

## SRID 懇談会

### 2013 年第 3 回懇談会

日 時： 2013 年 9 月 9 日(月) 18:45～21:00  
場 所： JICA 地球ひろば 2 階 大会議室  
講 師： 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC: 旧石油公団) (工学博士)  
本村真澄 審議役  
テーマ： 「シェール革命」はどこまで広がっていくのか？

参加者 (順不同、敬称略)：今井、湊、黒田、的場、福田、藤村、山岡、神田、佐藤、  
福永、白石<sub>正</sub>、山下、川初美穂 (早稲田総研)、田中啓生 (JICA) …計 14 名

本村氏プレゼン要旨；

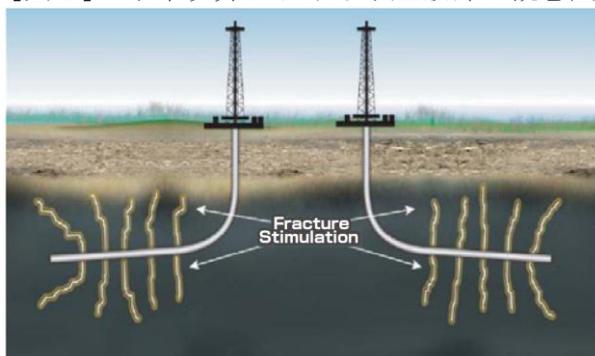
#### 石油根源岩 (石油ガス産業用語)、泥岩・頁岩 (岩石学用語、英語で shale)

業界によっては種々の呼び方をされているが、要は硯の石とか基石の黒と考えると解り易い。緻密で隙間がないので、石油や天然ガスを貯め込むのは難しいが、有機物を 1%以上含んでいると、数百万年以上という長い期間、地下に埋没し十分な温度と圧力に晒された場合には、有機物が石油・ガスに化学変化し、堆積膨張から地層内での圧力が上昇し、石油根源岩から隙間のある砂岩・石灰岩等の地層に押し出される。これが、地表に近い部分に移動・集積し、石油・ガスの鉱床が形成される。ただ、根源岩中に形成された石油・ガスのすべてが押し出されるわけではなく、半分程度は根源岩中に残されている。(石油・ガス排出後、根源岩中の炭化水素は半分程度残っている。)

#### フラクチャーリング (fracturing)

米国テキサス州ダラスで、長年にわたって根源岩地層 (バーネット地層と呼ばれる) に圧力を掛け、割れ目 (fracture) を作り天然ガスを探り出そうと試みた人が、ジョージ・ミッチェル (George Mitchell) 氏で、1992 年にこのバーネット地層の中で 1000 メートル以上に及ぶ長い区間の水平坑井を掘削し、そこに多段階に亘る水圧破碎を施すという方法 (図 1 参照) で、生産性を大幅に向上させることに成功した。これが最初のシェールガス生産層となり、たちまち北米に広まり、シェールガス大量生産時代を迎えることとなった。水平坑井・多段階水圧破碎の考え方は昔からあったが、地下 3000m の深度での実用化につなげたミッチェル氏の執念には、感嘆するばかりである。

[図 1] 水平坑井における水圧破碎の概念図



出所：SPE 107053

## シェールガス革命の実態

米国では近年、シェールガスが天然ガス生産の約 30%を占めていて、天然ガスの総生産量でも、ロシアを抜いて世界一になっている。この為、それ以前に米国が輸入していた天然ガス（例えばカタールのスポット物 LNG）は、欧州市場に安値で振り向けられ、これを契機にそれまで欧州に輸出されていたロシア産の天然ガスがアジアに向けられる等、世界市場での玉突き現象が生じ始め、日本への天然ガスも、安価な北米産シェールガスが導入される等の動きにもなっている。こうして既存の産ガス国のガス田開発や生産に影響を与え始めたのみならず、新ガス田開発（アルゼンチン Neuquen 盆地、中国四川省、欧州でのフラクチャーリングの認可開始、ポーランドの新規開発等）にも大きな影響を及ぼし始めている。ただ、一般論として言えることだが、摂氏マイナス 162 度以下の低温に維持された状態で ”液体” として保持される LNG の場合を除くと、天然ガスは常温・常圧の条件では気体であり、パイプライン・タンクという輸送・保全インフラが不可欠になる。既存のパイプライン網が存在する大油田・大ガス田の近くでのシェールガス開発は、こうしたインフラメリットを享受しうるが、新しいガス田開発に伴って、輸送パイプラインの敷設費用を負担しなければならないという条件下では、経済性・商業採算性を確保するのは、なかなかの難問である。

