



Title	第2回岩層ガス採掘小委員会の活動報告
Author(s)	松本, 裕之; 内田, 景己; 高橋, 徹 他
Description	資源・素材2014（熊本）－平成26年度資源・素材関係学協会合同秋季大会－、2014年9月15日～19日、熊本大学、熊本市
Citation	資源・素材2014（熊本）企画発表・一般発表講演集（WEB版）, 2014, A4-2
Issue Date	2014-09-16
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/59749
Type	conference paper
File Information	MMIJ2014KUMAMOTO, A4-2. pdf



第2回岩層ガス採掘小委員会の活動報告

The Second Report of the Rock Seam Gas Committee

○松本 裕之¹，内田 景己¹，高橋 徹²，藤井 義明²，児玉 淳一²，鮎沢 潤³

1. 釧路コールマイン株式会社 2. 北海道大学 3. 福岡大学

釧路コールマインは、北海道釧路市の東南に位置する、我が国唯一の坑内採掘海底炭鉱である。石炭の採掘は、新生代古第三紀の春採累層を対象としているが、その下位に堆積する白亜系岩盤層内から、メタンガスが湧出することが知られている。そこで、資源・素材学会 地球・資源グループ 採掘技術部門委員会の下部組織として、平成25年3月に「岩層ガス採掘小委員会」が設立され、メタンガスが賦存していると思われる地域の地質学的研究や、岩石、水、ガス等の分析・研究をはじめ、賦存形態や賦存量に関する調査・研究、および、ガス採掘技術の最適化・高度化に関する調査等を実施している。本論では、主として昨年度、経済産業省資源エネルギー庁の補助金にて実施されたボーリング孔からのメタン湧出機構に関する知見、回収したコアの岩石力学的研究、および、堆積学・堆積岩石学的研究の結果について、その概要を述べることとする。

キーワード：釧路コールマイン，岩層ガス，白亜紀層，砂岩脈，浸透率，有機炭素量

1. はじめに

釧路コールマインは、北海道釧路市の東南に位置する我が国唯一の坑内採掘海底炭鉱である。石炭の採掘は、新生代古第三紀の春採累層を対象としており、採掘後の払跡に貯留する、いわゆる炭鉱メタンガス（CMM）のほか、その下位に堆積する白亜系岩盤層内から、メタンガスが湧出することが知られており、近年、その開発に向け調査・研究が実施されている。その一環として、資源・素材学会 地球・資源グループ 採掘技術部門委員会の下部組織として、平成 25 年 3 月に「岩層ガス採掘小委員会」が設立され、メタンガスが賦存していると思われる地域の地質学的研究や、岩石、水、ガス等の分析・研究をはじめ、賦存形態や賦存量に関する調査・研究、および、ガス採掘技術の最適化・高度化に関する調査等を実施している。

その第 1 報として、「資源・素材(札幌)2013」にて、「第 1 回岩層ガス採掘小委員会の活動報告」¹⁾を公表した。既報では、調査・研究対象地域の地質条件、電磁探査による白亜紀層の層厚推定、白亜紀層基盤水の分析結果と年代推定、白亜系岩石の物性等、これまでの研究成果について述べた。

本論では、主として昨年度、経済産業省資源エネルギー庁の補助金にて実施された 1,000m の下向き垂直ボーリング、および、それ以前に実施されたボーリング孔からのメタン湧出機構に関する知見、回収したコアの岩石力学的研究と、堆積学・堆積岩石学的研究の結果について、上述第 1 報、ならびに、資源・素材学会北海道支部平成 26 年度春季講演会にて発表した、「釧路地方の岩層メタンガスについて(2)」²⁾に加筆する形で、その概要を述べることにする。

2. 調査・研究対象地域

岩層ガスの調査・研究対象地域は、釧路コールマインの鉱区に重複・隣接する区域一帯であり、図 1 にその概要を示した。この地域は、図にあるように、「春採半ドーム」³⁾と呼ばれる構造の西側に相当し、中でも、落差 400m 程度と思われる春採断層とオソツナイ断層に囲まれた陸地丘陵部一帯および、地先海面下である。

