

石油探鉱におけるシール能力評価の重要性(その1) －等価粒径法によるシール能力の予測－

中山一夫

深田地質研究所

Importance on Seal Evaluation in Petroleum Exploration (Part I) - Seal Evaluation by Equivalent Grain Size Method -

NAKAYAMA Kazuo

Fukada Geological Institute

要旨：帽岩は油ガスを貯留するとはいえ、無限大に保持できるものではない。トラップには油ガスを保持し得る物理的な限界が存在する。トラップのシール能力なるものは定量的に評価されなければならない最も重要な要素でありながら、これまで軽視されてきた。本論においては、まず基礎理論として油ガスがキャピラリー(毛細管)圧力によってトラップされる現象を復習する。その延長として実際の油ガス田で観察される油ガスコラム高から、シール能力を「孔隙のくびれ径」の関数として定量化する。しかしながら、「孔隙のくびれ径」なるものは、深度によって変化する上に我々地質技術者にはなじみの薄いパラメータであることから、これを深度不変の「粒子径」に置き換えようという試みである。このときの「粒子径」とは、堆積物がすべておなじ大きさの球からなっていると仮定したいわば想像上の等価粒径である。この変換においては、孔隙のくびれ径の粒子径に対する比(=COEF)は理論的には孔隙の関数とみなされる(Nakayama and Van Siclen, 1981)。この比すなわち COEF と孔隙率との関係式を確認するために、等価粒径をビーズで再現した人工シール盤を用いた物理実験を行った。以上のようにして、我々は置き換えた仮想粒径のサイズによってシール能力を評価することができる(これを「等価粒径法」と名づける)。

キーワード：トラップにおける静的平衡、キャピラリー(毛細管)圧力、キャピラリー制御型トラップ、スピルポイント制御型トラップ、等価粒径法

Abstract: Oil and Gas is observed to be trapped by Cap rock, however its capacity for holding oil and gas columns is limited according to its physical nature. Sealing capacity of cap rock is the most important parameter for quantitative evaluation of how much oil or gas to be trapped. In this paper, the fundamental feature of how oil or gas to be accumulated by capillary pressure is reviewed. As an extension of its physical phenomenon, the oil and gas column height to be trapped is quantitatively related to a pore throat radius among grains consisting of cap rocks. We try to such relationship to be a function of grain size, which is easier to image rather than pore throat itself and is not affected by the depth as pore throat is. As the grain size here, we introduce "Equivalent Grain Size" as an hypothetical parameter, in which all the grain of cap rock consists of same grain size. To find out this relationship between grain size and oil or gas column to be held, the parameter, Ratio of throat diameter to grain size (COEF) is geometrically assumed to be a function of porosity (Nakayama and Van Siclen, 1981). Then the relation was updated by the physical experiment that mimics the sealing nature using the equal sized beads as an artificial seal. Thus, the sealing capacity is

successfully evaluated in terms of “Equivalent Grain Size” (EGS Method).

Key word: Hydrostatic Trap Equilibrium Equation, Capillary pressure, Capillary limited trap, Spill-point limited trap, Equivalent grain size

1. はじめに

ある堆積盆において、石油ガスが生成・移動してくる範囲が同一と想定されているにも関わらず、その集積状況(油田かガス田か)が隣り合うフィールドで異なる、もしくは同じフィールド内でも層準によって異なるケースは世界的に多く認められる。油ガスの集積を規定する要因として根源岩の地化学的特徴や熟成史、および炭化水素の生成・移動とトラップ(油ガスが集積する場所を石油探鉱では **Trap**=罫と呼ぶ)形成のタイミングに関する研究例が数多く報告されている一方で、トラップにおけるシール能力(トラップ形成の必要条件の一つで油ガスの移動を妨げる上位層=帽岩の油ガス保持能力)とスピルポイント(油ガスが集積場であるトラップから側方に漏れ出す地点)の関係が果たす役割の重要性も指摘されてきた (eg. Gussow, 1954; Sales, 1997). しかしながら、シール能力の実際的な評価手法は十分に確立されているとはいえず、したがってシールの観点から油ガスの集積過程を論じた報告はこれまでの地化学的アプローチに比べ少数である。

この問題に関して、筆者は等価粒径による推定法を提唱している(Nakayama and Sato, 2002; Sawamura and Nakayama, 2005). 一般的に、帽岩のシール能力の推定には、通常水銀圧入法によって頁岩のキャピラリー(毛細管)圧を室内で直接測定する必要がある。測定ではキャピラリー圧力曲線が得られ、それをもとにトラップのシール能力が議論される。この方法が成立するには次の2条件が必要である。すなわち、1) トラップのシ