現にポーランドでの新規開発のケースでは、この難問に直面している。つまり、シェールガス事業を展開して行く為には、ガスの潜在的賦存量という地質学上の問題だけでなく、主要マーケットに競争力ある価格でのガス供給を可能にする、パイプライン網の利用可能性があるか否かという側面も、経済性を左右する極めて重要な要素である。この意味で、米国がシェールガス革命の先端を走っているのは、既存の大消費地へのパイプライン網の存在が大きいし、現在のところ、商業生産レベルまで併せて考えると、シェールガス革命そのものは、米国内に限定されているといえる。

## 活発化するシェールオイル開発

米国ではノースダコタ州のバッケン（Bakken）層、テキサス州のイーグルフォード（Eagle Ford）層が、主としてシェールオイル開発の対象となっていて、カリフォルニア州でも今後注目されることになる。既に 2012 年には米国の石油生産の 2 割強は、シェールオイルによって占められるようになってきているが、この傾向は今後も益々大きくなるとみられ、2035 年には米国内で消費される石油は、完全に自給される状態になるとまで言われている。

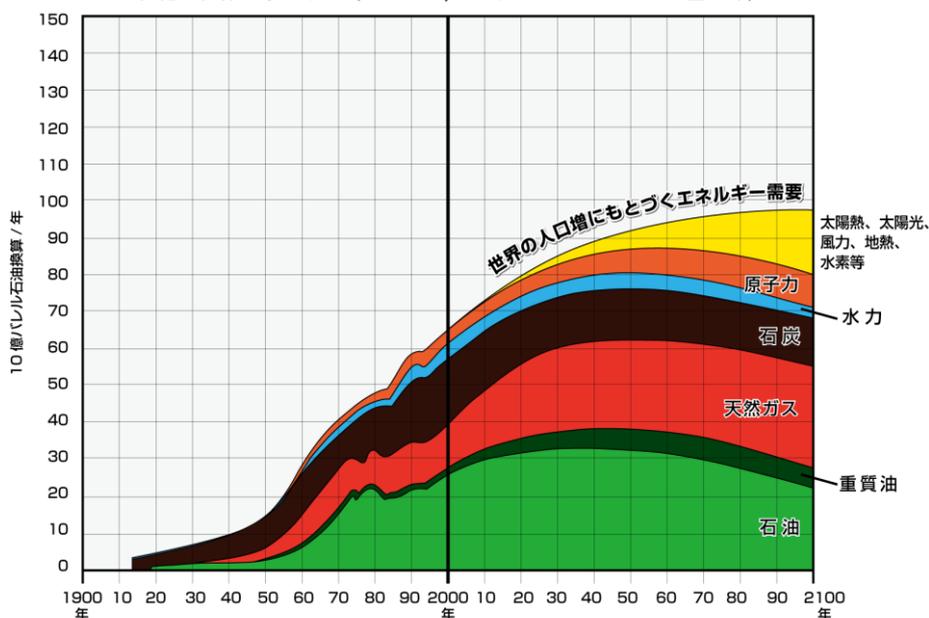
世界的に見ても注目されるのは、ロシアの西シベリアのバジェノフ（Bazhenov）層のシェールオイル開発である。このバジェノフ層の根源岩にフラクチャーを作り、石油を採り出す試みがここ 30 年位行われてきたが、ミッチェルの技術を準用する（但し深度は 2,000m 位）ことで、大きな成果が出始めている。根源岩層の性質がノースダコタのバッケン層と似ていることに加えて、面積的にはバッケン層の 4 倍以上の広範囲で、シェールオイルの可採埋蔵量は膨大なものになると、期待を集めている。ロシアの国有石油会社ロスエネフチが、エクソンモービルの参加をうけて探鉱・採掘にあたり、もう一つの国有石油企業ガスプロムネフチにおいては出油の報も出始めている。西シベリアの利点は、地質上の実績や優位性もあるが、前述のパイプライン施設が存在し、利用可能であることも大きい。日本でも、秋田地域での、硬質頁岩層が期待を集めていて、シェールオイル開発は手の届く段階に来ている。