なお本論では、この区域のうち、釧路コールマインの坑内海底下を主要現場と位置付け、調査・研究したものである。

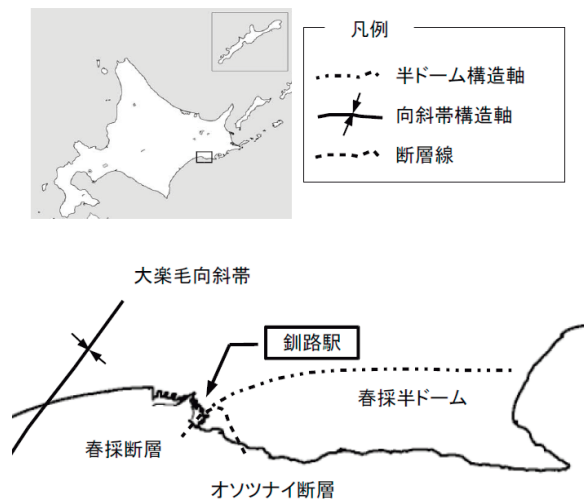


図 1 調査・研究対象地域

表 1 地質層序

地質時代		地層名		層厚(m)	火成活動、その他			
新生代	第四紀	現世	沖積層		7+	(不整合)		
			段丘堆積物		4~7			
			屈斜路軽石流堆積物		20+		火山活動(石英安山岩質)	
		更新世	釧路層群	塘路累層	硬質相 砂質相	70+	(不整合)	
				達古武累層	主部層	7~19		火山活動
					下部層	0~20		
				東釧路累層		20+		
	古第三紀	漸新世	舌辛累層		40+	(不整合)		
			雄別累層		110			
			天享累層		60			
			春採累層		15~80			
			別保累層		10~40			
中生代	白亜紀	ヘトナイシ世	根室層群	汐見累層		150+	安山岩の貫入 ↓ 海底火成活動！ 安山岩質熔岩を伴う、 安山岩、玄武岩の進入	
				仙鳳趾累層	上部層	500+		
					下部層	20~400		
				門静累層		10~320		
				太田村累層		120~400		
				阿歴内累層		350+		

3. ボーリング調査結果

まず、表 1 に、岡崎ほか(1965)に基づき、地質層序の概要を示した³⁾。

釧路コールマインでは、新生界古第三系春採累層を採掘対象にしており、白亜紀層は、その下位に堆積している。表中に示したように、白亜紀層は、汐見層、仙鳳趾層、門静層等、幾つかの層に細分されているが、露頭が断続的なため、全体の層厚は良く判っていない。

平成 25 年度までに数本の下向き垂直ボーリングを春採坑第 2 斜坑（以降、第 2 斜坑）にて実施した。図 2 に平面図

を、図3に断面図を示した。これらボーリングの目的は、メタンガスの回収と、地質層序及び白亜紀基盤水の確認であった。以下に結果の概要を列挙する。

- ① 第2斜坑 650m 位置の約 1,000m ボーリングでは、目視観察ではあるが、白亜紀層内の層序区分はできなかった。
- ② 同ボーリング孔からは、メタンガスの顕著な湧出は確認できなかった。
- ③ 第2斜坑 1,500m 付近の数本のボーリング孔からは、若干ではあるが、メタンガスの連続的な湧出が確認され、現在も継続している。
- ④ どのボーリング孔からも、白亜紀基盤水単独の採水は達成できなかった。