ール能力推定に先だち頁岩のサンプルが入手されていること、及び 2) 得られた試料の孔隙分布がトラップ全体のシールの代表値(すなわち最大値)と見なせることである。とくに後者においては、試料が代表する面積は、実際のトラップ面積の数百分の1にすぎない点からして、その成立が疑問視される。これに対して等価粒径法は、前述の2条件を克服するために、試料分析値を使うことなく巨視的な観点から、与えられたトラップのシール能力を予測する方法であり、帽岩の試料なしにマクロ的視野で定量的にシールを評価することを可能にした。

本論文においては、等価粒径推定法を改めて紹介し、その概念および適用から導き出されるスピルポイント-キャピラリー機構 (Spill-point and capillary mechanism) と油ガスの集積過程との関係について論ずる。

2. 石油集積におけるトラップの分類

石油探鉱においては、近年石油システム解析という手法が確立され、実際の探鉱活動に役立てられている。石油システムとは、石油集積を可能にする3つの要素(根源岩、貯留岩、帽岩)の可能性を総合的に解釈することである。かつては、これら要素の1つを取り出して個別に研究するスタイルが一般的であったが、コンピュータ技術の発達により、それらを地質モデルというプラットフォーム(土台)に乗せて、一括して議論できるようになったことが、大きな進展である。

ところで、これら3要素のうち、最も理解が遅

れていたのが、帽岩=シール、すなわち石油を貯留する機構についての理解である。筆者は、石油システム解析の中で、帽岩のシール能力に焦点を当て、それを定量化することによって、油ガスの集積機構を明らかにすることを試みた。

根源岩中で生成された石油は、まず近隣の孔隙率の大きい岩石からなる地層(主として砂岩、石灰岩などで、貯留岩と呼ばれる)に排出される(石油の一次移動)。貯留層は、一般に海や湖などで堆積したもので初期に封印された海水又は湖水で占められており、排出された油滴はその貯留層内を主として浮力によって上方へ移動する(石油の二次移動)。貯留層が上方へ向かって閉塞された場所(背斜構造の頂部や断層などで連続が断ち切られた場所)があると、移動してきた石油は貯蔵=集積される。こうして石油が集積される場所は、業界用語でトラップ(罌)と呼ばれる。

トラップには、集積量を規定する条件の違いから、キャピラリー制御型トラップとスピルポイント制御型トラップの2つのエンドメンバーが存在する(図1)。

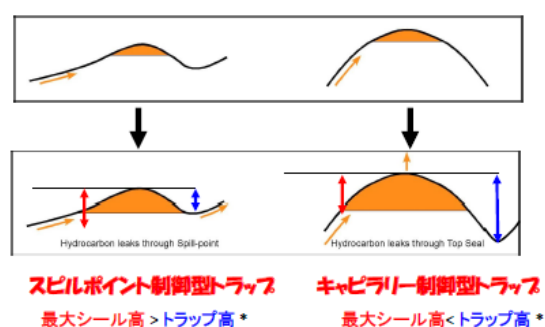


図1 トラップの分類: シールによってためることのできる量は決して無限大ではない。

2.1 キャピラリー制御型トラップ

地質学的年代スケールにおいて、シールが貯留岩中の石油を保持しているという現象は、貯留岩

中の石油による浮力(Buoyancy)とシール中のキャピラリー圧(毛細管圧; Capillary Pressure)とのバランスによって説明される(Yielding 2000)。近年の地化学研究により、初期に水と親和性を保持している(water-wet)堆積層中において石油は水と分離した相として移動することが示唆されている(Barker, 1978; Hunt, 1979)。すなわち、Water-wetの堆積物中で水は孔隙がありさえすればどんなに小径であっても移動できるが、石油は浮力がキャピラリー(毛細管)圧を超過したときにはじめて移動することになる。トラップ上部のシール/貯留岩境界において、二次移動してきた石油はシール孔隙のくびれ径と流体の界面張力によって決定されるキャピラリー圧のために上方への移動が抑止され、貯留される。このときシール/貯留岩境界では、シール孔隙中の毛細管圧による下向きの力と貯留岩中の石油の浮力による上向きの力が働いている。貯留岩中の石油の浮力はそのコラム高に比例して増加するため、シールにかかる上向きの浮力はトラップの最高点において最も高くなる。トラップへの石油の流入が継続した場合、コラム高の増加に伴って浮力も増大し、やがてトラップの最高点のシール/貯留岩境界(トップシール)において石油の浮力がキャピラリー圧を超過して、石油が上方へリークする。すなわち、シールは無限に石油を保持できるのではなく、キャピラリー圧とバランスする浮力分だけを保持することができるのである。本論文で用いるシール能力とは、キャピラリー圧による下向きの力によって帽岩が保持できる石油の最大浮力の大きさ、換言すれば帽岩が保持しうる最大の石油コラム高を示すものである。

