

大地から学ぶ越路の

おいたち



上：坑井掘削(ガステスト) 下：パイプライン(専用橋) 上：パイプラインの敷設 下：直江津LNG基地

写真提供：国際石油開発帝石株

【主な内容】

■令和元年度大地の会地学講座開催報告

第1回「石油・天然ガス鉱床の成り立ちと探鉱手法のあらまし」

…………… 国際石油開発帝石株探鉱開発ユニット 小林紀彦

第2回「天然ガス開発の道のり」…………… 国際石油開発帝石株探鉱開発ユニット 杉山広巳

■越路文化展出展報告

■大地の会新年会のご案内

■「旧浦村鉄橋」が選奨土木遺産に認定

令和元年度 地学講座開催報告

越路の地に見出された大規模ガス田

—石油・天然ガスの探鉱・開発事業と南長岡ガス田の概要—

2019年度の地学講座は「越路原から採掘されるガス田」に焦点を当て開催しました。今回の講座のすべてを国際石油開発帝石株式会社長岡鉱場の皆様からプロデュースしていただきました。

今回の地学講座を通じて国際石油開発帝石㈱が私たちの生活に欠かせない天然ガスをはじめエネルギーの開発・生産・供給において高い技術力を持ち、豊かな社会づくりの貢献される素晴らしい会社であることが良く分かりました。

講演していただいた講師の皆様、越路原プラント、直江津 LNG 基地、パイプライン監視センターなどをご案内いただき丁寧な説明をしていただいた皆様、そして、講座の運営に尽力いただいた長岡鉱場の君波成人鉱場長様、総務グループマネージャー西條知男様、総務グループコーディネーター若林豊様に深く感謝申し上げます。

本講座の内容について、本号と次号で掲載します。

■第1回 9月27日(金)開講式・講演

【演題】「石油・天然ガス鉱床の成り立ちと探鉱手法のあらまし」-特に火山岩貯留岩の特殊性について-

【講師】国際石油開発帝石㈱探鉱開発ユニット

小林紀彦氏

【概要】国内最大級の南長岡ガス田の概要、石油・天然ガスの形成・探鉱手法。南長岡ガス田の地質的な特徴などについて解説。

【参加者】57名



開講式 君波鉱場長挨拶



第1回 小林紀彦氏講演



第2回 杉山広巳氏講演

■第2回 10月18日(金)講演

【演題】「天然ガス開発の道のり」

【講師】国際石油開発帝石㈱探鉱開発ユニット

杉山広巳氏

【概要】探鉱によるガスが見つかったから生産されるまでの過程について、ガスの埋蔵量の算定手法や掘削手法について解説。

【参加者】51名

■第3回 10月25日(金)講演

【演題】「石油・天然ガスの生産」

【講師】国際石油開発帝石(株)生産ユニット

村上勇二氏

【概要】石油や天然ガスの具体的な生産について、炭酸ガスの除去、脱湿・露点調整、不純物除去の手法や最新技術による環境インパクトの低減などについて解説。

【参加者】41名



第3回 村上勇二氏講演

■第4回 11月10日(日)野外観察会

【野外観察会】「石油鉱業の上流～下流施設をめぐる」

【観察場所】越路原プラント，直江津 LNG 基地，
INPEX ミュージアム，パイプライン監視センター

【参加者】46名

【案内】

- ・越路原プラント：長岡鉱場総務グループ
若林コーディネーター
長谷川プレゼンター
- ・直江津 LNG 基地：新川潔所長
直江津業務管理ユニット総務グループ
赤塚マネージャー
山田プレゼンター
- ・INPEX ミュージアム・パイプライン監視センター
帝石パイプライン株式会社技術部
山田次長
渡邊プレゼンター



野外観察会 長岡鉱場にて



国際石油開発帝石(株) 直江津LNG基地パンフレットより



越路原プラント 国際石油開発帝石(株)提供

「越路の地に見出された大規模ガス田」第1回

■石油・天然ガス鉱床の成り立ちと探鉱手法のあらまし

国際石油開発帝石(株) 小林紀彦

はじめに

越路の地下 4,000m を越える深部で発見された南長岡・片貝ガス田は、国内最大の埋蔵量を誇る構造的なガス田であり、その北部を構成する南長岡ガス田では、1984 年に生産を開始して以来の累計生産量が 2020 年に 250 億立方メートルに達する見込みです。世界の産油国地域に比べれば、日本国内や周辺域は石油や天然ガス等の化石燃料資源に乏しいと言わざるを得ませんが、それでも、南長岡ガス田が位置する新潟から秋田にかけての地域は、石油・天然ガス鉱床の成立に適した特徴を備えた特別な地域と考えることができそうです。ここでは、石油や天然ガス鉱床がどのようにして成立するのか、それらを探すためにどのような方法が用いられているのかについて、あらましをご紹介します。

石油・天然ガスの生産量の変遷と可採年数

どのようにして石油・天然ガスの鉱床が成立するのかについて述べる前に、それらの生産の変遷に触れます。図 1 には、石油開発の歴史を簡単にまとめた記載と世界の 1 日当たりの石油生産量（薄緑色塗りつぶし）を示してあり（石油鉱業連盟資料）、それに原油価格の変遷（BP 統計（2019 年））を折れ線グラフで重ねて表示してあります。

近代石油産業の始まりは、米国ペンシルバニア州タイタスビルのオイルクリークバレーにおいて、Edwin Drake 氏が世界初の機械掘り石油井によって石油を発見した、1959 年 8 月 27 日とされていま

