



「石油ピーク」論を理解するための基礎知識(1) -石油資源-

松島 潤¹

Ï ð † “fiÄ / P °i Û ð ù Û “fiÄ / P ° Û zlfH— Û fiP ° Û

要旨

à × O ê r { i N² à L æ È a û B] DVN ê ó N M B]²
 G 4 H Ú B] - ê r { i O , ... 9 š p ¥ L è N Ÿ™ a Ç p @ D > J , TDCN ...
 Š RN Æ a Ñ Ò B] WNI 3] - > N > J O , » ; 8 L è N Û ^ N ÷ I 3] > J a È “ @
 H 7 \ , » “ L è M ‘ 1 @ H : D Š N 3 \ Ø a ‘ B] > J N Ç É a B] WNI 3] -
 ê r { i N ù a > <] DVM , - ú ° z - ú Á ° L ö I è N ù Í z Ó à z « ç MG
 4 H Ä Û M B] > J M Z \ , è N ß É z ± N ∈ ¼ É z ó N / ON É L K
 ê r { i a û B] } I N² a Ô ‘ B] -
 l g { y { p 2 ê r { i , è N ß É , ± N ∈ ¼ É , ó N

1. はじめに

-, ý N ê ý ~ 9 r { i a 6] J 4
 5 / ê r { i O 9 undc I Ý ¶ :
 ; £ \ } = [^] > J 9 µ ; LFH : D /
 ê r { i O < O , ... 9 š p ¥ L è
 N Ÿ™ a Ç p @ D > J , TDCN ... Š R
 N Æ MG 4 H @ H 4] WNI 3] 9 ,
 è N ã ñ N^a J ð | @ H ù ? ^ H 4]
 > J W µ 4 - > ^ O , ... 9 , ý f N è N
 Ÿ™ a Ç p @ D > J N ¶ É 9 ù ? ^ M ;
 4 8 [I 3 _ 5 - / è O J 4 5 O | Ä
 è MJ FHO ¶ ‘ ä U 9 3 \ , è 9 Í .
 N ù i N² a Ô 6 H 4] L ó I 3]
 > J W ù ? ^ H 4] > J E 9 , è 9 ~ ~
 ó J @ H , KNZ 5 Mü Í ? ^ , KNZ 5
 M ~ M¹ ® @ , KNZ 5 M z « ç ? ^
 H 4] 8 MG 4 HO , ¼ O 3 T \ [^ H 4
 L 4 NI OL 4 E _ 5 8 - C > I à × I
 O , è N ù Í z Ó à z « ç MG 4 H Ä Û M
 B] > J M Z \ , è N ß É z ±
 N ∈ ¼ É z ó N / ON É L K /
 ê r { i O a û B] } I N² a Ô
 ‘ B] > J J @ D 4 -

2. 地下で石油はどのように存在するか

è O ~ ~ M¹ ® B] 9 , > N ï Ä M ¶ :
 L è NZ 5 L 9 3 \ , / è N s { w O M l o
 NZ 5 L ø Ì I ô TFH 4] ` < I OL 4 -
 T @ H , > NZ 5 L / è N s { w O M l o
 x { NZ 5 L W N a Ô @ H , è a m v { m
 v { J § 4 £ FH « ç B] Z 5 L e u { ka
 ð FHO 4 < L 4 - è O ç . N t i
 x l j { w N 8 L > ^ a , J © Q
 Mé J | M • \ > b E i < ø Ì I¹ ® @ H
 7 \ - ° , > ^ a è ¾ J © Q - > NZ 5 L
 t i x L , ý M † N i < J¹ ® B] è a «
 ç B] > J N - ? a È ” @ HS @ 4 ¼ ,
 « ç ù O Ä ° M ç + ~ Ä I 3] - ,
 9 µ ; , è 9 DT \ X B 4 ç a ç J
 © P , è N¹ ® B] i Ä O ~ ~ ° u { o
 w % ä , Ý I O f i u { o w % ä I W
 ? ^ H 4] - ò É N ö 8 [, ± i Å N
 í 4 è ¾ 8 [ç ½ J ? ^ H 4 : , Û
 ^ J J W M ½ è ¾ N i œ 9 b I 4 ; - >
 N > J O , è N ± i Ä 9 i 4 SK ,
 NDVN f q wh { a B] NI , ½ è ¾
 N i œ M Z \ H Ž L & (\$ * l (# % Ž l) % Í