## シェール革命の意義

先ず第一に、石油・ガスの埋蔵量・生産量が増え、長期的には価格が安くなることが挙げられる。勿論、技術的な水平坑井・多段階水圧破碎（フラクチャリング）そのものは、確かに画期的・革命的であるが、産出物は従来からの石油・ガスで、その生産・消費というパターンを変えるものではないし、この意味では、産業形態上の革命をもたらすものではない。その上、既存の消費地までのパイプラインの役割が大きいため、勢い既存の油田・ガス田中心の開発にならざるを得ない。ただ、重要な点は石油・ガス探鉱のやり方が、従来は地中深いところ（約3,000m～5,000m）の複雑な構造を、限られたデータをもとに、“人工地震波の解析”を通じて見つけ出し、それを試掘するという、謂わば、“狩猟的”なアプローチを用いていたが、他方、新しいシェール事業では、実績ある既存の根源岩層を対象にして、順次開発してゆくという、“農耕型”アプローチを採用できることにある。20世紀の100年内外に亘って、石油産業はどんどん極限の開発フロンティア開拓を、大規模な探査費用・開発費用を投入しながら進めて行ったが、2010年のメキシコ湾でBPが引き起こしたマコンド井の暴噴のような経験をすると、かけがえのない環境や資源を大事に扱うことの重要性が、改めて認識されることとなった。つまり、ハイリスク・ハイリターンを目指すアプローチから、生産実績のある地層を中心に、スモールビジネス型の地道な開発・安定生産重視のアプローチが可能な時代になりつつあることである。

最後に、国際エネルギー機構（IEA）をはじめ、種々の権威あるとされる研究機関の報告をベースにしながら、JOGMECが取り纏めた21世紀末までの世界のエネルギー需給を概括的に展望したもの（図2参照）を、御参考までに披露する。結論的には、今世紀末まで、石油・天然ガスの炭化水素系のエネルギー主流の時代が続き、シェールガス、シェールオイルのこの中で占める役割は、この傾向を強力に下支えし、加速させることになると考えられる。こうした現実的な炭化水素重視型のシナリオを考えれば考えるほど、持続可能で、安定した生産力を持つ石油・ガス産業の育成が、益々重要と思われる。

[図2] 21世紀の世界のエネルギー構成図  
21世紀の世界エネルギー（Edwards,2001、IEA.WEO 2011に基づく）



[上記の本村氏のプレゼン要旨を作成するにあたっては、当日の同氏の講演趣旨、及び、同氏が月刊誌『港湾』（国土交通省発行）の2013年9月号に寄稿された、「シェール革命」はどこまで広がってゆくのか？”を引用させて頂いた。]

質疑応答；

福永 シェールガス+石油+天然ガスの埋蔵量は200年分。うち天然ガスの埋蔵量はロシア、ノルウェー、カナダ、アメリカなど北極圏に3割が集中している。アメリカでのシェールガスの生産拡大により、ガス価格が（百万英国熱量単位：MMbtu 当たり）15ドルから3ドルに下がった。日本は、いかに安いガスを調達するかが課題。アメリカに投資するのがよいか。

本村 米国の上流事業に投資していれば、現地で生産ガスの価格が安くとも、日本に輸入する際の（高価格との）差額で、充分利益を確保できる。

山岡 自分の土地で鉛直掘削した後に、水平掘削で自分の所有する土地の範囲を越えてしまうことは許されるのか。また、そのような場合でも、地主と交渉すれば採掘権のリースは可能か。マット・デイモン主演の最近の映画、Promised landを見たが、まさにシェールガスの掘削をめぐる地元民と企業を描いたものだった。その中で、アラバマでは硫化水素が噴出して牛が全滅した、という宣伝を環境保護団体が行う場面があったが、そういうことはあり得るのか。