す。その成功は、米国で最初となるオイルラッシュを当地で引き起こし、多数の坑井が掘削されて原油の生産量も急増したとされています。しかしながら、現在の生産規模から見ればその量は限定的であり、目に見える形で生産量が急増したのは、1950 年代に入ってからと言えそうです。石油生産の歴史を振り返ると、まさに右肩上がりの増加傾向が示され、微減を呈する時期はあるものの、明確な形で生産量減少が認められるのは、1970 年代の一次および二次石油ショック当時の 2 回に限られます。

一方、ここ 25 年間の世界のエネルギー消費量の全体動向を示した図 2 を見ると、やはり同様な増加傾向が示されますが、その中でも、依然として石油・天然ガスの貢献度が大きい事が分かります。

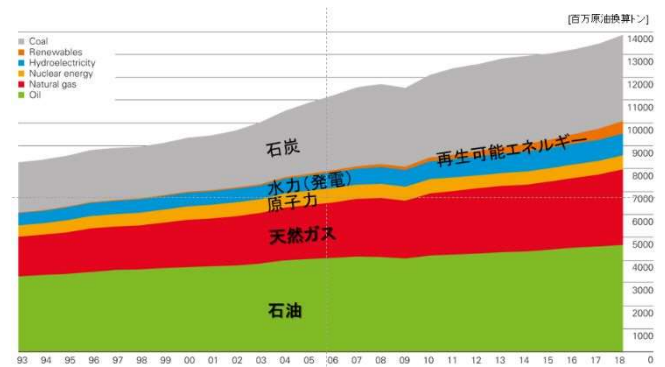


図 2 25 年間の石油・天然ガスの消費動向 — 全体エネルギー消費との比較 (BP 統計 (2019 年) より)

この様な右肩上がりの石油・天然ガスの生産量の推移を見ると、「石油や天然ガスは、今後いつまでとれるのか」という疑問が湧いて来るかと思いたすので、図 3 と図 5 に、ここ 30 年間の新規発見で増加してきた石油・天然ガス埋蔵量の変遷を、そして図 4 と図 6 に、可採年数の変遷を地域別に示します。



図 1 原油生産量と油価の推移 (石油鉱業連盟資料および BP 統計 (2019 年) より)

可採年数とは、確認埋蔵量をその時点の年間生産量で割った値であり、「両者の値が一定」とした場合の生産維持可能な期間を示します。ただし、可採年数は、その後の年間の埋蔵量追加が年間生産量より大きくなれば伸び、逆にそれ以上に生産量が増えて行けば減少します。数十年も前から「あと 40～50 年で無くなる」と言われ続けて来た石油や天然ガスに、未だ無くなる様子が見られないのは、「生産量に匹敵する、あるいはそれ以上の新規発見がなされているから」です。

石油の地域別の生産量を示した図 3 では、各年代を通じておよそ半分を占める中東が主要生産エリアである事が明らかですが、その一方、可採年数や世界の確認埋蔵量に占める割合の変遷を見ると、中東地域はロシアおよび旧独立国家共同体と共にそれらの値を減らしており、一方、南北米州では増加しています（図 3、4）。全世界の可採年数（図 4 のグレーのグラフ）は 1988 年当時よりも伸びていて、2018 年時点で 50 年以上は生産可能と読み取れます。

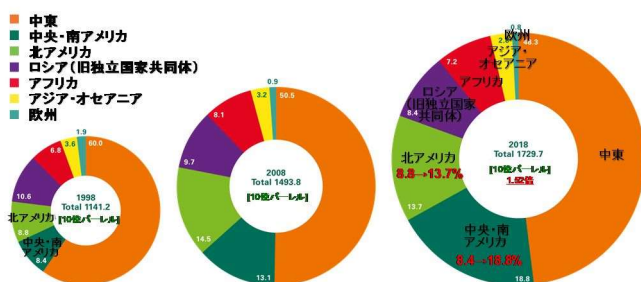


図 3 30 年間の石油の確認埋蔵量の変遷(地域別)
(BP 統計(2019 年)より)

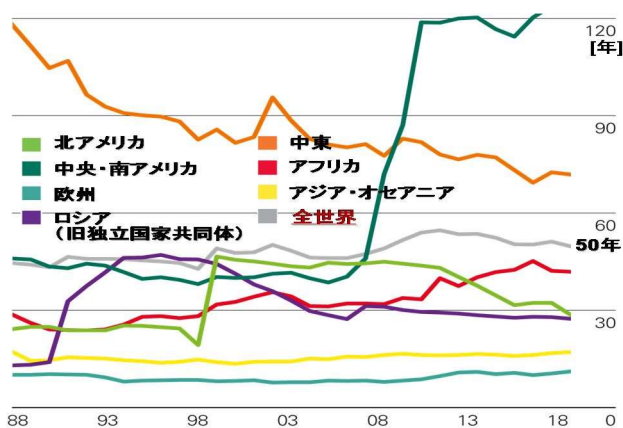


図 4 30 年間の石油の可採年数の推移(地域別)
(BP 統計(2019 年)より)

本来はデータが持つ精度や意味について十分吟味する必要がありますが、生産量が年々増加しているにも関わらず可採年数が増えている現状は、相対的に見れば、新規発見や技術革新等によるであろう米州での確認埋蔵量増加の寄与が大きいように見え

ます。

地域別に見た天然ガスの確認埋蔵量については、中東地域にロシアおよび旧独立国家共同体が肉薄しています（図 5）。また、可採年数と世界の確認埋蔵量に占める割合における伸びの点からも、注目されるのはロシアおよび旧独立国家共同体です（図 5、6）。30 年間の全世界の天然ガスの可採年数はおよそ 50 年で石油とほぼ同様ですが、大きく変化することなく推移していることから、生産量と新規発見量はほぼバランスしてきたと考えられそうです（図 6）。