¹ a Ä ö TG @ T AYb á „ ¶ ° ¶ ° Á ° , Á ° j³



入エネルギーに対する回収エネルギーの比)は低下していくことになる。現在では、深度数千メートルの油層が主な開発対象とされている。なお、地下に存在する石油(厳密には原油)は黒褐色または黒緑色の粘り気のある液体であり、これを精製してガソリン、灯油、軽油、重油などの石油製品ができる。

地下に石油を埋蔵している区域のことを油田と呼び、世界には4万箇所以上(90カ国以上)の油田が存在するが、その分布には地域的な偏りがある。60%以上が中東地域に分布しており、世界最大の油田であるサウジアラビアのガワール油田、第二位のクウェートのブルガン油田などは中東諸国に位置する。油田の規模は埋蔵量(石油の体積量)で表現され、その単位としてバレル(1バレルは約159リットル)が用いられる。可採埋蔵量(後述)5億バレル以上の油田を巨大油田、50億バレル以上の油田を超巨大油田と呼ぶ。前述のガワール油田とブルガン油田は600億バレル程度の超巨大油田である。石油の偏在性は、石油の成因に深く関わっており、次節で述べる。

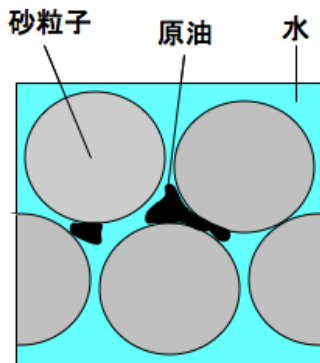


図1 ミクروسケールの隙間に存在する原油

3. 石油の生成

石油の成因については、完全に解明されているわけではなく、有機起源説と無機起源説に大きく分類されるが、現状では有機起源説が有力な説になっている。有機起源説では、大昔の動物・植物・微生物などの有機物が土砂とともに幾重にも堆積し、地熱と圧力の影響を受けながら長い時間をかけて石油になったと考えられている。このようにして生まれた石油は比重が小さいため、岩石中の細かい孔隙を通じて上へ上へと移動していき、やがてマイクロな孔隙が多く石油がたまりやすい貯留岩の層にたどり着く。さらに上へ移動しようとする際、孔隙の少ない岩石が存在するとそれ以上移動することができず(石油が上部に散逸しないための蓋の役割をして、これを帽岩またはシールと呼ぶ)、そこに貯められていく。このように効率的に大量の石油を貯めておくのに適した地質構造(これをトラップと呼ぶ)であれば、石油貯留層となる。図2にいくつかのトラップを示す。なお、大量の有機物が土砂とともに堆積する環境は、時空間的(地理学的かつ地質時代的)に強い制約を受け、このことにより油田は世界的に偏って存在することになる。すなわち、石油資源はどこにでも存在するものではないし、有限な資源であることが理解できる。

4. 石油を探す

地下から石油を汲み上げる(これを生産と呼ぶ)には、まず石油が地下のどこに埋蔵されているか場所を探すこと(これを探査と呼ぶ)が大切である。これには、高度なエレクトロニクス技術を駆使した反射法地震探査技術が用いられる(図3)。妊婦さんのお腹にいる赤ちゃんの様子を画像化する超音波診断技