この条件により石油を貯留する機構を、キャピラリー制御型トラップと呼ぶ。

2.2 スピルポイント制御型トラップ

前章で述べたように、油ガスがトラップから側方に漏れ出す地点をスピルポイントと呼ぶ。トラップを飽和するのに十分な石油が流入した場合、トラップにおける石油コラム高はキャピラリー圧によるシール能力とスピルポイント深度との関係によって規定される(スピルポイント - キャピラリー機構)。全てのトラップにおいてシール能力が石油コラム高を規定しているわけではない。上に述べた石油の貯留過程、すなわちトラップが石油によって飽和する(浮力がキャピラリー圧を超過して上方へのリークが生ずる)ということは、シール能力よりもトラップの高さが大きい場合に適用される。シール能力によって規定される石油コラムの底面よりもスピルポイント深度の方が高い(トラップの高さが小さい)場合には、浮力がキャピラリー圧を超過する前にトラップ自体が石油で満たされてしまうために、余剰の石油はスピルポイントから側方へ移動する。このとき、貯留される石油のコラム高はトラップの高さに規定されることとなる。一方、帽岩が保持できる石油高よりもトラップに流入した量が少量であった場合も、シール能力にかかわらず埋蔵量は流入量に決定される。しかしながら、通常ベーズンモデリングによる推定からはキッチンエリア(石油が生成される地域)にて生成される石油量はトラップ中の埋蔵量に比べてはるかに巨大であることが示唆される(Nakayama and Sato, 2002; Sawamura and Nakayama, 2005)。このことから、現実のほとんどの油田においてはトラップを飽和するのに十分な量の石油が供給されてきたと想定することができる。本論文においては、この想定を基本としてシールについての議論を行うこととする。

2.3 キャピラリー制御型とスピルポイント制御型におけるトラップ性状の分類

これまでの議論では、生成移動してくる流体を“石油”として議論してきたが、石油の生成過程において、必ず“ガス”も生成され、“石油”を“ガス”に置き換えても物理的には全く同様のことが起こるので、以降の議論においては移動流体として石油とガスの2種を考慮する。

トラップに貯留される炭化水素のコラム高は、スピルポイント - キャピラリー機構(Spill-point and capillary mechanism)によって決定されるが、シールが保持しうる最大コラム高は油とガスで異なる。シール能力を油ガスの浮力から考えると、ガスの浮力は油に比べて非常に大きいため、同じシール能力であっても保持しうるガスコラム高は油コラム高に比べて小さくなる。Sales (1997)はトラップの高さと最大油/ガスコラム高の関係から、Class 1=シールが保持しうる最大油コラム高およびガスコラム高よりもトラップの高さが小さいタイプ、Class 2=シールが保持しうる最大油コラム高がトラップの高さよりも大きい、ガスコラム高がトラップ高よりも小さいタイプ、Class 3=シールが保持しうる最大油コラム高およびガスコラム高の方が、トラップの高さよりも大きいタイプ、にトラップを分類した。

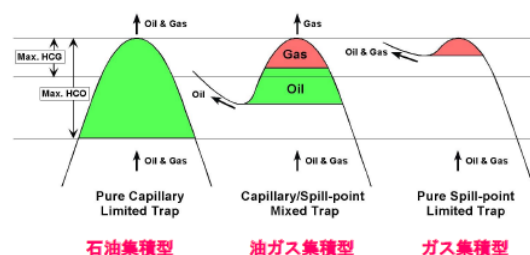


図 2 油ガスの集積はトップシール能力とトラップ高との関係で決まる (Sawamura and Nakayama, 2005, modified after Sales, 1997) .