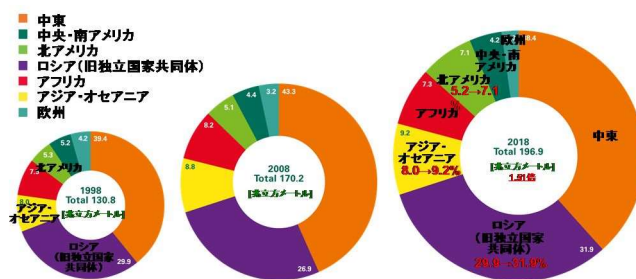


図 5 30 年間の天然ガスの確認埋蔵量の変遷(地域別)
(BP 統計(2019 年)より)

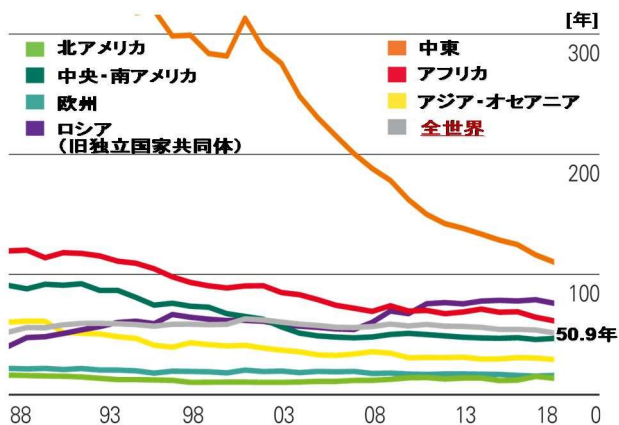


図 6 30 年間の天然ガスの可採年数の推移(地域別)
(BP 統計(2019 年)より)

このように、「統計上は、さらに約 50 年にわたって石油と天然ガスの生産が可能」という状態が長期にわたって継続して来たことが示されます。しかしながら、今後の可採年数を左右する新規発見のトレンドと消費・生産動向については、石油・天然ガスの価格や需要、探鉱・掘削・生産技術の向上などの多くの要素によって影響されるため、様々な可能性があると考えられます。

石油・天然ガス田が成立するための条件

石油・天然ガス田が形成されるには、幾つもの成立要件を満たす必要があります。それらのうちのどれ一つを欠いても成立しませんが、鉱床形成は地下深部で起こり、また非常に長い時間を要すると考えられ、

そのプロセスを直接確認することができないと言う難しさがあります。そのため、発見され、開発・生産に移行した油・ガス田でも、成因の一部（特に炭化水素生成～移動など）についての解明が進まない、などと言うケースもしばしばあります。成立要件をどのように分けるかについては異論もありますが、一般的には以下の5項目とされています。

① 熟成根源岩

ここでは、石油・天然ガスの類をまとめて炭化水素と称します。プランクトンの遺骸や植物片などの有機物を起源とする物質「ケロジェン」を多量に含む岩石は「根源岩」と呼ばれ、それが炭化水素の生成源となります。最も典型的なのは黒っぽい色をした泥岩で、石灰岩も泥岩と同様、優れた根源岩になり得ます。ただし、根源岩は地下深くに埋没することで温度と圧力の影響を被り、「熟成」する必要があります。それによってはじめて根源岩中のケロジェンが分解され、炭化水素が生成されると考えられています。

② 炭化水素の移動

根源岩の代表岩相である泥岩は実際に緻密ですが、砂岩などの場合は外見上緻密に見えても、多くの場合に微小な孔隙に富んでおり、その孔隙を満たしている地層流体が孔隙内を移動することも起こり得ます。例えば、上述の熟成根源岩が砂岩と接する場合、炭化水素が根源岩中で生成され、その外に絞り出されると、砂岩の孔隙に入り込み、浮力の作用で浅所に向って移動すると考えられています(図7)。あるいは、地下深部の熟成根源岩に応力がはたらいて断層が形成されると、断層を伝わって炭化水素が移動すると考えられており、垂直方向の移動を引き起こす経路として、しばしば有力視されます。このように、根源岩で生成・排出された炭化水素が、以下で述べる「貯留岩」に移動して行くことも、鉱床

形成にとって必要不可欠です。

③ 貯留岩

上述の様に、油・ガス田に貯まっている炭化水素は深部のどこからか移動して来るので、熟成根源岩は油・ガス田の成立要件ではあっても、油・ガス田の位置に存在あるいは近接して構成要素を成すとは限りません。一方、②で述べた砂岩の様に孔隙に富んで炭化水素を貯める能力を持ち、その容れ物をなす「貯留岩」は、最も明確な油・ガス田の構成要素と言え、高い孔隙性を持つと同時に、十分な厚さや広がりを持つことが期待されます。優れた油・ガス田であるためには、掘削した坑井から炭化水素が効率的に取り出せる必要があります。そのため、貯留岩には、浸透性、生産性の高さも求められます。貯留岩をなす最も典型的な岩石は砂岩であり、それに次ぐのが石灰岩です。典型的ではありませんが、南長岡ガス田の様に、条件が揃えば火山岩も優れた貯留岩となります。

なお、根源岩である緻密な泥岩（シェール）は、貯留岩に求められる生産性を持ち得ないと考えられてきましたが、水圧破砕法が生産性向上の手段として用いられ、様々な技術革新が起こると、根源岩であるシェールのうちの一部からは、直接炭化水素を生産できるようになりました。これらは非在来型の鉱床として区別されます。

④ シール

油・ガス田を形成するためには、容れ物である「貯留岩」だけでなく、その上方または側方を覆って炭化水素のそれ以上の移動を妨げる働きをする低浸透性の地層が必要であり、それを「シール」と呼びます。②で述べたように、炭化水素は孔隙に富む岩石中を浮力で移動することから、あくまで思考実験ではありますが、仮に熟成根源岩の上方に貯留岩しか存在しないとすれば、地表まで漏れ出てしまうこととなります。

