌層群	雄別層	30	63.1	6.0	2.8	1.7	9.78	蛇行河川
20190829-04	縫別沢川	43.119310	143.951197	浦幌層群	雄別層	20	68.9	5.7	1.7	0.6	12.28	蛇行河川
20190829-05	縫別沢川	43.119310	143.951197	浦幌層群	雄別層	25	64.8	5.9	1.6	0.5	12.96	蛇行河川
20190829-11	縫別沢川	43.119310	143.951197	浦幌層群	雄別層	45	38.3	3.8	1.2	0.4	2.53	蛇行河川
20190829-12	縫別沢川	43.119310	143.951197	浦幌層群	雄別層	5	8.8	1.2	0.3	0.1*	81.92	蛇行河川
20190829-16a	縫別沢川	43.119300	143.951905	浦幌層群	留真層	110	42.3	4.3	1.0	0.3	31.48	網状河川
20190829-16b	縫別沢川	43.119300	143.951905	浦幌層群	留真層	110	64.6	6.0	1.6	0.5	12.38	網状河川
20190829-17	縫別沢川	43.119300	143.951905	浦幌層群	留真層	110	56.7	5.4	1.4	0.5	27.83	網状河川
20191029-01	北3の沢	43.114858	143.946672	浦幌層群	雄別層	20	63.2	5.5	1.8	0.5	10.89	蛇行河川
20191029-08b	北3の沢	43.116631	143.934128	浦幌層群	雄別層	25	66.6	5.4	2.3	0.6	4.19	蛇行河川
20191030-02	北3の沢	43.116829	143.926142	浦幌層群	尺別層	30	18.4	2.3	0.7	0.4	73.32	蛇行河川
20191030-04	北3の沢	43.116829	143.926142	浦幌層群	尺別層	50	30.4	3.6	0.9	0.2	50.00	蛇行河川
20191030-06	北3の沢	43.116829	143.926142	浦幌層群	尺別層	25	24.3	2.8	0.8	0.3	56.61	蛇行河川
20191030-07	北3の沢	43.116546	143.926089	浦幌層群	尺別層	15	18.6	2.1	0.7	0.7	63.13	蛇行河川
20191030-08	北3の沢	43.116405	143.925876	浦幌層群	尺別層	40	52.3	4.6	1.6	0.5	22.02	蛇行河川
20191030-09	北3の沢	43.116347	143.925734	浦幌層群	尺別層	300+	51.0	4.6	1.5	2.3	31.59	蛇行河川
20191030-10a	北3の沢	43.116037	143.924868	浦幌層群	尺別層	140 (250)	39.1	3.9	1.2	0.3	46.23	蛇行河川
20191030-11	北3の沢	43.116037	143.924868	浦幌層群	尺別層	10 (250)	29.3	2.9	0.9	0.3	61.31	蛇行河川
20191031-01b	北3の沢	43.115709	143.924743	浦幌層群	尺別層	140	64.8	5.5	1.8	0.4	12.56	蛇行河川
20191031-02	北3の沢	43.115808	143.923538	浦幌層群	尺別層	100+	55.4	4.4	1.8	0.3	15.62	蛇行河川
20191031-04	北3の沢	43.118026	143.925006	浦幌層群	尺別層	40	51.8	4.8	1.3	0.3	(45.15)	蛇行河川

