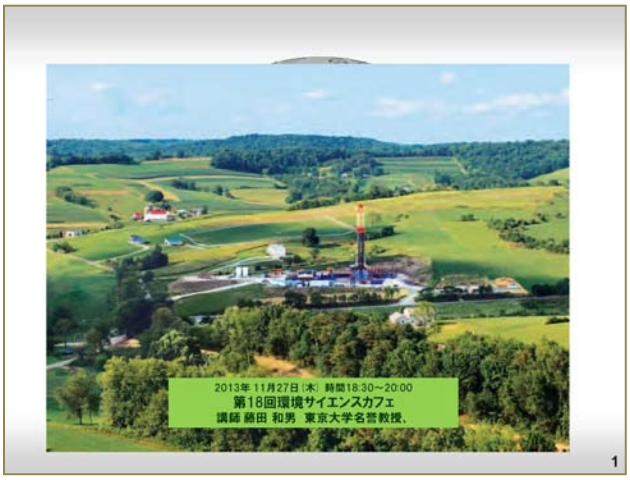
第１９回　環境サイエンスカフェ
テーマ　　米国シェールガス開発の光と陰　－環境リスクの視点から－
講　師　　藤田　和男さん（東京大学名誉教授）
日　時　　2013 年 11 月 27 日（水）18：30～20：00
会　場　　サロン・ド・冨山房　Folio
参加者　　４８名



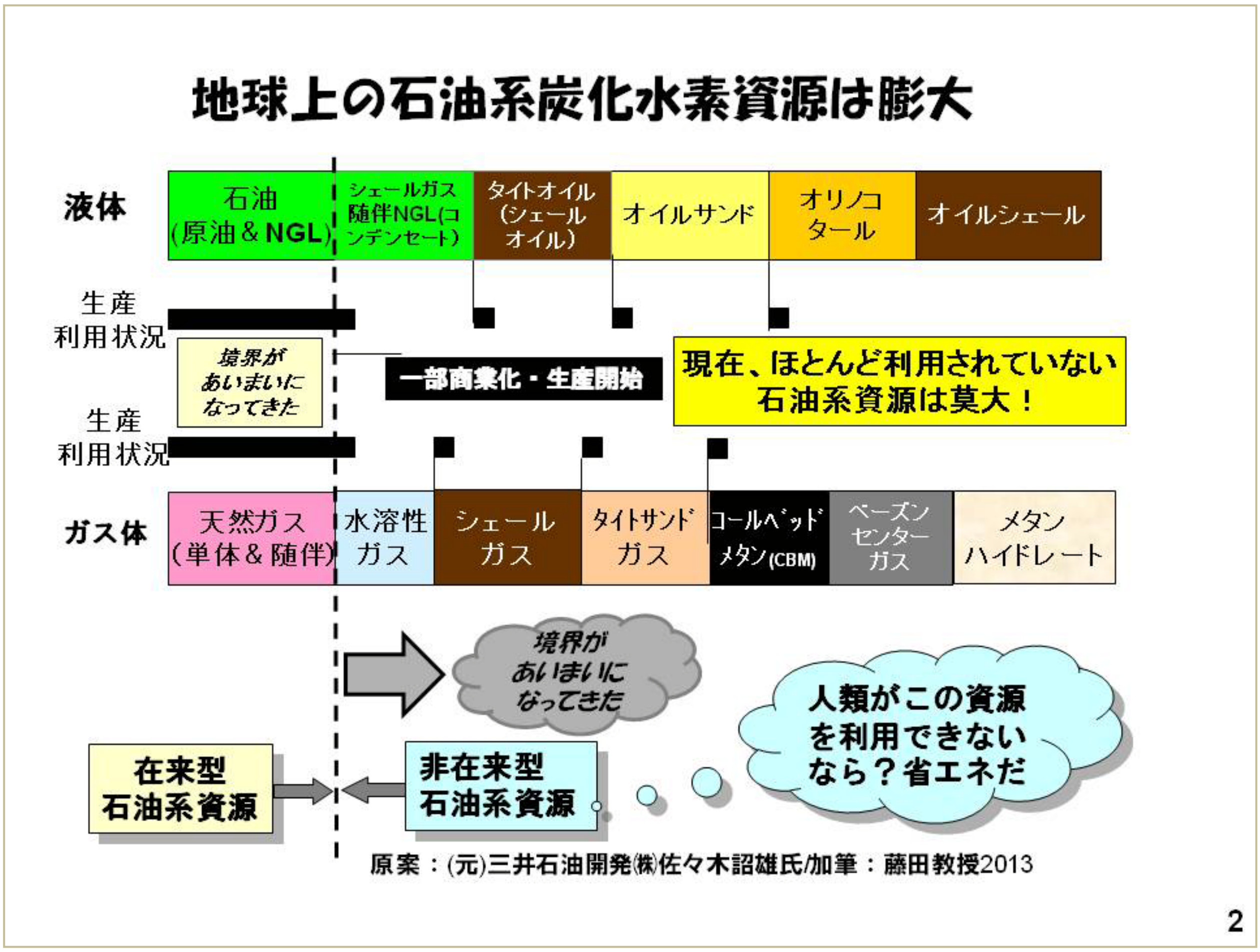
どうも皆さん、こんばんは。はじめまして。藤田でございます。これだけ大勢の方々に来ていただいたことにびっくりしています。これこそ「環境サイエンスカフェ」というのでしょう、いい雰囲気ですね。本来だったらこういう形よりもみんなで雑談しながら楽しくすすめたいところですが、講演の後でそのために 1 時間ぐらいあるようですので、それはそのときにいたします。