これらの結果の解釈については現在検討中であるが、メタンガスの湧出の違いについては、断層や岩脈との相関関係を想定している。

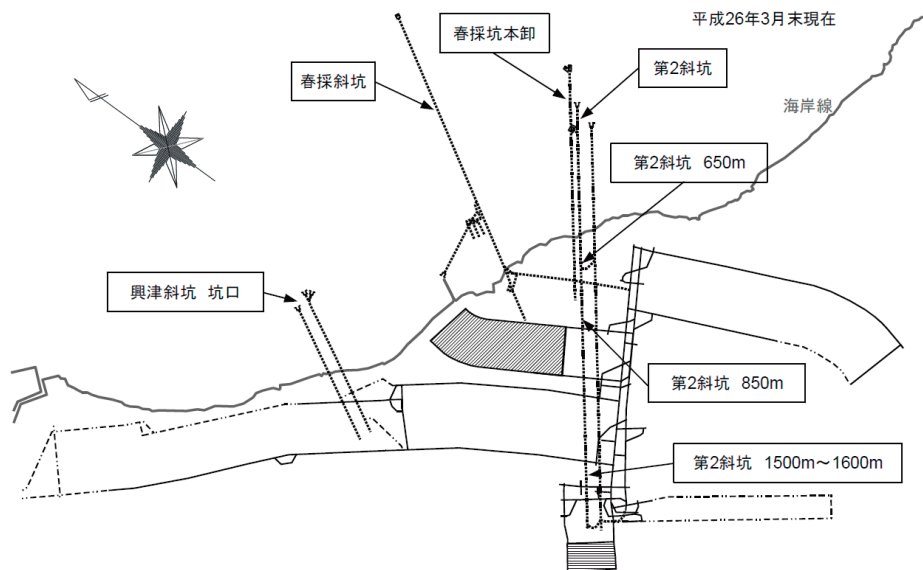


図2 ボーリング位置を示した平面図

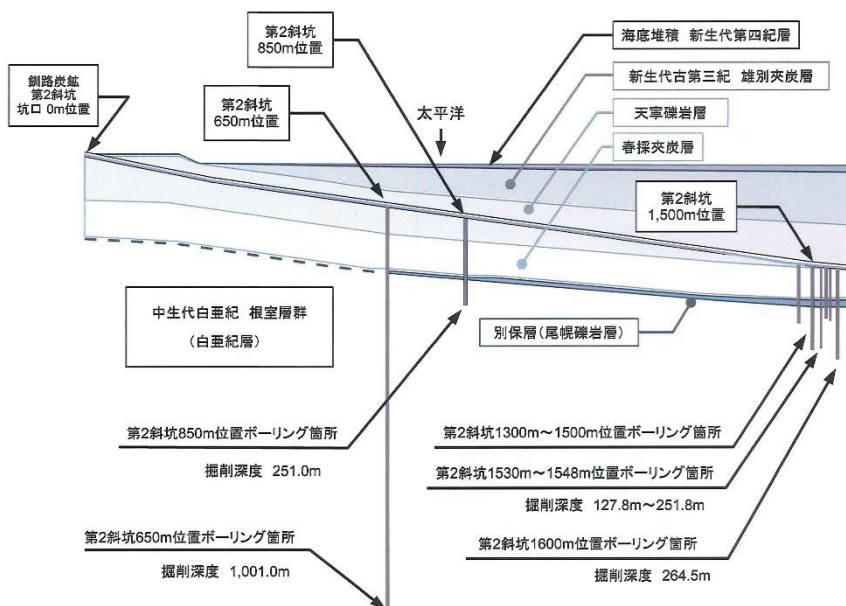


図3 ボーリング位置を示した断面図

図4に、ボーリング位置と岩脈帯の平面図を示した。この図は、太平洋炭鉱時代の坑道図に、ボーリング位置と岩脈帯を重ねたものである。第2斜坑 650m ボーリング地点は、岩脈帯 A の中に位置している可能性がある。

また、図4中の左下「C」は、過去、太平洋炭鉱時代に行われた放水ボーリング孔を示しているが、大量の白亜紀基盤水とともに、メタンガスも大量湧出したとの記録があり、岩脈帯との位置関係において、興味深い結果と解釈している。

ここで言う岩脈帯とは、太平洋炭鉱時代に春採累層中で確認された、厚さ数 cm 規模以上の砂岩脈が集中して分布している一帯であり、あくまで想定域を出ない。しかしながら、岩脈が白亜紀層を貫いている事実は、釧路コールマイン東方の釧路町汐見地区の地表でも確認しており、メタンガスが抜けてしまった可能性を示唆するものとも考えられる。

図5に、昭和31年に、工業技術院地質調査所が発行した、昆布森地域の地質図⁴⁾から、砂岩脈(sd)が記載された箇所を抜き出して示した。また、図6には、釧路町汐見地区を踏査した際に現地で確認された地表露出した岩脈の写真を示した。