表 1 : 続き
Table 1: Continued

試料番号	セクション	北緯	東経	層群名	地層名	炭たけ (山たけ) (cm)	炭素 (wt%)	水素 (wt%)	窒素 (wt%)	硫黄 (wt%)	灰分 (wt%)	堆積環境
Sample No.	Section	Latitude	Longitude	Group	Formation	Thickness	C	H	N	S	Ash	Environment
20191031-06	北3の沢	43.118189	143.924734	浦幌層群	尺別層	100+	41.0	4.0	1.3	0.3	39.29	蛇行河川
20191031-07a	北3の沢	43.118459	143.922546	浦幌層群	尺別層	300 (400+)	62.8	5.3	1.9	0.3	13.73	蛇行河川
20200909-10	北3の沢	43.118645	143.921644	浦幌層群	尺別層	100+	61.0	5.8	1.7	0.4	(33.00)	蛇行河川
20200909-11	北3の沢	43.118645	143.921644	浦幌層群	尺別層	100+	66.5	5.6	1.9	0.4	10.30	蛇行河川
20200909-20	北3の沢	43.119344	143.924397	浦幌層群	尺別層	60+	66.1	6.1	1.8	0.4	7.53	蛇行河川
20200909-22	北3の沢	43.120095	143.924220	浦幌層群	尺別層	100+	36.9	4.0	1.1	0.3	45.58	蛇行河川
20200909-23	北3の沢	43.120649	143.924081	浦幌層群	尺別層	80+	67.0	5.7	1.7	0.4	9.99	蛇行河川
20200909-25	北3の沢	43.122588	143.923993	浦幌層群	尺別層	20	70.0	5.6	2.0	0.6	4.61	蛇行河川
20200909-26	北3の沢	43.122532	143.923938	浦幌層群	尺別層	60	60.9	5.1	1.9	0.7	16.92	蛇行河川
20200910-01	北3の沢	43.120898	143.959380	浦幌層群	尺別層	15	15.9	1.8	0.5	6.7	65.50	蛇行河川
20200910-02	北3の沢	43.120898	143.959380	浦幌層群	雄別層	10	17.4	2.0	0.5	0.6	72.45	蛇行河川
20200911-01	北3の沢	43.120413	143.922362	浦幌層群	尺別層	60+	70.3	5.7	1.9	1.2	3.83	蛇行河川
20200911-02	北3の沢	43.120466	143.922164	浦幌層群	尺別層	350+	30.7	3.3	1.0	0.2*	46.44	蛇行河川
20200911-03	北3の沢	43.120466	143.922164	浦幌層群	尺別層	350+	42.7	4.1	1.3	0.2	29.99	蛇行河川
20200911-04	北3の沢	43.120466	143.922164	浦幌層群	尺別層	350+	44.6	4.0	1.5	0.3	32.05	蛇行河川
20181106-20	留真川枝沢(温泉施設前)	42.937071	143.687643	浦幌層群	留真層(一番沢抜炭層)	--	59.7	5.7	1.1	0.5	18.17	--
20181107-04	留真川枝沢(温泉施設前)	42.937989	143.688243	浦幌層群	留真層(一番沢抜炭層)	--	65.1	5.9	1.3	0.3	9.33	--
20190827-02	留真川枝沢(温泉施設前)	42.937154	143.686384	浦幌層群	留真層(一番沢抜炭層)	--	64.6	6.2	1.1	0.3	8.89	--
20200824-05	留真4号沢	42.941810	143.708517	浦幌層群	雄別層	50	30.1	3.2	1.0	5.0	51.66	河口~内湾
20200824-07	留真4号沢	42.941655	143.708605	浦幌層群	雄別層	40	66.3	5.3	2.0	2.6	8.78	河口~内湾
20200825-03	留真4号沢	42.942642	143.709396	浦幌層群	尺別層	30	53.0	4.9	1.6	1.9	26.22	河口~内湾
20200825-04	留真4号沢	42.942642	143.709396	浦幌層群	尺別層	5	16.5	1.9	0.5	0.7	78.24	河口~内湾
20200825-05	留真4号沢	42.942642	143.709396	浦幌層群	尺別層	35	32.3	3.1	0.9	1.3	53.04	河口~内湾
20200825-06	留真4号沢	42.942923	143.710088	浦幌層群	雄別層	40	53.3	5.1	1.4	2.1	27.43	河口~内湾
20200825-07	留真4号沢	42.943031	143.710768	浦幌層群	雄別層	10	47.0	4.4	1.4	4.0	23.98	河口~内湾
20190827-10a	留真川枝沢	42.947551	143.690586	浦幌層群	留真層	20	35.4	3.4	1.1	0.3	43.55	網状河川
20190827-10b	留真川枝沢	42.947551	143.690586	浦幌層群	留真層	20	29.8	3.1	0.9	0.3	61.45	網状河川
20200826-02	ソウウンベツ川	42.940029	143.735976	浦幌層群	尺別層	40	13.7	2.0	0.4	0.1*	77.70	蛇行河川
20200826-03	ソウウンベツ川	42.940029	143.735976	浦幌層群	尺別層	25	10.1	1.7	0.3	0.1*	80.96	蛇行河川
20200826-08	ソウウンベツ川	42.942790	143.734914	浦幌層群	尺別層	200+	69.2	5.4	1.6	0.6	5.57	河口~内湾
20200826-09	ソウウンベツ川	42.942790	143.734914	浦幌層群	雄別層	200+	69.1	5.9	2.1	0.4	5.74	蛇行河川
20200826-10	ソウウンベツ川	42.942790	143.734914	浦幌層群	雄別層	200+	42.9	4.1	1.3	0.4	47.24	蛇行河川
20200826-11	ソウウンベツ川	42.944206	143.734908	浦幌層群	雄別層	40	64.1	5.6	1.9	0.4	8.88	河口~内湾
20200826-12	ソウウンベツ川	42.942050	143.722736	浦幌層群	雄別層	80	27.6	3.4	0.5	0.2	60.60	蛇行河川
20200826-13	ソウウンベツ川	42.942050	143.722736	浦幌層群	雄別層	80	52.3	5.3	1.4	0.3	25.20	蛇行河川