優れたシールになるためには、組織が緻密で孔隙を欠き、浸透性に極めて乏しいこと、また、褶曲などの変形を被っても柔軟に変形する可塑性を有することが求められます。そのため、代表的な岩石の例には、泥岩（頁岩）、岩塩、硬石膏などがあります。一方、シールは必ずしも岩石である必要は無く、断層に伴う断層粘土がシールとしての役目を果たすこともあります。

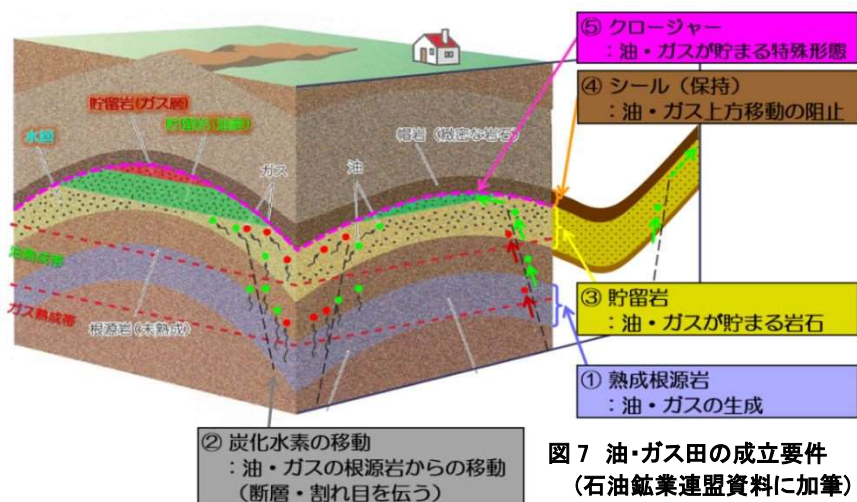


図7 油・ガス田の成立要件
(石油鉱業連盟資料に加筆)

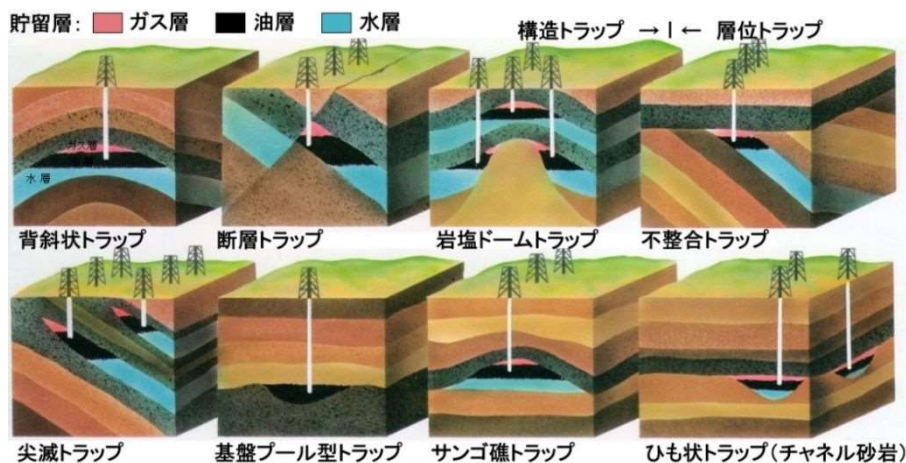


図8 様々なトラップの例（物理探査学会(1989)図解物理探査より）

⑤ クロージャー

上記の④で、油・ガス田が成立するためには“炭化水素の移動を妨げる働き”が必要と記しましたが、シールだけではなく、貯留岩とシールの組み合わせが閉じた形状「クロージャー」を成す必要があります。貯留岩の上方をシールが覆っていたとしても、図7の右手部分の様に、それらが一方的に傾いている場合には、炭化水素はやはり地表まで漏れ出してしてしまうでしょう。貯留岩とシールのペアと閉じた形状「クロージャー」との組み合わせは、炭化水素を閉じ込める罠という意味で「トラップ」と呼ばれます。

最も代表的なのは、貯留岩とシールのペアが図7の様にドーム（背斜）状を成す場合であり、これは構造トラップに類別されます。一方、断層がシールを形成するものは断層トラップと呼ばれ、また、貯留岩が削剥されてあるいは尖滅して側方に連続しないことで成立するのは層位トラップとして区分されます（図8）。

探鉱手法のあらまし

油・ガス田の発見を目指して実施する「探鉱」評価作業の内容は、評価対象が広大なエリアか特定鉱区なのかによって異なり、あるいは試掘候補が事前に決まってる場合もあってケースバイケースと言えます。また、対象とするエリアや鉱区における既往探鉱の進み具合やデータの量によっても異なってきますが、典型例のあらましを以下に記します。

① 広域調査

探鉱評価作業では、典型的には、広域評価から初めて、徐々に探鉱対象や有望エリアを絞り込んで行きます。絞り込みのための広域評価の進め方は、データや情報へのアクセス・入手の可否等によって様々ですが、地質・石油地質関連文献や周辺の坑井、油・ガス田データ、各種物理探査データ（リモート

センシング・重力・磁力・広域弾性波探査データ）などを用いて、地域的な地質条件や有望性の差異を評価し、可能であれば必要に応じて地表地質調査や岩石試料の分析なども行います。

② 地下構造調査(弾性波探査)