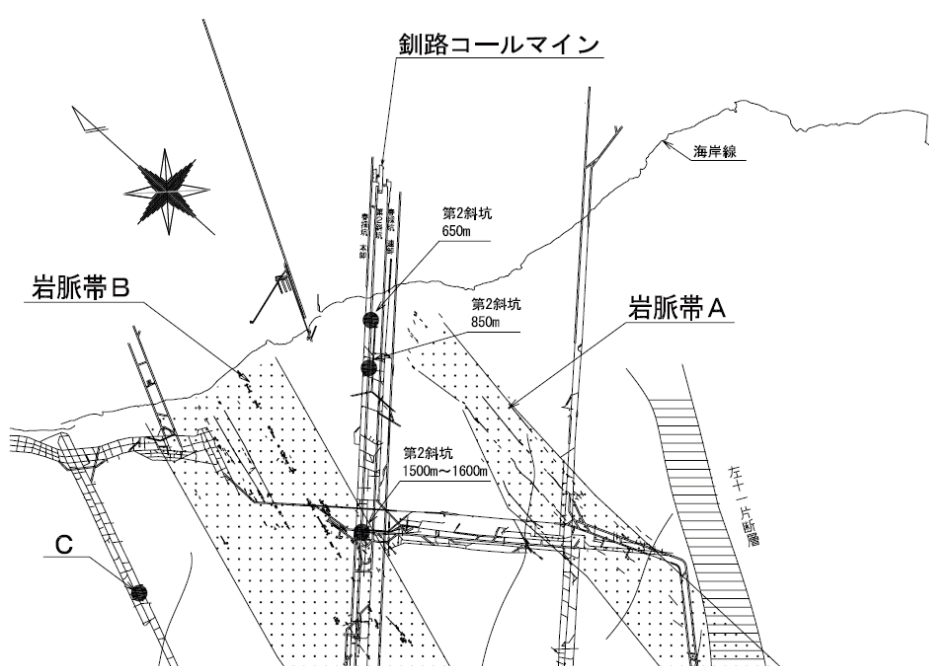


図4 ボーリング位置と岩脈帯



図5 釧路町汐見地区の地質図(工業技術院, 1956)



図6 釧路町汐見地区の岩脈

4. ボーリングコアの分析

4.1 ガス浸透率

白亜紀層に賦存するメタンガスを採掘する手法を決定するためには、シミュレータの開発が重要であろうとの判断から、ボーリングによって回収されたコアの物性値を知るため、各種室内試験を行ってきた。まず、第2斜坑 650m 位置の深度 180.4m～187.9m 地点で得られた健全なコアの物性値の代表例を、表 2 に示した²⁾。

表 2 白亜紀層ボーリングコアの代表的物性値

項目	真比重	空隙率 %	熱伝導 率 W/mK	一軸圧 縮強度 MPa	圧裂引 張強度 MPa	ヤング 率 GPa	ポアソン 比
1	2.60	—	1.97	139.3	24.6	24.6	0.10
2	2.61	—	1.98	147.6	—	—	—
3	2.62	—	1.99	144.5	20.8	20.8	0.25
4	—	—	—	151.2	22.8	22.8	0.11
5	—	—	—	149.5	20.9	20.9	0.08
試料数	3	3	3	5	5	4	4
平均値	2.61	3.83	1.98	146.4	16.5	22.3	0.14

* 空隙率は、真比重と見かけ比重の平均値から計算した

今回は、更に、ガス浸透率について測定を行ったので、以下に記す。供試体は、第2斜坑 1,350m 位置の深度 280.1m～281.09m 地点で得られた健全なコアを使用した。

本来であれば、メタンガスでの試験が望ましいが、安全を考慮して、窒素ガスを用いて行った。直径 30mm、長さ 60mm の気乾状態の供試体にエンドピースを取り付け、供試体側面でのガスの移流を防ぐため、シリコンシーラント(信越化学工業製、一液型 RTV ゴム、KE3495)でコーティングした。次にエンドピースと供試体を熱収縮チューブ(潤工社製、ジュンフロン FEP 熱収縮チューブ、NF300)で被覆した。被覆した供試体を超小型三軸セルに挿入し、材料試験機(インストロン社製、5500R、機械式、250kN)で軸圧、ダブルプランジャポンプで封圧を作用させ、静水圧とした。その後、窒素ボンベから窒素ガスを注入した。試験装置の概要を図 7 に示した。