本論文では、Class 1 をキャピラリートラップ、Class 2 を混合トラップ、Class 3 をスピルポイントトラップと呼ぶこととする。

上記のトラップクラスの分類に基づいて、十分な量の油ガスがトラップに流入してくる状況を考えると、トラップ自身が油田指向もしくはガス田指向ともいえるべき特徴をもち、油ガスの集積がスピルポイント・キャピラリー機構によって規定されることが分かる。

すなわち、キャピラリートラップ(Class1) および混合トラップ(Class 2) は油を集積しうるが、スピルポイントトラップ(Class 3) ではトラップ内の油が全てガスに置き換わってしまう状況が想定される(図 2)。油に比べて、比重が低く可動性が高いガスは優先的にトラップ頂部から貯留される。はじめはトラップが油飽和であってもガスが流入してくると、ガスはトラップの頂部から油を置き換えながら集積する。スピルポイントトラップ(Class 3) や混合トラップ(Class 2) において、集積するガスの分だけ油はスピルポイントを通じてトラップ外へ流出する。スピルポイントトラップ(Class 3) ではトラップ中の油が全てガスに置き換わっても浮力がキャピラリー圧を超過することはないので、結果としてガス飽和となる。一方、混合トラップ(Class 2) では全体がガス飽和となる前に油とガスの合計浮力がキャピラリー圧と平衡状態に達する。その状態下では、さらにガスが供給されてもその分だけトップシールを通じてトラップ外へ流出するので、トラップ下部には相当量の油が残存する。キャピラリートラップ(Class 1) では、油ガスがスピルポイントを通じてトラップ外へ流出することはない。以上のように、貯留される油ガス量は、シール能力によって規定される。

3. トップシール評価法としての等価粒径法

油ガスの移動を扱う地質学的時間スケール(数十万年～億年単位)に於いては、その現象を理解するために『静的 (Static)』な流体移動モデルが用いられる。そこでは流体移動はキャピラリー圧によって制御される。これに対し、人的要因によって圧力降下が生じる油ガス田の生産過程を取り扱う工学的時間スケール(10年～数十年)に於いては、『動的 (Dynamic)』なモデルが要求される (Yielding, 2000)。後者では浸透率が重要な役割を果たす。本論に於いては、議論は全て地質学的時間スケールに限ることとする。そうすることによって、事象が単純化され明白になって、『実際の (Practical)』な方法を導くことができる。

もう一点、ここで注意しておきたいことは、地質学的な現象として見ると、通常油ガスが熟成帯で生成される量はトラップに集積されている量に比べ格段に多いということである(前述)。これは、世界中の多くの堆積盆解析を扱ってきた筆者の経験からも同意することができる。それ故、現在油ガスが集積されているトラップにおいては、流体つまり油ガスが流入しかつ流出しながらも静的平衡状態を保っていると解釈される。本論では、以上の条件を念頭に於いてトラップで起きている現象の定量化を試みる。

3.1 静水圧下におけるトラップの平衡状態方程式

地化学研究の発達によって、多くのトラップに集積されている石油やガスは独立相として移動してきたことが明らかになっている (Barker, 1978; Hunt, 1979)。貯留層トップにおいて油ガスが集積されるのは、物理的にはキャピラリー(毛細管)現象によって生じる下方向きの力によって説明され

る。それ故、それに対抗する上向きの力、すなわち浮力がキャピラリー圧に打ち勝つまで油ガスコラムとして集積されることになる。その極限的状态として静的平衡状態が保たれる。

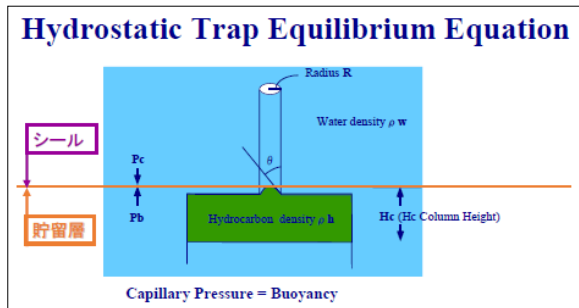


図3 静水圧下のトラップにおける油ガス集積の平衡状態 (Nakayama & Van Siclen, 2005) .