本村 他人が所有する土地の地下部分で、地主の同意なしに水平掘削することは出来ないが、そのような場合は別の地主からの採掘権のリースは可能である。天然ガスは空気より軽いので、それが低地に溜まって牛を殺すことはないと思うが、稀に硫化水素が噴出するケースでは、そういう可能性はある。中国の四川省では100人が亡くなった事故が起こっている。石炭が見直され、アメリカの石炭がヨーロッパに輸出されて利益を出している。問題となるCO<sub>2</sub>の排出権は、制度設計が間違っており、規制になっていない。市場原理主義ではダメということだ。

福田 メタンハイドレートの将来性はどうか。

本村 日本で実験はしたがコストがどこまで下がるかがポイント。商業的に成功するまでに10年位かかるだろう。おそらく日本以外では商売にならない。

的場 世界の巨大企業について話があったが、JOGMECについて知りたい。民間に対する財政的なバックアップがあるのか。

本村 日本の石油税が元手で、民間への投資や、J B I Cの融資への債務保証等をしている。また、民間への技術支援も行っている。JOGMECは研究開発事業により、

海外と同等な技術を持つようとしている。

白石 嘗て第一次オイルショック時代に、石油代替となり得るエネルギー開発が取沙汰され、当時の目標製造原価は確か、(石油換算でバレル当たり) 40 ドルだったと記憶している(例えば南アのサソール計画の石炭液化プロジェクト)。米国アリゾナでも、採掘の難しい急傾斜構造の炭鉱で、石炭ガス化技術が開発されたと聞いたが、こうしたエネルギー代替技術は、その後どうなったのか。

本村 確かに当時は石油代替燃料の技術開発が、盛んに行われたが、代替エネルギーの製造原価目標としたバレル当たり 40 ドルは、1985 年以降 2000 年まで油価が暴落した為に機能しなくなり、代替エネルギーの開発は殆ど行われなくなった。エネルギー価格に関していうと、現在のエネルギー価格水準では、特に石油の場合、生産コストをはるかに上回っているのが実態だ。また、石油はタンカーで運べるので輸送費は安く、世界共通の単一市場化しているが、天然ガスとなると、輸送費の占める割合が基本的に大きく(パイプラインを使うか、特注船舶である LNG タンカーを使うかで若干異なるが)、そのため、商品の相互乗り入れが起きにくく、米国、欧州、アジアで別個の市場が存在すると考えて良い。競争の少ないアジア市場のガスは最も値段が高く(アジア・プレミアムと俗称される)、日本にとっては重荷になっている。これを安く抑える為に、サハリンからパイプラインを引いて輸送する考えが出てくる。エネルギーの製造原価以外の輸送費とか市況など、さまざまな要素により、常に相対的に変化するということである。

今井 ①第 1 次オイルショックはアメリカの戦略であったか。原油価格の高騰後、北海油田やシェールオイルの開発が始まった。②可採埋蔵量は持続可能か。③今後、日本が付き合うべき国はどこか。

本村 ①オイルショックは、メジャーから O P E C への所得移転といった単純なものではなく、O P E C が貯め込んだドルは対米投資という形で、米国へ還流している。新たな資金還流の始まりと見るべき。②石油会社は自身の埋蔵量から石油製品を製造し販売する一方で、新規に埋蔵量を発見する活動もしている。これを「置き換え (replacement)」というが、結果的にこの 40 年間、置き換え率は 100% を越えて推移しており、石油の可採埋蔵量は増加基調にある。③LNG に関してふれると、石油は備蓄できるが、LNG は備蓄ができない。ロシア、アルジェリア、ノルウェーはヨーロッパのパイプラインを使用してガスを輸出していて、欧州への供給先はそれなりに多様化されているが、日本は？と言えば、(中東への石油依存度が 82~83% を占めているが、) LNG もカタール、U A E への依存度が約 30% もあり、偏っている。天然ガスの地下備蓄がないと、ホルムズ海峡閉鎖という事態になった場合には、大変リスクが大きい。

福田 石油を電気にして輸入する可能性はあるのか。

本村 ロシアから海底送電線プロジェクトのオファーがある。電気は集中発電より分散発電を目指した方がよい。六本木ヒルズや日本橋地区では、既に 100m~3,000m の範囲で地域発電を実施している。電気そのものの輸入という考えは、大規模集中型発電の延長にあり、このような分散型発電とは真っ向から対立する考えである。

