論 文

秋田県鮎川地域の変質作用とドレライト貯留岩*

大久保 進**・星 一良***・加藤 邦弘****・洲崎 照夫**

(Received October 13, 1995; accepted November 29, 1995)

The dolerite reservoir and its alteration in the Ayukawa oil
and gas field, Akita Prefecture, Japan

Susumu Okubo, Kazuyoshi Hoshi, Kunihiro Kato and Teruo Suzaki

Abstract: Hydrocarbon reservoirs in the Ayukawa oil and gas field are composed of middle Miocene argillaceous rock, acid tuff and dolerite. Various petrographic and petrophysical analyses of the dolerite reservoir suggest that it is formed by the selective dissolution of saponite which replaced mafic minerals and plagioclase during a duration of alteration.

In the duration of alteration, three types of alteration facies in the dolerite and its surrounding rocks are distinguished; secondary mineral zoning characterized with abundant saponite, dissolution of saponite and plagioclase at low pH condition, and cementation by K-feldspar and/or dolomite. They are supposed to be analogous to a product by seawater dominated alteration (Mottl and Seyfried, 1983 and others) which occurs during cooling of dolerite intrusions.

Similar types of alteration have been recognized in dolerites of other hydrocarbon fields in NE Japan as well, in which other dolerite reservoirs might be expected.

Key words: dolerite, alteration, dissolution pore, Ayukawa oil and gas field, Onnagawa Formation, middle Miocene

1. はじめに

鮎川油・ガス田は秋田県本荘市の南南東約 8 km、由利原油・ガス田の北方約 2 km に位置しており (図 1)、女川層が主要な産油・産ガス層である (荒木・加藤,

* 平成 7 年 6 月 7 日, 平成 7 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「最近の探鉱技術—新規油・ガス田の発見をめざして—」で講演

This paper was presented at the 1995 JAPT Geology and Exploration Symposium entitled "Advanced technology of exploration for discovering new oil or gas fields", held in Makuhari, Japan, June 7, 1995.

** 石油資源開発(株)技術研究所 JAPEx Research Center, Japan Petroleum Exploration Co., Ltd.

*** 新南海石油(株) JAPEx New Nantai Co., Ltd.

**** 石油資源開発(株)探鉱部 Exploration Department, Japan Petroleum Exploration Co., Ltd.

1993)。平成 6 年度までに 6 坑の試掘井が掘削されており、珪質岩、酸性凝灰岩、ドレライトなどの貯留岩が確認されている。これらのうち、ドレライトは初生的に完晶質で緻密な岩体であるにもかかわらず、本地域では二次的に良好な貯留岩となっている。また、ドレライトの熱は根源岩の熟成にも影響を及ぼしているようであり (早稲田ほか, 1995)、新たなブレタイプとして注目される。

筆者らは鮎川地域の女川層中のドレライト貯留岩の分布や成因を明らかにする目的で、岩石薄片観察、X 線回折分析、全岩化学組成分析、カソードルミネッセンス、分析電子顕微鏡、コア試験、孔径分布測定および物理検層結果などを総合的に検討した。本稿では、これらの検討結果を基に、特にドレライト貯留岩に見られる変質作用と貯留岩形成の関係について報告する。

図 1 位置図

2. 地質の概要

鮎川油・ガス田の層序は下位から西黒沢層、女川層、船川層、天徳寺層、笹岡層、および鳥海山噴出物に区分される(荒木・加藤, 1993)。鮎川地域で平成6年度までに掘削された6坑のうち、新子吉川 AK-1 号井を除く5坑井における船川層から女川層の対比、油・ガス層分布、および統成分帯におけるオパール CT 帯と石英帯の境界を図2に示す。

女川層は主に硬質頁岩からなり、酸性凝灰岩およびドレライトを伴っている。本層の層厚は南西部で約900 mであり、北東部で約400 mである。硬質頁岩は生物起源の珪質成分に富む珪質岩と碎屑物に富む粘土岩の mm から cm スケールの互層からなる。酸性凝灰岩は0.2 mm 程度の不規則な形状の軽石片と極細粒の変質した火山ガラスを主体とし、泥質成分を含む。女川層中では、On-1、On-3と呼ばれる2枚の検層マーカーと、泥質岩中の珪質成分が急増する層準(S. Marker)が良好な対比マーカーとなっている。