シールが保持しうる最大コラム高まで石油が貯留されている状況を貯留岩中の石油による浮力とシール中のキャピラリー(毛細管)圧とのバランスから考えると、炭化水素の浮力とキャピラリー圧はつりあっていて、(1)式に示す静的平衡方程式 (Hydrostatic trap equilibrium equation) が成立する(図3)。

$$H_c \cdot g \cdot (\rho_h - \rho_w) = 2 \cdot \gamma \cdot \cos\theta / R \quad (1)$$

H_c : 油ガスコラム高, g : 重力加速度, ρ_h : 油またはガス密度, ρ_w : 地層水密度, γ : 界面張力 (Interfacial Tension), θ : 濡れ度 (Wettability), R : 孔隙のくびれ (Pore Throat) 半径。

このとき、地層流体密度(ρ_w)、界面張力(γ)、および濡れ度(θ)を仮定すると、観測される油ガスコラム高(H_c)からシール孔隙のくびれ半径(R)を逆算することができる。すなわち、実際のトラップにおいて油ガスコラム高がシール能力に規定されていると判断された場合、その油ガスコラム高(H_c)から逆算される帽岩の孔隙半径(R)がシール能力を示すこととなる。

3.2 孔隙のくびれ径から粒径へ

孔隙のくびれ半径(R)はシール能力を定量的に表す項目となるが、多くの地質技術者にとって一般的なパラメータとはいえない。そこで、等価粒径推定法では、くびれ半径を「粒径」に変換してシール能力評価の指標としている。帽岩が全て同じ粒径をもつ球体から構成されると仮定した場合、くびれ径は粒径と孔隙率の関数によって表される。この粒径(等価粒径)は、実際の粒径を示すものではなく、シール能力を示す仮想のものである。

ところで、浮力(P_b)は貯留岩中の油ガスコラム高に比例して増加する。したがって、シールが保持し得る最大の油ガスコラム高がトラップの高さ、すなわちトラップ頂部-スピルポイント間の垂直深度差より小さい場合、供給される炭化水素によってトラップが飽和する前に浮力がキャピラリー圧を超過して上方へのリークが生ずる。一方、シール能力がトラップの高さより大きい場合には、浮力がキャピラリー圧を超過する前にトラップが油ガスで飽和されるために、余剰の油ガスはスピルポイントから側方へ移動する。

さらに、キャピラリー圧はシールとなる岩石のくびれ径(R)の関数である(式 1)ので、シール能力はシール中のくびれ径(R)によって決定されることになる。

前述したように帽岩のシール能力評価においては、帽岩となる泥質岩のくびれ径(R =Pore throat size)を室内実験によって測定する手法がとられるが、(1)評価のためにサンプルを用意すること、(2)広大な面積をもつトラップにおける数点の測定値によってシール性状を代表させること、が必要となる。これに対して、等価粒径法はある油ガス田における実際の油ガスコラム高によってシール能力を予測する手法であり、帽岩のサンプル

ルなしにマクロ的視野でシールを捉えることが可能である。

これまでの議論で仮定されてきたように、レリーフの大きい構造トラップならば上式で表される最大コラム高まで移動してきた油ガスが貯まることになる。もし、我々がそのようなケースの原始コラム高ばかりを集めることができたなら、上式を使ってコラム高 (H_c) から孔隙のくびれ径 (R) を逆算することができる(ここでは、他のパラメータは正確に推定されていると仮定する)。このことは、帽岩が水に濡れた(water-wet) 状態に於いては、炭化水素はある臨界量に達するまでは油ガスは1滴たりとも上方から漏ることはないと考えられる(Berg, 1975; Schowalter, 1979)が、一方濡れ相である水は浸透率に応じて上方へ通過していくことを意味する。この場合、トップシールの能力(コラム高= H_c) は静的平衡方程式(図3及び式(1), Hydrostatic Trap Equilibrium Equation)によって計算することができ、したがって帽岩の孔隙のくびれ径 (R) の関数となる。

この概念を用いれば、ある一つの油田での等価粒径を推測することが出来るならば、同堆積盆地における任意の地点及び深度の帽岩のシール能力を予測することが可能になる。ただし、上記の考察は、原則的に油ガスによる浮力とシールのキャピラリー圧がバランスしているケースについてのみ応用されるべきものである。もし、予測しようとするトラップがキャピラリートラップ(Class 1)もしくは混合トラップ(Class 2)である場合には油とガスの合計浮力から真のシール等価粒径を算出しようが、スピルポイントトラップ(Class 3)ではガスコラム高から算出されるシール能力よりも実際の能力は大きい。

3.3 等価粒径とくびれ径との関係(理論式)

前節の議論から『孔隙径』がトラップのシール能力を評価するためのパラメータとなりうることを示されたが、孔隙径は地質技術者にとってなじみのないものである。代替として我々は地質関係者や探鉱関係者に受け入れられやすい『粒径』を導入する。すなわち、式(1)によればシール能力(H_c) はシール中のくびれ径(R) によって決定されるが、さらにこのくびれ径(R) をシールの粒子径(d_e) に置き換えることを考える。