探鉱対象と有望エリアが絞り込まれたら、通常は鉱区権益を取得し、入手した鉱区関連データを用いてより詳細な評価を行います。試掘対象を抽出するために必要と

なる場合は、地下構造調査（弾性波探査）を実施します。

これは地表付近で弾性波を発生させ、地下を伝搬して地層の境界で反射して戻ってきた信号を観測することで地下構造を把握し、あるいは地層境界での弾性波特性情報を得るための探査手法です。新規に得られた弾性波探査情報を用いることで、クロージャーや貯留岩の発達可能性をより高い精度で評価することができるようになります。最終的には、得られたデータを用いて総合検討を行い、前述した油・ガス田の成立要件の各々について、存在/発達する可能性や特徴、性状について評価し、さらに期待される埋蔵量を推定して、有望性が認められれば試掘対象となります。

③ 試掘井掘削

近年の弾性波探査は三次元データとして取得されることも多く、その品質が十分に高ければ、地表から把握できるクロージャー形状の解釈精度はかなり高くなってきました。しかしながら、周辺坑井や油・ガス田データの量や質、あるいは地質状況次第ではありますが、その他の要素に関する不確実性を下げることは概して難しく、特殊な場合を除けば、石油や天然ガスが存在するかどうかは、試掘井を掘削して実際に地層流体を確認するまでは分かりません。

試掘井においては、掘削時に地下から次々と上がってくる地層の掘り屑を観察し、また地層中の孔隙に含まれる流体に油・ガスが混在していないかを調べます。さらに目的深度まで到達したら、物理検層データを取得して地層の物理的性質を把握し、油・ガスが含まれているかどうかを評価します。油・ガスの胚胎ありと評価された場合には、必要に応じて生産テストを実施し、実際に地下から石油・天然ガスを産出させて、生産性を評価します。

■天然ガス開発の道のり

国際石油開発帝石(株) 杉山広巳

今回は「地下に眠るガスや油の量をどうやって求める？」という話をしたいと思います。現在、越路原ではガスを生産していますが、一般に、生産に至るまでには、事前調査、物理探鉱、試掘、開発という順を踏みます。一例として、事前調査に1億円かかるとすれば、物理探鉱は10億円、試掘に100億円、開発ステージは1000億円と、投資額は10倍の規模でどんどん膨らんでいきます。このように油ガス田の開発には数千億円規模の資金が必要となりますから、開発すると決定するにはそれなりの技術的な確からしさに加え、経済性を語らずにはいられません。すなわち、開発移行には「地下にどれだけ油やガスがあって、これを取り出すためのコストはいくらです。取り出したガスはいくらでどのくらいの期間売れて、売するための施設や従業員のコストを見込んだうえで、利益が上がります。」というシナリオが必要となります。

そこで今回は最初の一步である、「地下にどれだけ油やガスがあるか？」(これを「埋蔵量」と呼んでいます)を、求める手法について皆さんと考えてみたいと思います。その前に雰囲気を出すために、石油業界で広く使われる単位に慣れておきましょう。私たちはメートルやキログラムといった単位をよく使いますが、石油業界では石油開発発祥の地である米国の単位である、長さはフィート、重さはポンドを今でも使うことが多いです。これを **oil field unit** と呼んでいます。表1に主要な単位換算をまとめておきました。

表1 Oil field unit

	フィールド単位系	SI単位系	換算
長さ	ft	m	1 ft = 12 in = 0.3048 m, 1m=3.2808ft
体積	ft ³ , bbl (barrel)	m ³	1 m ³ = 35.3147 ft ³ ≈ 6.2898 bbl
圧力	psi (lb/in ²)	Pa (N/m ²)	1 MPa ≈ 10.2 ksc (kgf/cm ²) = 145 psi 1 kgf/cm ² = 14.22psi
質量	lb	kg	1 kg = 2.2046 lb
温度	degF (°F)	degC (°C)	degF = degC * 1.8 + 32

例えば、水の密度を 1g/cm³ とすると、水面下 10m での圧力は 1kgf/cm² 増加、すなわち 1m 深くなるごとに圧力は 0.1 kgf/cm² 増えます。別な言い方をすれば水の圧力勾配は、0.1ksc/m です。これを **oil field unit** に換算すると、0.43psi/ft (= 0.1 * 14.22psi / (1*3.28 ft)), すなわち 1ft あたり 0.43psi 圧力が上がります。

さて、ガスや油は、プールのように地下にたまっているわけではなく、ち密な岩石の隙間(これを孔隙と呼びます)に入っているという話が前回ありました。埋蔵量を求めるには、油の入っている岩石自体の体積、その岩石中の孔隙が占める割合(孔隙率)、そしてその孔隙の中には油のほかに水が入っていますので、孔隙中の油だけの割合(すなわち油飽和率 = 1 - 水飽和率) がわかれば、次の式で計算することができます。

$$IIP = V * \Phi * (1 - S_w) / FVF$$

ここで、

IIP: Initial In Place :原始(初期)の埋蔵量

V:岩石の体積, Φ : 孔隙率,

S_w : Water Saturation (水飽和率)

FVF: Formation Volume Factor(容積係数)

FVF は地下状態から地上に持ってきたときに体積が変化する分です。油の場合は地上に持ってくるとガスが抜けるのでその分体積が減ります。ガスは地下では圧縮されていますので地上では膨張します。

このような手法で埋蔵量を求めることを「容積法」による埋蔵量算定と呼んでいます。油やガスが入っている岩石の形が単純であれば、中学で習った公式で体積を求めることができますが、実際には複雑な形状をしていることもあり計算には工夫が必要となります。それでも、その多くはお椀を伏せたような形状であって、ちょうど海に浮かぶ小島の岩石孔隙にガスや油が入っているというイメージでしょうか(図1)。小島の場合、陸に出ている部分の岩石孔隙は空気、海面下の岩石孔隙は水で満たされていると考えてもいいかと思います。