藤村 ①シェールオイルの深さはどの程度か。②オイルサンドの公害はあるか。地下水への影響はどうか。③今後の石油資源の動向について、電気自動車等が普及すれば需要が減るのではないか。例えば、中国では車が増加して大気汚染が深刻であり、電気自動車の普及が急がれているが。

本村 ①平均で 3,000m~3,500m 程度である。ロシアは能力不足のため 2,000m 以上掘れる掘削装置の数が少ない。②地下水への影響は根源岩の深さによる。数千メートルの深度では飲料水を供給する地表近くの帯水層には全く影響が無い。③電気自動車は 100 年前にガソリン自動車と競争して負けた。ガソリンが安くなれば電気自動車からガソリン自動車に回帰する。日本ではまだ都バスぐらいしか利用していないが、世界的には CNG (Compressed Natural Gas) が主流になると思われる。

黒田 ①世銀にいた 1976~81 年頃、工業局で製油所や石油化学プロジェクトの融資を担当していて、天然ガス・石油産業との付き合いもあった。当時は炭化水素エネルギー有限説があったが私は根拠薄弱と考えていた。石油危機を引き起こした OPEC の動きは、石油の実需とは元より無関係だし、同時に供給側諸条件とも全く無関係な政治そのものでもあったから。 今日の話は、水平坑井・水圧破碎によって可採可能量が大幅に増加して、この有限説が意味の無かったことを裏付けるのみか、将来に亘り炭化水素系がエネルギーの太宗を占めることを明らかにする話で、大変心強い。 ②当時、世銀はカタール政府のコンサルタントでもあった。コンサルの守秘義務上、詳しくは言えないが、私は、天然ガスを利用する諸プロジェクトを横一列に並べて、どのプロジェクトがカタールにもたらす付加価値が大きいのか？を分析・比較した報告書を作成した。この報告書が後年、LNG が実施される大きな要因となった。今日の話の中でも、再三に亘り、カタール LNG が出てきて、懐かしさを感じると共に大変喜ばしくもある。 ③一つ質問があるのは、最後の「21 世紀のエネルギー需給」の表に関するもので、この図を作成するためには、技術水準、人口や需要、価格等、の色々なものが前提とされているのではないか。

本村 ③石油地質学者の Edwards のエネルギー需要予測に、2035 年までは、IEA (International Energy Agency) の需給予測値を基にし、それ以降の 2100 年までは、当方で予測したもの。 Edwards 氏の引用している古代アテナイの政治

家ペリクレスは、「未来は予測するものでなく、備えるものである」と言っている。「モデルによって未来が決定される」とするマルサスの考え方は間違っていると思う。重要なのは現在から未来への Forecast ではなく、未来から現在への Backcast であるべきだ。優先すべきは天然ガス、環境規制、価格等で、これらのあるべき姿を先に提示し、そこに向かう道筋を示すべきとの考え方で、ローマクラブなどが主唱する System dynamics では当たらない。

佐藤 原子力についてききたい。原子力と炭化水素 (hydrocarbon) の競争をどう見るか。今の原子力は熱源 boiler として使っているに過ぎない。トリウムなど新しい利用法を考えるべきではないか。ある人が原子力利用の現状を「トイレのないマンションに住んでいるようなもの」と形容していた。根本的な核廃棄物処理の問題を解決していない。

本村 議論は揺れている。優れた最新技術による原発は、一定期間使うことを考えたい。現存する原子力発電所をすべて止めれば、電力会社の経営は破綻する。炭化水素でやっていく方が安全性は高いが、原発でも動くものは 40 年間稼働させて、採算をとるしかないのではないか。

的場 日本の頁岩でシェールオイルが採れるのか。

本村 秋田県の女川層で計画が進められ、成果が出始めている。

白石 問題の尖閣諸島に石油はあるのか。

本村 日中の衝突は軍事的な目的であって、石油のためではない。南沙諸島には明らかに石油・ガスはなく、政治的な対決である。

山下 石油市場の競争環境の話が出たが、電力会社の地域独占は別として、なぜ日本の LNG 調達コストは高いのか。

本村 LNG 価格を石油価格に連動させるという長期契約を結んだために、油価の高い現状では LNG 価格もそうなっている。長期契約は行政の指導というより生産者の要求に沿ったものであろう。この解決には競争環境の醸成しかない。

(以上)