ドレライトは東鮎川 AK-1 号井を除く4坑で確認されており、女川層中の対比マーカーとの関係から2つの岩体に区分されている。1つは黒沢 AK-1 号井で確認された岩体で On-1 と On-3 の間の層準に貫入しており、

厚さは約150 mである。もう1つは北鮎川 AK-1 号井、西鮎川 SK-1D 号井および新鮎川 AK-1 号井で確認された岩体で、S. Marker より下位の層準に貫入している。その厚さは北鮎川 AK-1 号井で100 m程度、西鮎川 SK-1D 号井では180 m⁺であり、新鮎川 AK-1 号井では2枚に分かれているが、あわせて180 m程度である。また、地震探査記録ではこれらのほかにドレライトであると推定される強振幅の反射波列が周辺の女川層中に分布している(河合ほか, 1996)。

油・ガス層は女川層上部、ドレライト中およびドレライトの周囲に確認されている。これらのうち、女川層上部のものはガス層であり、主に酸性凝灰岩からなる。ドレライトの周囲のものは油層であり、ドレライトの影響によって硬化した頁岩中のフラクチャーが主要な孔隙となっていると推定される。一方、ドレライトは初生的に硬質・緻密な岩体であると考えられるが、岩体の上部および中部が油層となっており、局所的に良好な貯留岩性状を有していることが確認された。これらの油・ガス層はオパール CT 帯と石英帯の境界より下位に分布しており、増井・辻(1990)ほかが指摘したように、オパール CT 帯の頁岩が帽岩の役割をはたしていると考えられる。

図2 鮎川地域の坑井間の地層対比、オパールCT/石英帯境界および油ガス層の分布

3. ドレライトおよびその周辺の変質

3.1 ドレライトの変質

鮎川地域の坑井から得られたドレライトは一般に著しい変質を被っているが、比較的新鮮な試料の観察によって初生的な特徴は次のようにまとめられる。斑晶は斜長石および苦鉄質鉱物からなり、斜長岩が苦鉄質鉱物に突き刺さるように見えるオフィティック組織を呈する。斜長石は全体の約60%を占め、最大1×2 mm程度、平均0.4×0.8 mmの柱状から長柱状を呈し、互いに入り組んでいる(図3)。苦鉄質鉱物は単斜輝石を主体として、最大3 mm、平均1 mm程度で斜長石の間を充填する。苦鉄質鉱物は多くがサボナイトによって置換されているが、まれに新鮮な単斜輝石が認められる。また、外形からカンラン石と判断される斑晶がわずかながら認められる。副成分鉱物はスフェン、アパタイトおよび不透明鉱

物である。

図3 ドレライトの顕微鏡写真(1)

北鮎川 AK-1 号井, 1,820m, オープンニコル。単斜輝石が未変質で残存するドレライト。(スケールは0.5mm) Pl: 斜長石, Px: 単斜輝石

図4 ドレライトの変質分帯

ドレライトの変質はサポナイト、タルク、コーレンサイト、方沸石、トムソン沸石、カリ長石、およびドロマイの二次鉱物と溶脱によって特徴づけられる(図4)。サポナイトは最も普遍的に認められる鉱物であり、苦鉄質鉱物のほとんどと斜長石の一部を置換している。タルクは苦鉄質鉱物を置換しているが、苦鉄質鉱物の外形を縁どるように置換するものが多い。コーレンサイトはサポナイトと同様の産状を示すが量的には少なく、岩体の中心部のみに産出が限られる。方沸石とトムソン沸石は

斜長石を置換したり、微小なクラックを充填した脈として産するが、量は少なく、岩体の中心部に限られている。

溶脱はサポナイトや斜長石に認められ、程度の差こそあれほとんどの試料で観察される(図5)。特にサポナイトの溶脱が顕著であって、試料によってはほとんどのサポナイトが溶脱されているものが見られる(図6)。しかし、そのような試料でも長柱状の斜長石の入り組んだオフィティック組織が破壊されずに残っている。