本研究では、石狩層群の夕張層、幾春別層、浦幌層群の留真層において、網状河川システム中で堆積した石炭が観察された。

蛇行河川システムは、蛇行河川の流路とその周辺に広がる氾濫原、後背湿地等からなる堆積環境を示す。層厚1～3m程度のチャンネル性の砂岩・礫岩が泥岩を挟んで累重する砂岩、礫岩が優勢な礫岩、砂岩、泥岩の互層、多量の陸上植物片を含む泥岩、泥岩が卓越する砂岩泥岩互層、石炭、砂岩・礫岩が累重・癒着した厚い砂岩・礫岩などの堆積相からなる堆積組相である。

本堆積システムの主要な岩相は、砂岩が優勢な砂岩泥岩互層と泥岩の卓越部の繰り返しである。砂岩は、多くが中粒～粗粒であり、粗粒砂岩には細礫～中礫を含むことがある。砂岩は、大小のトラフ状斜交層理を示し、堆積上面にはリップルが認められる。砂岩中には、多量の炭質物や材化石が含まれており、層の上部に炭質物の濃集したレイヤーが認められることがある。また、礫岩は細礫～中礫であり、下に凸のレンズ状で側方連続性が乏しい。一方、泥岩の卓越部や砂岩・泥岩互層部の泥岩は、弱い葉理が認められ、葉理に沿って葉化石や材化石、炭化した陸上植物片などの炭質物が多量に含まれている。なお、砂岩泥岩互層に挟まる砂岩は、逆級化を示すことがある。また、泥質部や砂岩泥岩互層中には、頻繁に石炭が挟在する。本堆積システムの石炭は、他の堆積システムと比較して、厚いことが多く、1m以上の層も多く観察される。特に、炭たけが1mを越える厚い石炭は、大規模に発達した高層湿地で形成されたと考えられる。また、厚い石炭には、砂岩や凝灰岩の薄層が挟まることがある。本研究で検討した石炭の大部分が蛇行河川システムの氾濫原～後背湿地で形成されたものであった。

本研究では、石狩層群の登川層、夕張層、美唄層、幾春別層、平岸層、芦別層、浦幌層群の雄別層、尺別層において、蛇行河川システム中で堆積した石炭が観察された。

河口～内湾システムは、河川が海に注ぎ込む際に形成される堆積環境であり、河口、砂州、低層湿地（塩湿地）などからなる。トラフ状斜交層理の認められる細粒～中粒砂岩、数cm～10cm程度の細粒～極細粒の砂岩と砂質泥岩の細互層、生物擾乱を伴う細粒砂岩～砂質泥岩などの堆積相からなる堆積組相である。本堆積システムに特徴的な点として、汽水域であることから、細粒砂岩～砂質泥岩には、カキやシジミなどの汽水性の二枚貝類、海生微化石が産出することがある。石炭の挟在は少ないが、細粒砂岩～砂質泥岩に10～30cm程度の薄い層が挟在することがあり、低層湿地（塩湿地）などで形成されたと考えられる。