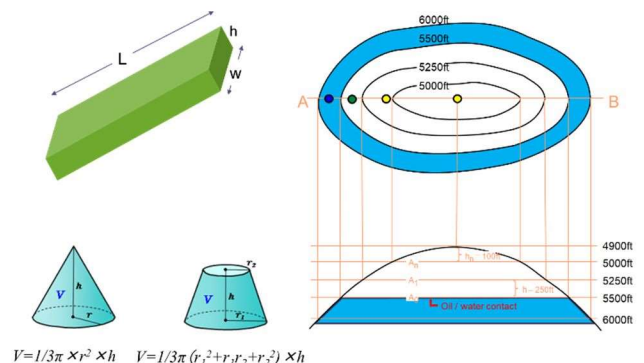


図1 岩石ボリュームの算定例

油・ガス層もある深度より深い部分の孔隙はすべて水で満たされていますので、岩石の形状(すなわち、油ガス田の形状)がわかると次は、どこまでガ

スや油が入っているか、逆に言うとどこまで水につかっているかを見極めることが埋蔵量を求める際に重要となってきます。井戸を掘って、井戸が水と油の境界（油水界面）に当たれば境目が確認できますが、境界がどこにあるかわからない以上ピンポイントに当てることは難しいので、手に入れたデータに基づいて油水界面を推定した上で、その後の掘削計画や開発計画を立案していきます。

データは多いほど確度が上がりますので、井戸を掘る際には可能な限りデータを取得します。その代表例が物理検層と坑井テストです。前者は掘削の過程で一時的に掘進を中断して、坑内に測定機器を降下し、地層の抵抗、音波速度、ガンマ線強度等を調べるもので、孔隙率や孔隙を満たしている流体の種類を把握することができます。いざ、ガスや油の存在が示唆されたなら、次のステップとしてその地層から何がどれだけ出るかをテストします。油ガス層の圧力や生産性、ガスや油の性状等を把握することが目的で、このテストは試油、試ガスと呼ばれることもあります。不幸にして、テストで水しか産出しない場合も、産出した深度や水の塩分濃度等を把握することは、次の計画を立てる上で非常に重要なデータとなります（図2）。

物理検層

坑内に測定機器を降ろし、地層の物性（比抵抗、音波速度、ガンマ線強度など）を調べることで、地下状況（岩相・流体・温度・圧力など）を把握する。



坑井テスト

坑井テストにより坑井の産出能力、油・ガス層の性質（圧力、浸透率など）、坑井周辺の状態（生産障害の程度）、地層の連続性等、油・ガス田開発に重要な情報を得ることが目的。



図2 試験井でのデータ取得

それでは実際にある条件に基づき、油と水の境界面（油水界面）がどこにあるかを算定してみましょう。

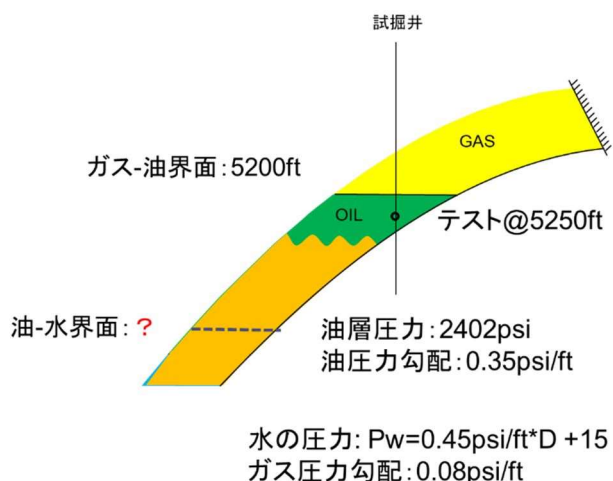


図3 試験結果

ある構造に対し試験を行い、5100ftで孔隙が発達した砂岩に遭遇し、5300ftで砂岩を抜けて別の層に入りました。検層によると、ガス層に遭遇したことが明らかで5200ftから下は、油に変わっていることが示唆されています。地層の傾斜からすると、砂層はさらに西の深い方向に発達しているようで、油はまだ深いところにも含まれていそうです。そこで、5250ftでテストを行ったところ、圧力は2402psi、採取した油やガスのサンプルを分析することで、油とガスの圧力勾配はそれぞれ0.35psi/ft、0.08psi/ftとわかりました（図3）。

一方水のサンプルはテストでは得られていませんが、掘削時の状況から $0.45^1\text{psi/ft} \cdot (D:\text{深度}) + 15\text{psi}$ の勾配に乗るものと推定しました。

これらテストで得られたデータをグラフで示したのが図4です。油層圧力2402psi@5250ft（グラフ中の赤点）を通る油の圧力勾配（0.35psi/ft）の緑線がまず引けます。5200ftにガス-油界面がり、ここではガスと油は釣り合っているのと同じ圧力となります。5200ftより浅いところはガス単体であり、ガスの