ドロマイとカリ長石は大部分が孔隙を充填するセメントとして認められ、サポナイトや斜長石の溶脱によって形成された孔隙が多い試料ほどそれらの量が多い。カリ長石は斜長石の外側の孔隙に石英をともなって二次成長するようにセメントするものが多いが(図6)、斜長石の周囲に薄くフィルム状に取り巻いて生成しているものもある。ドロマイは、0.01 mm から 0.1 mm 程度の結晶が集合して孔隙を充填する。両セメント鉱物はその量比が試料によってかなり変化しているが、ほとんどの試料で共存しており、カリ長石の沈殿後に残った孔隙をドロマイが充填しているのが一般的である。

ドレライトの変質は溶脱とセメントなど全体にほぼ普遍的に認められるものと、粘土鉱物および沸石の組み合わせによってⅠ～Ⅲ帯に分帯されるものとに区分され、ここでは後者を便宜的に累帯変質と呼ぶ(図4)。Ⅰ帯はサポナイトで特徴づけられる。Ⅱ帯はサポナイトにタルクを伴うことで特徴づけられ、一部にコーレンサイトも認められる。Ⅲ帯は方沸石またはトムソン沸石を伴うことで特徴づけられる。坑井で確認された2つのドレラ

図5 ドレライトの顕微鏡写真(2)

西鮎川 AK-1 号井, 1888.8m, オープンニコル。苦鉄質鉱物は完全にサポナイト化し、一部が溶脱している。(スケールは0.5mm) Pl: 斜長石, P: 孔隙, S: サポナイト

図6 ドレライトの顕微鏡写真(3)

西鮎川 AK-1 号井, 1832.5m, オープンニコル。苦鉄質鉱物を置換したサポナイトはほとんど溶脱し、その隙間にカリ長石セメントが発達している。(スケールは0.5mm) Pl: 斜長石, P: 孔隙, K: カリ長石

図7 鮎川地域のドレイトおよびその周囲に分布する変質帯

イト岩体は、外側から中心部に向かってⅠ帯からⅢ帯に分帯される(図7)。

3.2 ドレイトの周囲の変質

ドレイトの周囲に分布する泥質岩や酸性凝灰岩には二次鉱物としてカオリナイトおよびドロマイイトが多く見られる(図7)。両者の分布範囲はドレイトの周辺から下位に広がっているが、カオリナイトは地域の北東部に限られている。

泥質岩および酸性凝灰岩中に大量に認められるドロマイイトは産状と結晶度から次の3つのタイプに区別される。すなわち、1) 極微小な結晶で基質をセメントするもの、2) 極微小な結晶でクラックを充填するもの、3) 比較的結晶度が良くクラックを充填するもの、である。しかし、これらは分布範囲や化学組成に顕著な差が認められないので、図7では一括した。カオリナイトは酸性

凝灰岩に多く認められ、地域の北東部では泥質岩中にも少量ながらほぼ普遍的に見られる。また、これらのセメント鉱物が共存する試料では、カオリナイトの微細な結晶の隙間やそれらを切ってドロマイイトの微小結晶が生成している。

3.3 変質作用の前後関係

ドレイト中の変質の順序は、鏡下の観察から、(1)苦鉄質鉱物の大半と斜長石の一部を置換するサポナイト化を主体とする累帯変質、(2)サポナイトおよび斜長石の一部の溶脱、(3)溶脱孔隙を充填するカリ長石とドロマイイトセメントの形成である(図8)。また、ドレイトの周囲の泥質岩および酸性凝灰岩ではカオリナイト、ドロマイイトの順に生成したと考えられる。