本研究では、石狩層群の美唄層、浦幌層群の雄別層、尺別層において、本堆積システム中で堆積した石炭が観察された。

まとめ

石狩層群および浦幌層群において採集した石炭～炭質泥岩試料について、主要元素分析（炭素、水素、窒素、硫黄）および灰分分析を行った。また、各石炭試料を採集した層準について、上下の堆積相から堆積環境を解釈し、取りまとめた。

本研究で検討した石狩層群および浦幌層群の石炭は、ほとんどが蛇行河川システムの後背湿地で形成されたものであったが、一部、網状河川システムの氾濫原や、河口～内湾システムの低層湿地（塩湿地）で形成されたものがあつた。また、従来、石炭資源として有望とされている1m以上の炭たけをもつ石炭は、蛇行河川システムの中でも大規模に形成された高層湿地の堆積物であつた。この結果は、これまでの石炭の堆積場に関する知見と整合的である。しかし、石炭を直接利用しない、炭層ガスや石炭地下ガス化などの新しい手法による石炭利用においては、炭たけの薄い石炭なども利用対象となり得ることから、これまで研究対象として注目されてこなかった網状河川システムや河口～内湾システムで形成された石炭についても検討していくことが重要である。

一方、各石炭の形成環境と主要元素組成との関係は、特に、浦幌層群のうち、河口～内湾システムで堆積した石炭で、硫黄含有量が高い傾向があつたものの、明瞭な相関関係は示されなかった。これは、主成分である炭素と水素の組成が石炭の熟成度と強い相関をもつためであると考えられる。石炭の形成環境と性状の関係については、今後、微量な構成元素等について検討を進めることで、その関連性が明らかになっていく。

なお、本研究で分析を行った石炭試料は、更なる分析等に供用できるよう、アーカイブとしてエネルギー・環境・地質研究所において保管する。

謝辞

本研究は、平成30年度～令和2年度の3ヶ年、エネルギー・環境・地質研究所（研究開始当時は、地質研究所）の経常研究として実施した研究の成果の一部である。国有林での地質調査にあたっては、空知南部森林管理署、根釧西部森林管理署、留萌北部森林管理署、道有林での地質調査にあたっては、十勝総合振興局森林室にお世話になった。また、現地調査では、エネルギー・環境・地質研究所 資源エネルギー部 地域エネルギーグループの鈴木隆広研究主幹、研究推進室 研究情報グループの垣原康之主査に、調査・研究の全般にわたり各種支援をいただいた。石炭の元素分析に当たっては、同研究所 循環資源部 環境システムグループの鎌田樹志主任主査に、石炭の元素分析について助言をいただいた。以上の方々に感謝申し上げる。