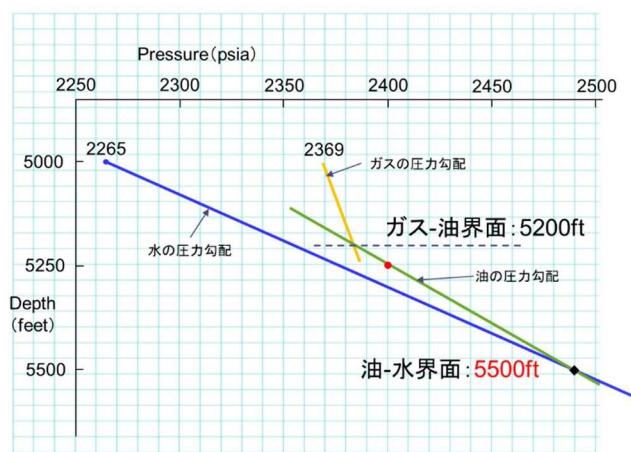


図4 油水界面の推定

¹ 地層水は塩分濃度が高く比重が高いことが多い。

圧力勾配(0.08psi/ft)の黄色ラインが引けます。

一方、水の圧力は、 $0.45 \cdot D + 15 \text{psi}$ ですから、 $2265 \text{psi}@5000 \text{ft}$ を通り、傾き 0.45psi/ft の青の直線となります。この青の直線と油の緑の直線が交わるところが、油と水の界面で、その深度は 5500ft となります。すなわち、油は 5200ft から 5500ft まで 300ft のコラム長があると推定され、これにもとづいて埋蔵量を計算することになります。また、次の井戸は油が実際にどこまであるかを確認するため 5200ft あたりをターゲットに計画するというのを考えてもよいかもしれません。井戸の数が増えればそれだけ情報量が増えますので、埋蔵量算定の確度も徐々に上がります。

ここで、埋蔵量の話から少し離れますが図 4 を見ると、深度 5000ft において水の圧力は 2265psi 、ガスの圧力は 2369psi でガスの圧力が 104psi 高くなっているのがわかります。同じ深度で圧力差があるのにそれでうまく収まっているのはなぜでしょう。

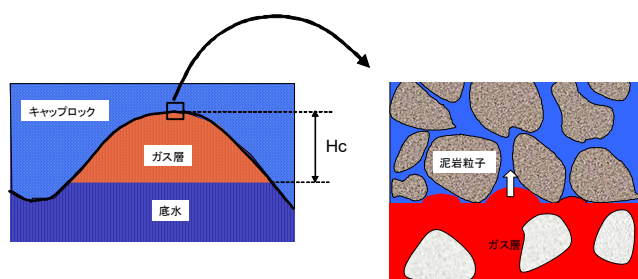


図 5 キャップロックのシールのメカニズム

これこそが、「油やガス層はその上のち密な岩石 (=キャップロックとか帽岩と呼ばれる) でおおわれています」ということの理由です。ち密なキャップロックがない限り、 104psi という圧力差を保てず、ガスは上方に逃げてしまいガス田は形成されないことになります。

キャップロックがガスを封じ込めているメカニズムは毛細管現象によるもので、概念的には図 5 に示したように、孔隙の大きな砂岩中のガスが、孔隙の小さな頁岩の中に入り込めないというものです。

また、同じ深度でガスと水で圧力差がついているのはガスや油の密度が水より小さいため浮力が生じることによるものです。ガス-水系の浮力の概念図を図 6 に示します。

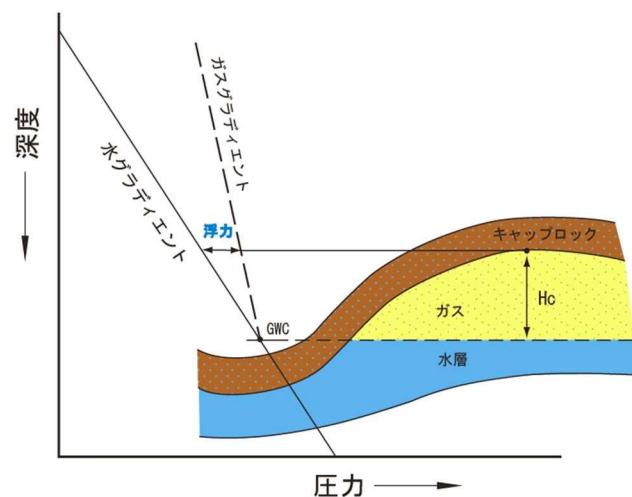


図 6 浮力

これまで、簡単な計算を用いて埋蔵量算定手法のエッセンスを説明してきたつもりですが、いかがでしたでしょうか。地下は目に見えないので難しいところがありますが、物理現象としては身近に扱っているものと同様とも言えます。ただし、やはり目に見えないということでデータが限られるので、仮定を置かざるをえないところがあります。その仮定が妥当なものであれば、関係者を納得させてプロジェクトを前に進めることができますし、そうでなければさらにデータをとる必要があるかもしれません。図 3 の説明で、水の圧力 $P_w = 0.45 \cdot D + 15 \text{psi}$ と置きましたが、これがもし、実際は $P_w = 0.45 \cdot D + 35 \text{psi}$ だったらどうなるでしょう？この場合、油のコラムは、井戸が砂を貫いた 5300ft までしかないことになり、埋蔵量はかなり少ないものになり、その後の考え方も変わる可能性が出てきます。

少ない情報に基づいてストーリーを展開し、データを増やしつつ確度をあげて、ようやく開発にたどり着くというのはある意味、見えない地下を相手にする醍醐味とも言えます。

今回の話で、多少なりとも「大地の会」会員様の好奇心を満たし、石油開発業界に興味を持っていただけたなら幸いです。講演中に問題の解答がないのご指摘をいただきました。誠に申し訳ありませんでした。本稿をもって解答と解説に代えさせていただきます。

参考文献：fundamentals of reservoir engineering, LP.DAKE

²地殻変動の過程で岩石に水が閉じ込められ高压になった。

■越路文化展出展報告

ふるさと長岡の大地 立体写真展

大地の会

11月1日から3日までの三日間、越路総合福祉センターで開催された「第63回越路文化展」に今年3月発刊した「ふるさと長岡の大地」のPRを兼ねて立体写真展を出展しました。

開催期間中、109名の方々が来場されました。飛び出す地形は多くの方々に興味深く見ていただきました。しかし書籍「ふるさと長岡の大地」の販売実績は数部とあまり売れませんでした。引き続き会員の皆様から販売促進のご協力をお願いします。