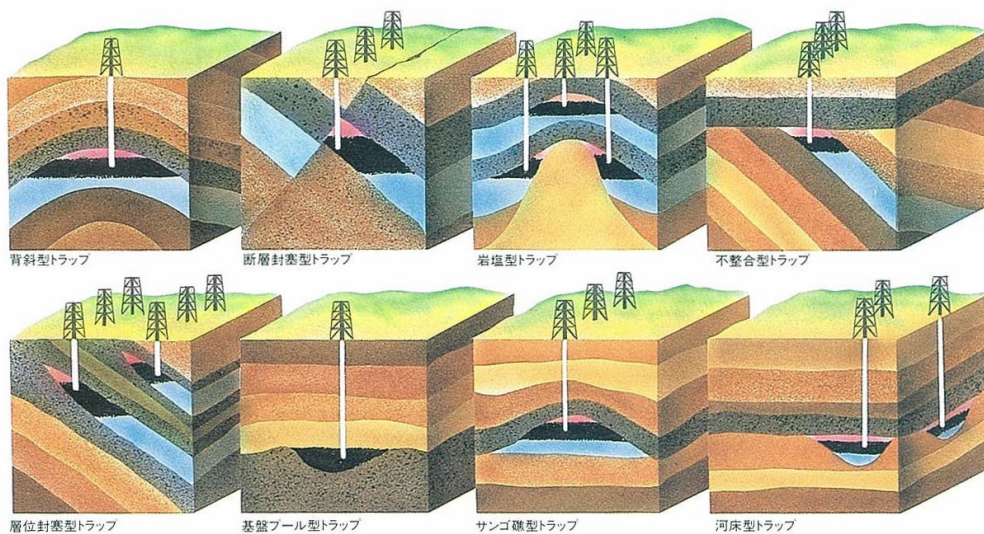


図2 石油トラップの種類(物理探査学会編「図解物理探査」より引用)。ピンク色はガス層、黒色は油層、水色は水層をそれぞれ示す。

術は、お腹にセンサーを当てて超音波を体内に送り、反射して戻ってきた超音波を捕らえて画像化する。最近では赤ちゃんの三次元的な様子、さらに時間軸を加えた3次元動画像により赤ちゃんの動く様子を立体的に観察できるようになった。反射法地震探査技術はこの技術の地球版と考えると理解しやすい。石油を貯めてありそうな構造を発見することができるし、最近では石油を回収し損ねた領域を見つけ出すことも可能になってきた。地震探査技術による探査結果を参考にして、またいくつかの井戸を試験的に地球に掘ることによって油田として有望な区域を絞っていく。このような手順で石油は発見されていくが、その発見率は意外と低い（井戸を試験的に掘った場合の発見率は1割程度といわれる）。これは、地下の状態が不均質性に富んでいることや探査分解能等を背景とした探査技術の限界によるところが大きい。すなわち、我々の足下である地下を十分に理解できるレベルに至っていないのが現状である。このことは、石油の埋蔵量の数値をながめるときに重要な視点の一つになってくる。

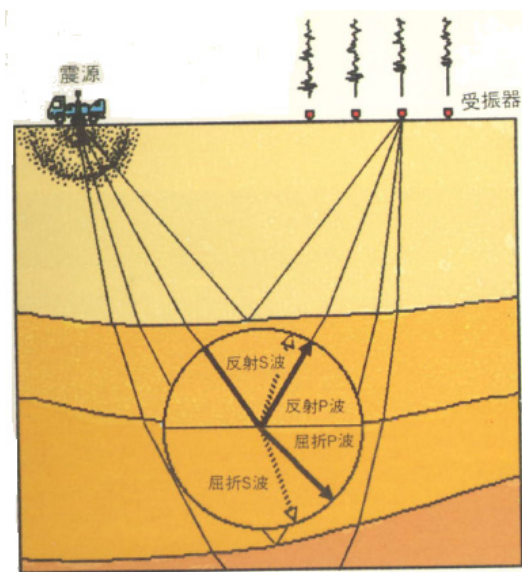


図3 反射法地震探査の概念（物理探査学会編「図解物理探査」より引用）。地表で弾性波を励起して、地下に弾性波を送り込み、地層の物性境界から反射して地表に戻ってくる弾性波を受振器で観測する。観測された弾性波記録はデータ処理によって地下断面図を作成する

5. 石油を生産する

前節で述べたように石油の探査を実施して、最終的に運良く有望な区域を発見できたならば、さらに詳細な埋蔵量評価・生産性評価をしていく。石油の貯まった層（油層）は地下に働く圧力の一部を受けているので、この油層に井戸を掘れば、圧力により井戸から勢い

よく石油が噴出してくる（これを自噴と呼ぶ）。このように、油層が本来持っているエネルギーだけで石油を回収することを一次回収と言う。その後、長期間にわたって石油生産を続けると、油層自身の圧力は低下し、生産量はしだいに減退し、結果として一次回収では、油層内の原油量の2～3割程度しか生産できない。生産にしたがって油層のエネルギーが弱まった段階で、水やガスを圧入して油層の圧力を維持して石油を回収することを二次回収と呼び、回収率は3～4割程度に向上できる。それでも油層には6～7割の石油が残されており、さらに油層に熱的あるいは化学的な刺激を与えて回収率を向上するための研究が行われている。これを三次回収あるいはEOR(Enhanced Oil Recovery)技術と呼びます。以上のように石油の埋蔵量の当初の値は、石油の回収技術の向上により上方に修正されていくことになり、これを油田成長と呼んでいる。