なお、本研究で使用した全自動元素分析装置（Elementar社製、vario EL cube）は、競輪の補助を受けて整備された

ものである。

引用文献

- 1) 今井半次郎, 1924, 石狩炭田に於ける白堊紀層と夾炭第三紀層(石狩統)との層位関係, 地質学雑誌, 31, 18-39.
- 2) 矢部長克・青木簾二郎, 1924, 日本新生代地層の対比, 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, 4, 1-14.
- 3) 田代修一, 1951, 石狩炭田の地質構造に関する一考察, 石炭地質研究, 1, 1-63, 3付図.
- 4) 徳永重元, 佐々木実, 植田芳郎, 佐藤良昭, 鈴木泰輔, 尾上 亨, 曾我部正敏, 根本隆文, 佐川 昭, 1973, 日本炭田図 11「石狩炭田地質図」, 地質調査所.
- 5) 国安 稔・山田泰広, 2004, 中央北海道南部地域の深部構造, 石油技術協会誌, 69, 2, 131-144.
- 6) Takano, O., Waseda, A., 2003, Sequence stratigraphic architecture of a differentially subsiding bay to fluvial basin: the Eocene Ishikari Group, Ishikari Coal Field, Hokkaido, Japan. *Sedimentary Geology*, 160, 131-158.
- 7) Kaiho, K., 1984, Paleogene foraminifera from Hokkaido, Japan. Part 2. Correlation of the Paleogene System in Hokkaido and systematic paleontology. *Tohoku Univ., Sci. Rep., 2nd ser. (Geology)*, 55, 1-74.
- 8) 飯島 東, 1996, 北海道の古第三紀堆積盆の変遷. 地学雑誌, 105, 178-197.
- 9) Mizuno, A., 1964, Summary of the paleogene molluscan faunas in Japan. Report, Geological Survey of Japan (地質調査所報告), 207, 1-28.
- 10) Kaiho, K., 1984, Paleogene foraminifera from Hokkaido, Japan. Part 1. Lithostratigraphy and biostratigraphy including description of new species. *Tohoku Univ., Sci. Rep., 2nd ser. (Geology)*, 54, 95-139.
- 11) 佐々保雄, 1940, 釧路炭田に於ける第三系の層序と之に関する従来諸説(上). 北海道石炭鑛業會會報, 307, 1-19.
- 12) 佐々保雄, 1940, 釧路炭田に於ける第三系の層序と之に関する従来諸説(上). 北海道石炭鑛業會會報, 308, 20-43.
- 13) 馬淵精一, 1962, 釧路炭田古第三系に関する堆積並びに造構造史的考察. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, 56, 1-42.
- 14) 棚井敏雅, 1957, 5万分の1地質図幅「音別」及び同説明書. 北海道開発庁, 1-52.
- 15) 片桐貴浩, 成瀬 元, 平田岳史, 服部健太郎, 2016, 北海道東部に分布する浦幌層群に含まれる細粒凝灰岩の U-Pb 年代. 地質学雑誌, 122, 495-503.
- 16) Matsui, M., 1962, Sedimentological study of the Paleogene basin of Kushiro in Hokkaido, Japan. *Jour. of the Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. 4, Geol. and Mineral.*, 11, 431-480.
- 17) Honda, Y., 1981, Corbiculid Mollusca from the Urahoro Group, Kushiro Coal Field, eastern Hokkaido. *Trans. Proc. Palaeontological Soc. Japan, New Ser.*, 121, 14-28.
- 18) Honda, Y., 1989, Paleogene Molluscan Faunas from the Kushiro Coal Field, Eastern Hokkaido. *Science Reports of the Tohoku University, Second Series: Geology*, 60, 1-137.
- 19) Kurita, H., 2004, Paleogene dinoflagellate cyst biostratigraphy of northern Japan. *Micropaleontology*, 50, suppl. no. 2, 3-50.
- 20) 織田精徳, 根本隆文, 植村 武, 1959, 5万分の1地質図幅「常室」及び同説明書. 北海道開発庁, 1-54.
- 21) 日本工業規格 (JIS M8812), 2004, 石炭類及びコークス類—工業分析方法.
- 22) 日本工業規格 (JIS M8819), 1997, 石炭類及びコークス類—機器分析装置による元素分析方法.
- 23) Miall, A. D., 1992, Alluvial Models. In Walker, R. G. and James, N. P. eds., *Facies Models -Response to Sea Level Change-*, *Geol. Assoc. Canada*, 119-142.
- 24) Reinson, G. E., 1992, Transgressive Barrier Island and Estuarine System. In Walker, R. G. and James, N. P. eds., *Facies Models -Response to Sea Level Change-*, *Geol. Assoc. Canada*, 179-194.
- 25) 高野 修, 早稲田周, 西田英毅, 一ノ関鉄郎, 横井研一, 1998, 北海道始新統石狩層群の河川～内湾システムと堆積シーケンス. 堆積学研究, 47, 33-53.

要 旨

本研究では、北海道の主要な炭田地域（石狩炭田，釧路炭田）において、堆積相解析により、石炭の形成環境を解釈したうえで、各石炭について主要成分分析（炭素，水素，窒素，硫黄）および灰分分析を行った。北海道内の石炭は、そのほとんどが蛇行河川システムの後背湿地で形成されたものであり、一部、網状河川システムの氾濫原や河口～内湾システムの低層湿地（塩湿地）で形成された石炭があった。採掘対象となるような層厚 1 m 以上の石炭は、すべて蛇行河川システムにおいて発達した高層湿地で形成されたものであった。一方、石炭の形成環境と主要成分の相関は、石炭化度などの別な要因の影響も大きく、明瞭な関係は認められなかった。