しかし、これらの前後関係とは異なる場合も一部に観察される。例えばカリ長石は変質作用の初期にもわずか

図8 ドレライトおよびその周囲に見られる変質作用の前後関係

に斜長石に周囲の生成していたり、溶脱孔隙の内側に新たな自形のサポナイトの生成が認められる。したがって、図8で示したように変質作用は一部重複していると考えられる。

3.4 ドレライトの化学組成の特徴

ドレライトに認められる変質は累帯変質、溶脱、カリ長石セメント化、ドロマイトセメント化に大別される。これらのうち、溶脱やセメント生成による組成変化を調べるために、ドレライトの全岩化学組成分析を行った。サポナイト ($\text{Ca}_{0.33}(\text{Mg, Fe, Al})_3(\text{Si, Al})_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)、斜長石 ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \sim \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)、カリ長石 (KAlSi_3O_8) の主成分である Si, Al, K, Mg と変質によってあまり移動しない成分である Ti との比をとって相関を調べた (図9)。図では鏡下での特徴から輝石が半分以上残存する比較的新鮮な試料、苦鉄質鉱物のサポナイト化が著しい試料および溶脱の著しい試料を区別してプロットした。Si/Ti 比および Al/Ti 比は Mg/Ti 比に対してそれぞれ正の相関を示し (相関係数: $r=0.87$ および $r=0.70$)、溶脱の著しい試料ほどそれぞれの比が小さい。また、K/Ti 比は Mg/Ti 比に対しておおむね負の相関を示し ($r=-0.53$)、溶脱の著しい試料ほど K/Ti 比が大きい。これらのことは鏡下での観察と調和的である。

4. ドレライトの貯留岩性状

ドレライトのコア試験による孔隙率 (ϕ_{He}) は 5～25%、空気浸透率 (K_{He}) は 0.01 md 以下～200 md である。両者はほぼ正の相関を示し ($r=0.67$)、孔隙率が大きいほど浸透率が高い (図10)。また、孔隙率が小さいにもかかわらず、浸透率が高い試料には、プラグコア

図9 ドレライトの変質作用と化学組成

中に微小な割れ目が認められる。

水銀ポロシメーターを用いた孔径分布測定では孔隙率 (ϕ_{He}) が 8～28%、中央孔径 (MPR) が 100～12,000 Å である。両者は正の相関を示し ($r=0.62$)、孔隙率が大きいほど中央孔径が大きい (図11)。また SWC 試料の方がコア試料に比べて、同じ中央孔径では孔隙率が大きい傾向がある。

図10 ドレライトの孔隙率と浸透率

図11 ドレライトの孔隙率と中央孔隙径

図12 ドレライトの Mg/Ti 比と貯留岩特性

ドレライトの Mg/Ti 比と孔隙率 (ϕ_{He}) および中央孔隙径 (MPR) の相関を図12に示す。いずれも、ばらつきはあるものの Mg/Ti 比が減少すると孔隙率および中央孔隙径が大きくなる傾向が認められ ($r=-0.49$ および $r=-0.69$), 溶脱によって貯留岩性状が改善されている。

ドレライトは物理検層上の特徴から4タイプに分けられる。タイプ A は高ガンマレイ (GR) 値 (40~60 API), 高比抵抗 (10~40 Ω -m) で特徴づけられる。タイプ B は低 GR 値 (25~35 API), 低比抵抗 (4~6 Ω -m) で特徴づけられる。タイプ A' は A と B の中間の特徴を有する。タイプ C は低 GR 値 (15~20 API), 高~中比抵抗 (6~40 Ω -m) で特徴づけられる。西鮎川 SK-1D 号井のドレライト中のガンマ線検層および比抵抗検層のプロファイルと SWC 試料の Mg/Ti 比および K/Ti 比の変化を図13に示す。本井では、タイプ C に相当する部分が認められず、中間のタイプ B を挟んで上下にタイプ A~A' が認められる。また、タイプ A と A' は Mg/Ti 比が小さく、K/Ti 比が大きい。タイプ B は Mg/Ti 比が大きく、K/Ti 比が小さい。本井では図の矢

図13 西鮎川 SK-1D 号井のドレライトの検層記録と化学組成および DST 位置

印で示した深度で2回のDSTが実施され、いずれも油の産出が確認された。特に、1,850 m 付近のDSTでは100 kl/dを超える油が確認された。

5. 考 察

5.1 ドレライト貯留岩

ドレライト中に確認された油層は、物理検層の特徴からタイプAに属する高比抵抗、高GR値を示す部分に限られる。それらは、化学組成においてはMg/Ti比が小さく、K/Ti比が大きいドレライトに相当し(図13)、鏡下で溶脱孔隙が発達する岩相である(図9)。また、コア試験や孔径分布測定結果においては孔隙率が高く、中央孔口径が大きい岩相である。これらのことから、ドレライト中に発達する油層は溶脱によって形成された孔隙を貯留層としてしていると判断される。