さて、ここで全く同じ大きさの球形粒子だけからなる帽岩を仮定しよう。その空間幾何学的配置を考えるならば、孔隙のくびれ径は粒径と孔隙率の関数であらわされることがわかる。さらに孔隙率は経験的に地域性のある圧密曲線として仮定できることから、シール能力は粒径によって表されることになる。我々はこの粒径を『等価粒径』と名づけ、自然には存在しないが、シール能力を評価するには効果的な指標と考えた。ところで、孔隙のくびれ径は粒子のパッキングによって変化する。一方、孔隙率は(パッキングが同じならば)粒径が違ってても変化しないが、パッキングに応じて変化する(図4)。実際、孔隙のくびれ径と粒径の比(ここでは COEF と命名、 $COEF=2R/d_e$) は、パッキングタイプに従った孔隙率 (ϕ) の関数となる(図5)。

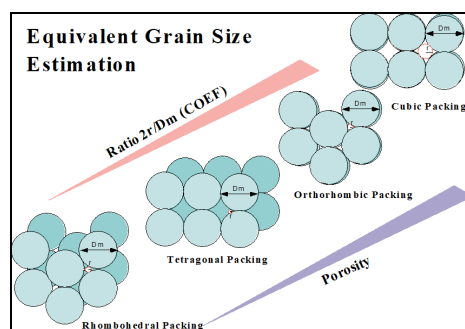


図4 パッキングによる孔隙率(ϕ)と孔隙のくびれ径(r)の関係。

幾何学上の理論に従えば、その2式は以下のよう
に与えられる(Nakayama and Van Sichen, 1981).

$$\text{COEF} = 1.92 (\phi)^2 - 0.0882 (\phi), \text{ and} \quad (2)$$

$$R = (1/2) (\text{COEF}) de \quad (3)$$

ここで、COEF=孔隙のくびれ径(直径)と粒子径の比($2R/de$), ϕ = 孔隙率, de = 粒子径(直径). シールがすべて同じ粒径の球体(等価粒径)から構成されていると仮定した場合、くびれ径(R)は粒子径(de)と孔隙率(ϕ)の関数によって表されることとなる.

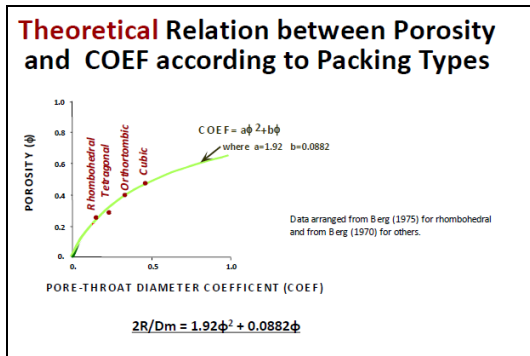


図5 孔隙率(ϕ)と孔隙のくびれ径(R)の理論関係式.

等価粒径推定法では、油ガスコラム高(H_c), 流体密度(ρ_w, ρ_h), 温度およびシールの圧密係数をパラメータとして入力することにより、シールの等価粒径を算出する. 等価粒径は ϕ スケール ($\phi = -\log_2(d)$, d : Grain Size in mm) で表現され、高い ϕ 値(粒径が小さい)ほど高いシール能力を示す.

3.4 等価粒径とくびれ径との関係(物理実験)

前節の理論式を評価するために、粒子径が既知のビーズからなる人工シールを使って最大油コラムを測定する物理実験が導入された(図6).

装置はパイプラインとガラス製シリンダーからなり、その中央にやはりガラス製ビーズを焼結させて作った人工シールが置かれている. 2本の導

入パイプ(1本は油、もう1本は水用)がシリンダー下部に取り付けられ、水と油の流入を調節することができる.

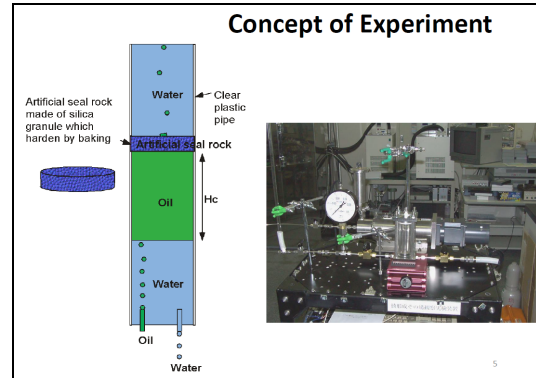


図6 理論式検証のための物理実験.