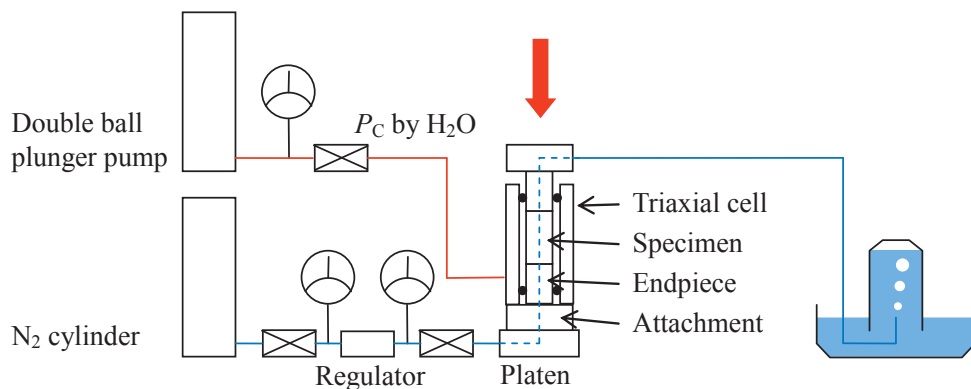


図 7 試験装置の概要

上流圧を一定に保ちながら、大気圧に開放していた下流側のバルブを閉じ、下流の圧力変化を測定した。トランジェントパルス近似法の理論式は、以下のとおりである⁵⁾。

$$K = \frac{\mu L \alpha}{(G_1 + G_2) A}$$

$$\alpha = \frac{\ln(\Delta p_1 / \Delta p_2)}{\Delta t}$$

ここで、

K : Permeability (m^2)

μ : Viscosity ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

L : Specimen length (m)

G_1 : Stiffness of upstream (Pa/m^3) $\ll G_2$

G_2 : Stiffness of downstream (Pa/m^3)

ガスの粘性率は、圧力依存が小さく、温度に依存するので、以下の式で与えられる。

$$\mu = \mu_0 \times \frac{a}{b} \times \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$a = T_0 + C$$

$$b = T + C$$

窒素ガスの場合、 $\mu_0 = 1.78 \times 10^{-5}$ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)、 $T_0 = 300.55$ (K)、 $C = 111$ (K)なので、 $T = 295$ (K)の場合、 $\mu = 1.765 \times 10^{-5}$ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)である。

注入圧が 2MPa における浸透率は、 10^{-18} m^2 程度 (10^{-6} darcy あるいは、0.001 md) と大変小さく、北米のシェールガスを胚胎する岩石⁶⁾と同様な値と考えられる。

このように、健全な供試体でのガス浸透率が極端に小さいが、現実に若干なりともメタンガス湧出していることを鑑みれば、亀裂に沿ってガスが移動・湧出していることも考えられる。そこで、圧裂引張で供試体に亀裂を生じさせ、定圧力法で窒素を注入し、流量から浸透率を計算したところ、封圧に伴い減少し、健全な供試体の $10^{3.7} \sim 10^{3.5}$ 倍、つまり、数 md のオーダーとなった。比較のために行った来待砂岩では、封圧の増加に伴って浸透率が大きく減少し、封圧 15 MPa では、健全な供試体とほぼ同様の結果となった。

含水飽和させた供試体のガス浸透率は、気乾状態の浸透率とほぼ同じであったが、封圧依存性はやや大きかった。比較のために行った来待砂岩では、有効封圧が、0.8 MPa～6.8 MPa で、相対浸透率が 10% 程度であったが、封圧の増加に伴い浸透率は大きく減少し、有効封圧 10.8 MPa では、健全な供試体と同様、相対浸透率が約 1% となった。