ドレライトの構成鉱物と化学組成との関係を見ると、Mg/Ti比は含まれるサポナイトやドロマイトの量を反映し、K/Ti比はカリ長石の量を反映すると判断される。上記のタイプAとA'のドレライトはK/Ti比が大きいことからカリ長石セメントが多いと考えられるが、コア試験や物理検層結果などから、この部分は良好な貯留岩性状を有していると判断される。このことは、カリ長石セメントが溶脱孔隙を完全に充填するほどには発達していないことを示唆している。

物理検層上のタイプAの分布はドレライト中の油・ガス層の分布と一致しており、いずれの岩体においても上部に発達し、またそこでは側方に拡がる傾向がある。一方、坑底圧力解析から求めた浸透率はコア試験から得られた浸透率に比べて、はるかに高い値を示す。このこ

とは、ドレライト貯留岩の生産性には溶脱孔隙だけではなく、節理やフラクチャなども寄与していることが推察される。

5.2 ドレライトの変質作用の特徴

ドレライトの変質は卓越する変質相に形成時期の違いが認められるものの、重複して認められる場合もあり、累帯変質、溶脱およびセメント化は一連の変質作用の過程で生じたものであると考えられる。また、ドレライトの累帯変質は岩体の中心に向かって分帯されることから、この変質の熱源はドレライトであると考えられる。さらに、これらの変質作用が船川層にまで及んでいないことから、変質の時期は女川期であると推定される。鮎川周辺地域には女川層中に多くのドレライトが報告されており(大沢ほか, 1979, 1988)、それらは女川期の海底に堆積した未固結の泥中での浅所貫入岩体であると考えられている(土谷, 1986)。

これらのことから、一連の変質作用はドレライトの貫入時にそれ自身の熱で反応した結果であり、関与した流体は海水もしくはそれに近い組成の地層水であると推定される。また、方沸岩と濁沸岩の生成温度がそれぞれ90℃と138℃と推定される(星ほか, 1992)ことから、変質温度は中心部でも90℃以上138℃未満と考えられる。この温度は西黒沢層の玄武岩類について推定された200℃を超える変質温度(星ほか, 1992; Yagi, 1992, 1993)に比べてかなり低い。

ドレライト周辺の泥質岩および酸性凝灰岩中に分布するドロマイトやカオリナイトは、ドレライトの周辺に近づくとき急激に多くなること、それらの分布がドレライトの周辺に限られることなどから、ドレライトの変質と一連のものであると判断される。すなわち、これらはドレライトの変質に関与した流体の拡散によって生じた変質帯であると考えられる。また、周辺地域では坑井で確認された2つの岩体のほかに、別のドレライト岩体の存在が推定されており(河合ほか, 1996)、これらも図7に示したドロマイト帯の分布に影響を及ぼしていると考えられる。

ドレライトと泥質岩および酸性凝灰岩中に認められる変質を比較すると、ドロマイトはいずれにおいても最も後期に形成された二次鉱物であり、一連の変質作用の末期の変質鉱物である。このことから、泥質岩および酸性凝灰岩中でドロマイトより早期に形成されたカオリナイトの生成時期は、ドレライトの溶脱作用の時期に相当すると思われる(図8)。一般に、火山ガラスのカオリナイト化やサポナイトの溶脱には天水あるいは酸性溶液の関与が必要であるが、本地域の場合、貫入した環境は女川期の泥質堆積物中であることから、天水ではなく酸