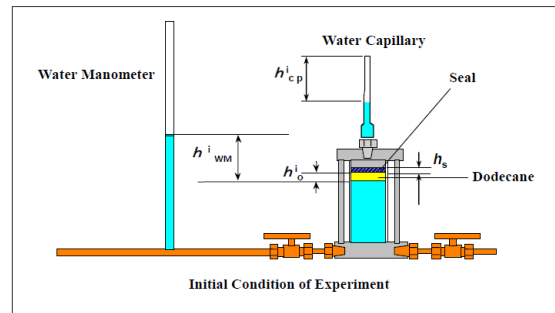


図7 物理実験装置の概要.

まず、全システムを水で満たした後、油管が開かれ人工シールの下部に実際の集積状態をつくり出す. 油としては物理的特徴が判明しているドデカンを使った. また、理論上のコラム高は本装置にとっては大きすぎるので、マノメータによる水柱で押すことにより人工シールにかかる圧力を制御している(図7). 相応量の油を注入した後、徐々に圧力を上げていって、シールディスクの上方にある別のマノメータで油のリークが起きた時点を監視する.

結果としては、図8に示す測定値のグラフが得られる. 初めの圧力上昇部は、油が人工シールの孔隙中に入りはじめた段階に対応する. 次の平らな部分は、シールされている段階で、最後の過圧

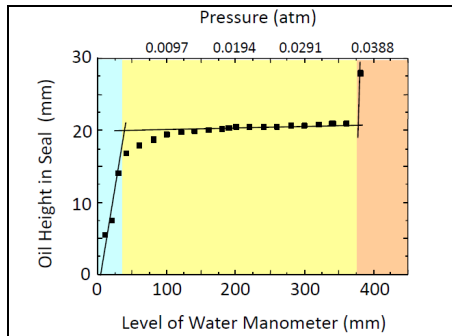


図8 物理実験データ.

部はシールが漏れはじめた(リーク) 段階に相当する. このようなグラフからリーク圧力を読み取り, それを等価の油コラム高に換算する.

本実験に於いては4種の違う粒径をもった人工シール(100, 200, 300, 及び400 μ m)が用意された. 各々のサイズで粒径は厳密に同じというわけではなく, 各代表値を中心としていくらかの分布を持つ. そこで, その代表値としては積算した90パーセンタイルの値を用いた(Berg, 1975; Brooks and Purcell, 1952). この物理実験で得られたキャピラリー圧力を式(1)に代入し, 孔隙のくびれ径(R)を計算する. ここで粒径は既知であるからいわば実験から得られるCOEFの曲線が求められる. このように違う粒径分布のコラム高を測定しながら, 最終的にCOEFと孔隙率の関係を改訂することができた(図9). 新しい関係式を以下に示す.

$$\text{COEF} = 2.47 (\phi)^2 - 0.247 (\phi) \quad (4)$$

このように本実験で求められた大粒径での関係は, そのまま自然界のシールサイズである小粒径領域に外挿される.

本方法の現実的なメリットは, シール能力を孔隙ではなく粒径に関係させた点にある. これにより我々は堆積学的な岩相をイメージすることが可能になった. もし, 将来的に等価粒径を堆積環境によって特徴付けられるならば, 掘削前にシール能力を定量化した原始コラム高として予測するこ

とができる. ここで用いている等価粒径とは, ミクロな意味で実際の帽岩のそれとは違うものであるにも関わらず, この方法で推定される原始コラム高はトラップスケールというマクロ的には現実の予測に近いものを表している.

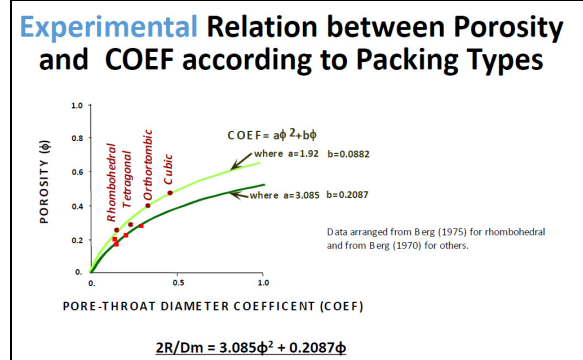


図9 孔隙率(ϕ)と孔隙のくびれ径(r)の実験関係式.