展示の内容は以下の通りです。

① 立体写真

- ・越路原・小栗田原―褶曲による地面のたわみ・・・
- ・大河津分水路―山地を開削した大工事・・・
- ・渋海川の瀬替え―蛇行した旧流路を水田に・・・
- ・中越地震の爪痕―地震による地盤災害・・・
- ・山本山高原―信濃川の大蛇行・・・
- ・悠久山公園―数十万年前の土石流堆積物・・・
- ・関原の高台―褶曲運動による段丘の変形・・・
- ・杜々の森湧水―原生林がはぐくむ名水・・・

② 石油・天然ガス関連

- ・石油・天然ガスのでき方
- ・地下4,500mから採取された流紋岩コア

など

■大地の会新年会のご案内

皆様の参加をお願いします！

平成から令和にかわった本年度の活動も皆様のご協力で盛況のうちに終わることができました。

恒例となっております「大地の会新年会」を下記により開催します。今年度の活動を振り返り、そして来年度の活動に向け、会員みんなで楽しく語り合う場としたいと考えています。皆様のご参加をお待ちしています。

◆日時：令和2年2月1日（土）17:00～

◆会場：来迎寺駅北 寿司割烹来迎寺「初花」

長岡市来迎寺1933 TEL：0258-92-4906

◆会費：4,000円

◆申込み：令和2年1月20日までに下記のいずれかへ連絡をお願いします。

- ・メール：大地の会事務局

koshiji@daichinokai.sakura.ne.jp

- ・電話：0258-32-3535（佐藤隆幹 専任）

- ・FAX：0258-32-3536（ ）



新年会会場位置図

「旧浦村鉄橋」が選奨土木遺産に認定

長岡市越路地域にある「旧浦村鉄橋」が令和元年度の「土木学会選奨土木遺産」に認定されました。旧浦村鉄橋はトラス 6 連：イギリスのハンディサイド社製で 1898(明治 31)年に信濃川に架けられた鉄道橋で、その一部を「岩田橋」「不動沢橋」として鉄道橋のまま移設利用されており、「旧越路橋」は現在の越路橋に架け替えられる際に一部を長岡市浦の越路河川公園内に移設・保存されています。選奨土木遺産の選奨理由は「旧浦村鉄橋は、当初、鉄道橋として設置され、後に 3 つの道路橋として分割整備し、うち 2 橋は、120 年以上現役で活躍している貴重な土木遺産です。」とあります。

新潟県長岡地域振興局地域整備部の資料によれば、旧浦村鉄橋の変遷は以下となっている。

- 1898(明治 31)年：北越鉄道が浦村鉄橋を建設
- 1907(明治 40)年：鉄道国有法により北越鉄道が国有化
- 1952(昭和 27)年：新鉄橋建設により旧浦村鉄橋が県に払い下げ
- 1956(昭和 31)年：旧越路橋改築事業を日本道路公団に継承
- 1958(昭和 33)年：旧浦村鉄橋両端部を道路橋(岩田橋、不動沢橋)とするに地元住民が工事費の一時立替を決定
- 1958(昭和 33)年 9 月：岩田橋が開通
- 1959(昭和 34)年 10 月：不動沢橋が開通
- 1959(昭和 34)年 11 月：旧浦村鉄橋を改造利用した旧越路橋が有料道路として開通(1967 年新潟県管理となり無料開放)
- 1998(平成 10)年 11 月：現在の越路橋が別ルートで開通
- 2002(平成 14)年 9 月：旧越路橋保存橋が河川公園内に設置



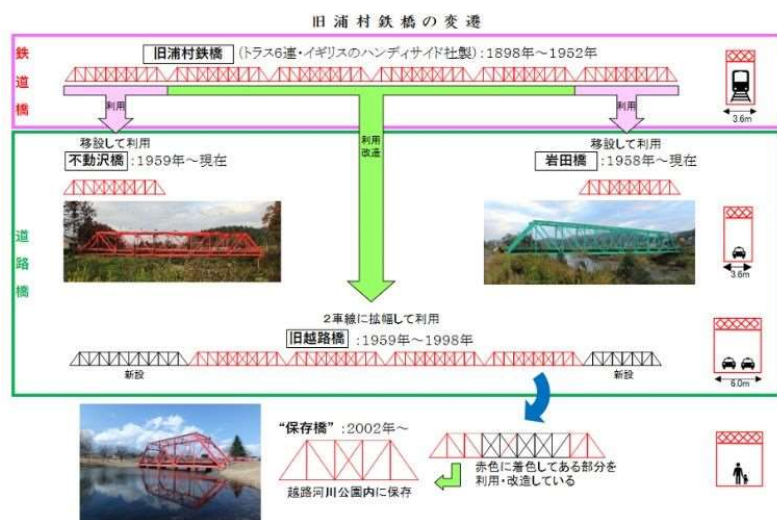
不動沢橋



岩田橋



旧越路橋保存橋



←旧浦村鉄橋の変遷

新潟県長岡地域振興局 HP より

賛助会員紹介

- 国際石油開発帝石株式会社
- 朝日酒造株式会社 ■有限会社越路地計
- 株式会社エコロジーサイエンス
- 大原技術株式会社 ■有限会社広川測量社
- 高橋調査設計株式会社
- オムニ技研株式会社
- エヌシーイー株式会社

順不同

大地の会会報 おいたち 99 号

2019. 12. 20 発行

大地の会事務局

〒949-5411 長岡市来迎寺甲 1381 永井千恵子

e-mail : koshiji@daichinokai.sakura.ne.jp

URL : <http://daichinokai.sakura.ne.jp/>

問合せ先

長岡市越路支所地域振興課教育支援係

担当 赤松ゆり子 TEL 0258(92)5910