図14 海水/岩石反応実験結果(Seyfried and Mottl, 1982より)とドレライトの変質モデル

性溶液が関与していたと推定される。

ドレライトは貫入時には浸透性の低い岩体であったと判断されるが、変質作用は岩体全体から周囲の泥質岩中にも及んでおり、変質に関与した流体が広く流動したことが推定される。これらのことから、初生的には岩体中の節理や割れ目に沿って流体が移動し、その後に溶脱孔隙を形成しながら徐々に周囲にまで及ぶ変質帯を形成していったと推定される。また、著しい溶脱が認められる部分（タイプ A）はドレライトの上部に集中しており、ドレライトと反応した流体が加熱され上昇したのち、女川層の泥質岩との境界面にそって側方へ移動することによって形成されたと考えられる。同様の産状は、秋田県由利郡東由利町蔵部落の石沢川本流沿いで、女川層の泥質岩中に貫入するドレライトの露頭においても認められ、溶脱し白色化したドレライトが岩体の上部に全体を覆うように広がっている。

これらの変質作用は、ドレライト中の苦鉄質鉱物のほとんどが変質していること、周囲の泥質岩や酸性凝灰岩中のドロマイトセメントの量などから、非常に多くの物質移動を伴っていたことが推定される。

5.3 溶脱孔隙の形成メカニズム

ドレライトおよびその周辺に認められる変質帯の生成過程を推定する上で、玄武岩と海水の反応実験結果（Seyfried and Bischoff, 1979, 1981; Seyfried and Mottl, 1982; Mottl and Seyfried, 1983）は大変有用である。実験結果によれば、海水/玄武岩の反応は次の3つの反応に区分される（図14）。

反応1 岩石中の粘土鉱物の生成につれて海水から OH^- が固相に移動するため、流体中に H^+ イオンが残り pH が下がる。

反応2 pH の低い溶液が岩石から Ca などを溶かし出し、pH が中性に近づく。

反応3 溶解度の減少にともなって Ca 珪酸塩などが沈殿する。

この反応系において、海水/岩石比が小さい岩石卓越系は相対的に Mg を含む粘土鉱物が少なく、Ca に富む相が多くなるが、海水/岩石比が大きい海水卓越系は相対的に Mg を含む粘土鉱物が多くなる（Mottl and Seyfried, 1983）。鮎川地域のドレライトでは苦鉄質鉱物のほとんどがサポナイトに置換されており、明らかに岩石量に対して大量の海水または海水起源の地層水と反応したことを示す。このことは、上記の「反応1」の結果として生じる pH の低い流体が大量に生成されうること示す。

本地域のドレライトで認められる変質過程は、これらの海水/玄武岩反応実験のそれぞれの反応に対応させる

ことが可能である。実験結果を参考にして、ドレライトおよびその周辺に認められる変質の形成過程を次のように推定した。

玄武岩質マグマは比重が泥質堆積物より重いいため噴出できず（土谷, 1986）、女川層の泥質岩に貫入する。この時、女川層の泥質岩は海水を非常に多く含み、未固結である。ドレライトは冷却中に周囲の水と反応し、その結果サポナイト化を主体とする変質が生じる。そこで生成する pH の低い溶液が周囲に拡散する過程で、それ以前に形成されたサポナイトや斜長石を溶脱する。さらに、その周囲では流体中に残った成分や溶脱によって濃集した成分からドロマイトやカリ長石の沈殿が生じる。この流体は周囲より高温であるので上方へ流動し、泥岩との境界などに沿って側方へ移動し、さらに周囲の泥の中に拡散する。そのため、泥質岩や酸性凝灰岩中で pH の低い流体が拡がった部分では火山ガラスがカオリナイトに置換される。さらに、サポナイトを溶脱させた Mg に富む流体が拡散した部分ではドロマイトの沈殿が起こる。

このような変質過程から推定すると、ドレライト中に多くの溶脱孔隙が形成されるためには、貫入岩が周囲の地層水と大量に反応する条件が必要であると考えられる。女川層や寺泊層中には多くの地域でドレライトが報告されているが、それらの一部には溶脱孔隙が認められる。初生的に緻密で低浸透率の岩体であると考えられるドレライトも、溶脱によって貯留岩性状が改善される場合があり、今後の探鉱対象として検討していく必要がある。