6. 石油の埋蔵量と寿命

30年前には石油の寿命は約30年と言われており、現在の石油の寿命は約40年言われている。この不思議な状況は、「可採年数」という用語が石油の寿命と関連づけられてしまうところに誤解が生ずることによる。可採年数は、現在において残存している採取可能な石油の埋蔵量（これを残存確認可採埋蔵量と呼ぶ）をその年の年間生産量で割った数字として定義される。残存確認可採埋蔵量と年間生産量は共に時間に関する変数であるので、石油の寿命と結びつけて考えるのは適切ではない。

さて、資源の量を表現するのに資源量と埋蔵量という2種類の類似した用語が用いられるが、両者には違いがある。資源量は、技術的・経済的に採取できるかどうかという点を無視した量を指す。一方埋蔵量は、その時点の技術レベルで経済的に生産可能な量をいう。前述の回収技術の進歩や新規油田の発見により、採取可能な石油の量は増えるため、埋蔵量は時代とともに変動するものである。さらに、埋蔵量の定義は定性的なため曖昧性があることに注意する必要がある。その曖昧性は地質学的な不確定性に由来するものであり、埋蔵量の正確な推定には困難がある。実際に公表されている数値であってもその信頼性については保証されているわけではなく、場合によってはその数値自体が意図的に操作される危険性も認識しておく必要がある。

上記の説明では、石油の「量」に着目したものになっているが、重要な視点は「質」に着目することである（石井, 2006）。例えば、確認可採埋蔵量と定義される石油であっても、生産が容易なものから困難なものまであるは

ずである。生産性の難易度は、投入エネルギーの大小に直結するので、結果として油田の質を示唆する EPR 値を変化させる。当たり前のことであるが、EPR 値の大きな油田と小さな油田とでは、EPR 値の大きな油田から先に開発されることになる。世界中の石油の半分を使用したことの重要性は正にこの点にある。すなわち、残り半分の石油は、EPR 値の小さい、生産性の悪い石油である。

7. 非在来型石油

現状ほとんど実用化されていないが、将来的に利用できる可能性がある石油を非在来型石油と呼び、例としてオイルサンド、オイルシェールがある。オイルサンドは侵食などの地殻変動によって油層が地表付近に移動し、軽質成分が揮発してしまい重質化した石油を含んだ砂であり、カナダではすでに商業生産が行われている。生産の際に地下に水蒸気スチームを圧入して重質油を流動化させるために、投入エネルギーに見合う回収エネルギーが必要となる（在来型の石油に比べて EPR が低下する）。実際、高温蒸気を生成するために大量な天然ガスが使用されている。

一方、オイルシェールは、埋没深度が石油の熟成度にまで達しなかった、「石油のできそこない」である。本当の石油でないにもかかわらず「オイル」という言葉が含まれているところにも誤解が生じやすい。オイルシェール採取後は乾留による熱分解により石油を抽出する必要があるため、ここでも投入エネルギーに見合う回収エネルギーが必要となってくる。

以上、非在来型石油であるオイルサンドとオイルシェールについて概説したが、両者とも「量」としては莫大であることは確かである。しかし、これら資源の「質」を考えれば、石油の埋蔵量への付加効果を安易に期待できない。

8. おわりに

本解説文では、石油の生成・探査・回収について概説し、「石油ピーク」論を理解する上での基礎知識を提供することを試みた。石油の有限性については、石油の生成段階における時空間的制約による地域的な偏在性について指摘した。埋蔵量の不確実性については、まず、石油の可採年数を再確認し、枯渇や寿命と関連づけることは不適切であることを述べた。さらに公表されている埋蔵量については、定義の曖昧性・地質学的な不確実性に触れ、その値の信頼性については保証されていないことを指摘した。最後に、石油の「量」だけではなく「質」を考えることで、石油ピークの重要性が理解できることを指摘した。なお、石油の生産量と埋蔵量との関係につい

ては、Hubbert のモデルにより説明することができ（例えば、Deffeyes, 2005）、このモデルにより石油ピークを数学的に考察することができる。Hubbert のモデルについての説明は次稿に譲ることとしたい。

参考文献

- 石井吉徳, 2006, 石油最終争奪戦 ー世界を震撼させる「ピークオイル」の真実, 日刊工業新聞社, 247p.
Deffeyes, K.S., 2005, Beyond Oil, Hill and Wang, 202p.