図 8 に、比較のために行った、来待砂岩の結果とともに、白亜系砂質頁岩のガス浸透率を示した。

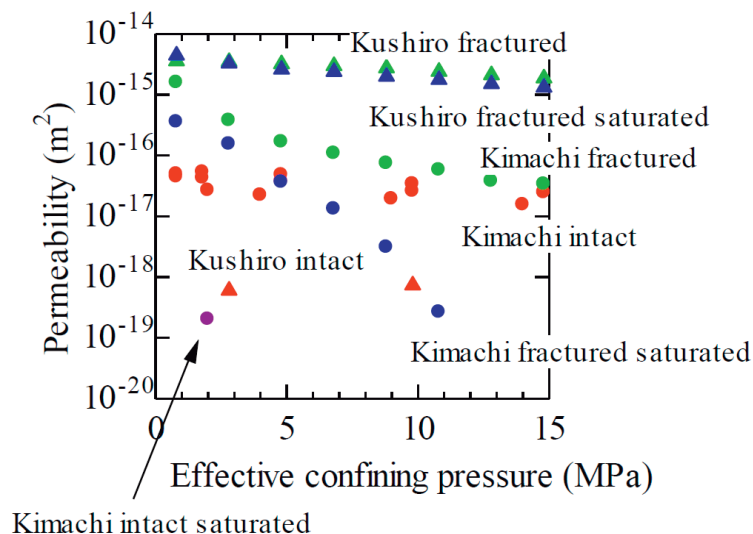


図 8 ガス浸透率の測定結果

4.2 堆積学・堆積岩石学的知見

コアを構成する岩石は細粒ないし微粒の砂岩で、部分的に粗粒（細礫）岩や細粒（泥～シルト）岩、これらの中で上方細粒化を示す層準もある。図9にコアの断面写真例を示した。リップ アップ クラスト、生物擾乱などを伴うタービダイトであるが、Bouma の完全シーケンスは見出されない。無作為に抽出した砂岩試料のモード組成はアレナイトないしワッケ領域にある。顕微鏡下では微細な分散型有機物片や炭質物の小レンズが認められ、全岩元素分析による有機炭素の含有率は0.15–0.59%である。図10に第2斜坑650m位置のボーリング孔から回収した深度180mの砂岩の偏光顕微鏡写真を示した。対応する炭素／窒素比が7.0–14.0の範囲にあることから、マクロサイズの炭質物片を除くと、炭素の起源は海成有機物であろう。

コア試料のうち深度897m他では未固結時の流動変形が、深度600–700m等では高角度の亀裂が発達し、一方で深度830m・坑底間では節理・断層による破碎は少ない。亀裂の間隙は主に炭酸塩鉱物や粘土鉱物、ときに沸石鉱物が充填し、前者のうち方解石の場合は最大厚が15mmに達することもある。白色の方解石には径1 μ m未満の流体包有物が濃集し、均質化温度、塩濃度、ガス組成の推定が期待される。

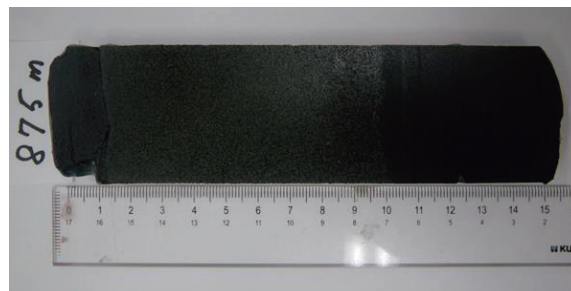


図9 コアの断面写真例

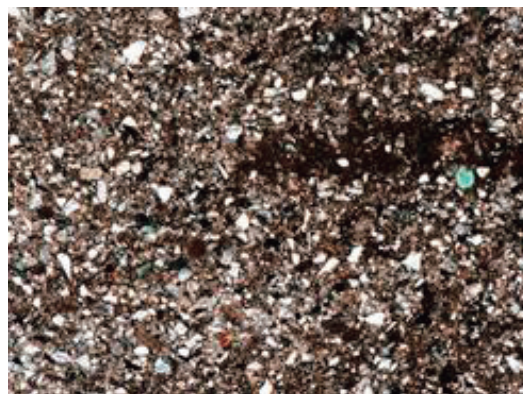


図10 砂岩の偏光顕微鏡写真。写真の横は約3.5mm

5. 今後の課題

太平洋炭鉄時代の抜水ボーリングを含め、白亜紀層への下向き垂直ボーリングでは、メタンガスが湧出するものと、しないものがあることが判った。今後は、白亜紀層がメタンガスの根源岩であるか、または更に下位層から亀裂や空隙を伝って湧出するのかを論点に、引き続き詳細な分析・解析を継続していく所存である。

引用文献

- 1) 松本裕之ほか：「資源・素材 2013(札幌)講演資料」，(2013)，pp.27-30.
- 2) 松本裕之ほか：「資源・素材学会北海道支部平成26年度春季講演会要旨集」，(2014)，pp.9-10.
- 3) 岡崎由夫ほか：「釧路炭田」，（「釧路叢書第十四巻」，1974），pp.35.
- 4) 工業技術院地質調査所：「5万分の1 昆布森地質図」，(1956)，pp.58
- 5) Brace 他：「J. Geophys. Res., Vol. 73」，pp.2225-2236.
- 6) 森島宏：「石油・天然ガス資源情報」，(2009)