6. ま と め

(1) ドレライトおよびその周辺には、1) サポナイト化を主体とする累帯変質、2) 溶脱作用、および3) カリ長石とドロマイトのセメント化が認められ、これらは同時期の一連の変質作用の中で生じたものであると判断される。

(2) 鮎川地域のドレライトには、サポナイトや斜長石の溶脱による二次孔隙が選択的に発達し、良好な貯留岩性状を有している部分がある。

(3) 溶脱孔隙は、女川期にまだ未固結の泥の中に浅所貫入したドレライトが、それ自身のもたらした熱と周囲の海水または海水に近い組成の地層水と反応した一連の変質過程で形成されたと推定される。

(4) 変質に関与した流体がドレライトの上部の女川層の泥質岩との境界に沿って大量に移動したため、岩体の上部に溶脱孔隙が発達している。

(5) ドレライト中に良好な貯留岩となりうる溶脱孔隙

が形成されるには、岩体が大量の海水または地層水と反応することが必要である。

謝 辞

本報告をまとめるにあたり、石油資源開発株式会社片平忠實副社長、米谷盛壽郎技術研究所長、森田謙宏探鉱部長、秋田県商工労働部資源エネルギー課には資料の発表の許可をいただいた。また、分析や前処理では技術研究所の多くの方にお世話になった。さらに、加藤進、柳本裕、秋葉文雄の3氏には原稿を読んでいただいた。ここに記して感謝します。

引 用 文 献

- 荒木直也・加藤進, 1993: 鮎川油・ガス田の発見, 石技誌, 58(2), 119-127.
- 星一良・佐賀肇・箕輪英雄・稲葉充, 1992: 秋田・新潟のグリーンタフ変質と貯留岩性状. 石技誌, 57(1), 77-90.
- 河合展夫・斉藤厚・酒井明男・須田茂幸・太田陽一, 1996: 秋田県鮎川地域における地震探査技術-地震探査データによる貯留層解釈をめざして-. 石技誌, 61(1), 71-80.
- 増井泰裕・辻隆司, 1990: 由利原原油・ガス田周辺の女川層珪質頁岩の石油地質(その1)要旨. 石技誌, 55(4), 285.
- Mottl, M. J. and Seyfried, W. E., 1983: Sub-seafloor hydrothermal systems rock-vs. seawater-dominated. In Rona, P. A. and Lowell, R. P., eds.: *Seafloor Spreading Centers Hydrothermal Systems*, 66-82, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc..
- 大沢穠・大口健志・高安泰助, 1979: 浅舞地域の地質(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 53 p.
- 大沢穠・片平忠實・中野俊・土谷信之・栗田泰夫, 1988: 矢島地域の地質(5万分の1地質図幅). 地質調査所, 87 p.
- Seyfried, W. E. Jr. and Bischoff, J. L., 1979: Low temperature basalt alteration by seawater: an experimental study at 70°C and 150°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43(1)2, 1937-1947.
- Seyfried, W. E. Jr. and Bischoff, J. L., 1981: Experimental seawater-basalt interaction at 300°C, 500 bars, chemical exchange, secondary mineral formation and implications for transport of heavy metals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45(2), 135-147.
- Seyfried, W. E. Jr. and Mottl, M. J., 1982: Hydrothermal alteration of basalt by seawater under seawater-dominated conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(6), 985-1002.
- 土谷信之, 1986: 秋田県中部における中新世中期塩基性岩の海底火成活動. 地質調査所月報, 37(7), 353-366.
- 早稲田周, 梶原義照, 西田英毅, 1995: 石油根源岩の熟成における貫入岩の影響-鮎川油・ガス田女川層の例-. *Researches in Organic Geochemistry*, 10, 1-5.
- Yagi, M., 1992: Characteristics of hydrothermal alteration and its effects on oil reservoirs related to Miocene volcanism in Yurihara oil and gas field, northern Honshu, Japan. *JAPEX Research Center Research Reports*, 8, 27-80.
- Yagi, M., 1993: Regional metamorphism and hydrothermal alteration to Miocene submarine volcanism ('green tuff') in the Yurihara oil and gas field, north west Honshu island, Japan. *The Island Arc*, 2, 240-261.