4. トップシールの評価法

上述の物理実験から得られた孔隙率と COEF の関係を使って, 我々はいとも簡単に油ガスの原始コラムを予想することができる. そうした目的からスプレッドシートが開発された(図 10). そこでは温度, 密度, 界面張力, 接触角等の物理条件は, 内部に組み込まれた近似式によって自動的に決定される. このシート上では, 等価粒径のみがコラム高計算における唯一の未知数となっている. このシート上で等価粒径値を試行錯誤することによ

Excel Sheet for Top Seal Evaluation									
Seal Capacity Estimation(Quick Version)					Field Name: East field				
Density of Emulsion	1.000	(g/cc)	subsurface	1.00	Ra	852.1	Bo	1.002	
Density of Oil	0.950	(g/cc)	subsurface	0.9					
Gas Specific Gravity	0.700	(g/cc)	subsurface	0.7	AMH	20.1			
Acceleration of Gravity	9.81	(m/sec^2)	subsurface	9.81					
Oil Interfacial Tension	24.12	(mN/m)	subsurface	24.12	dp	0.1	Tr	1.7	
Gas Interfacial Tension	35.50	(mN/m)	subsurface	35.50					
Contact Angle	0.00	(degree)	0: Water Wet						
Grain Size of Rock	0.00315	(mm)		25.00	Surface Temperature (C)				
Porosity	15.50	(%)	Porosity-surface	50	Geothermal Gradient (C/100m)				
				2020.00	Compaction Factor				
				85.40	(mm/mm)				
Pore Throat Diameter	0.00031	(mm)	COEF	0.099	()				
Oil Column H	185.55	(in)	C for Effective PTD	1.00	()				
Gas Column H	59.97	(in)	Observed Oil Col.	185.00	(in)	Grav			
			Observed Gas Col.	0.00	(in)	#DIV/0!			

図 10 等価粒径法評価シート (SEACAP) .

って、観測される油ガスコラム高から、それに対応する等価粒径を逆算することができる。

ある現実の油ガス田に於いて、一旦適切な等価粒径が求められたならば、同じ油ガス田内または近隣の油ガス田に於いて、違った深度や温度状況下での最大コラム高を推定することが可能となる。

5. おわりに

本論は、かつて 2000 年代に開発され実際の探鉱手順としても使われている等価粒径法についてレビューを兼ねて、石油探鉱関連以外の方たちにもわかるよう解説したものである。できる限り業界用語は避け、使わざるを得ない場合には、その都度定義づけを行った。本来は、この等価粒径法を既存の油ガス田に応用し、ある程度の量のデータベースを作成し、そこから推定される等価粒径の岩相や地域性に関する特徴などを考察する必要がある。そのような応用例を挙げることにより、この方法の具体的な成果を示すことで、この方法の現在の意義が理解される。そのような取り組みを、本研究の継続作業として実施していきたいと考えている。

文献

- Barker, C., (1978): Primary Migration – The importance of water-mineral-organic matter interactions in the source rock: in Physical and chemical constraints on petroleum migration, AAPG Continuing Education Course Note Series, 8, D1-D19.
- Berg, R. R., (1975): Capillary pressure in stratigraphic traps: AAPG Bulletin, 59, 939-956.
- Brooks, C. S., and W. R. Purcell, (1952): Surface area measurements on sedimentary rocks: Petroleum Trans., AIME, 195, 289-296 (T.P. 3458).
- Gussow, W. G., (1954): Differential entrapment of oil and gas – a fundamental principle: AAPG Bulletin, 38, 816-853.
- Hunt, J. M., (1979): Petroleum geochemistry and geology, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 617
- Nakayama, K., and D. C. Van Sicken, (1981): Simulation model for petroleum exploration: AAPG Bulletin, 65, 1230-1255.
- Nakayama, K., and D. Sato, D., (2002): Prediction of sealing capacity by the equivalent grain size method, in A. G. Koestler and X. Hunsdale, eds., Hydrocarbon seal quantification: Norwegian Petroleum Society Special Publication 11, 51–60.
- Sales, J. K., (1997): Seal strength vs. trap closure—a fundamental control on the distribution of oil and gas, in R.C. Surdam, ed., Seals, traps, and the petroleum system: AAPG Memoir 67, 57-83.
- Sawamura, F., and K. Nakayama, (2005): Estimating the amount of oil and gas accumulation from top seal and trap geometry, in R. Sorkhabi and Y. Tsuji, eds., Faults, fluid flow, and petroleum traps: AAPG Memoir 85, 33– 42.
- Schowalter, T. T., (1979): Mechanics of secondary hydrocarbon migration and entrapment: AAPG Bulletin., 63, 723-760.
- Yielding, (2000): Abstract AAPG Annual Convention, New Orleans.