お渡しいたしました私のハンドアウトでありますが、図が全部で六十数枚あります。図一枚を 1 分間でやっても 60 分かかります。皆さんにできるだけの資料を差し上げたいという気持ちでこういたしました。したがってスキップしながら行かせてもらいますし、皆さんのご質問次第では 1 つのパートで終わってしまうようなことになるかもしれませんが、4 つのパートに分けて今日はお話を進めたいと思う次第です。まず私につきましては、ハンドアウトの最後のほうに私の人となりがございますので、後ほどご覧になっていただければ、自己紹介は省略ということでまいりたいと思います。

今日のお話は、ほんとに目が離せないことになっているシェールガスについてでございます。私、ユニバーシティ・オブ・テキサスで、天然ガスではなく、今「在来型」と呼ばれている石油の開発を勉強しました。今や新たに「非在来型」という何か訳の分からない言葉が出てきたということで、今日はまずそのへんのところを最初に皆さんにお分かりいただきたいと思います。それから今燃えている、アメリカはじめカナダいろんなところでワーワー言ってますけれども、まずは米国シェールガス開発、これがどんな状態かというのは、セカンドパートです。3 番目は、開発をどんどん激しく今やっておりまして、こういう状況下でどうしても環境問題というのが騒がしくなってきております。皆さんのご専門だと思います。そのへんに対して今どんな状況で、見方があるかというのを私なりにお話します。むしろ影みたいなこともお話ししたいなと思っています。最後は全体まと

めとして、「シェールガス革命」とか今は言っておりますけれども、これに関してコメントをして終わらせたいというように 4 つの形に分けてまいります。

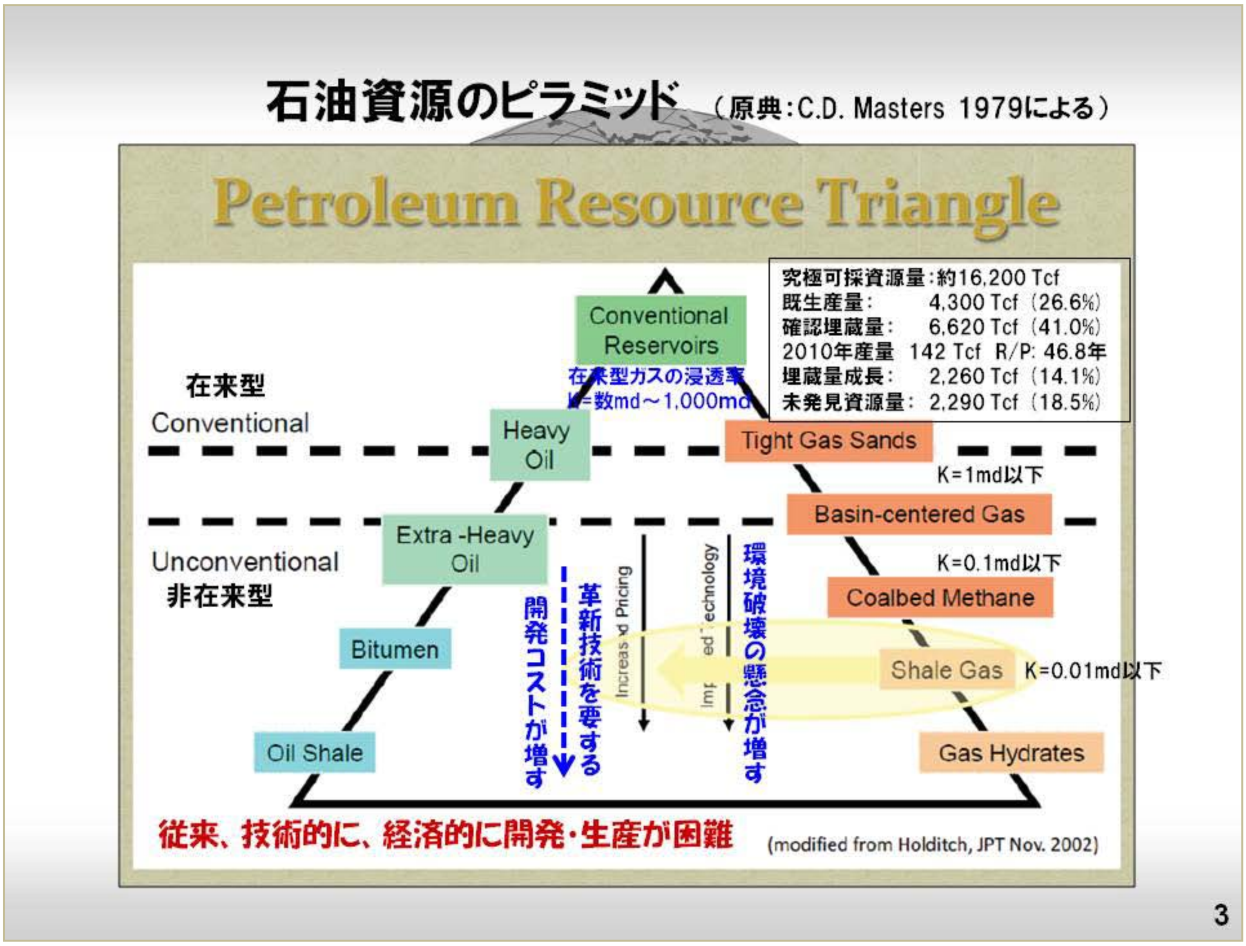
1．在来型と非在来型の石油系資源



これが石油系炭化水素資源の分類です。(図２）これが石油天然ガスと俗に言われているものです。シェールガスなど、こういうような形で区分けをしております。石油である液体とガス体、その 2 つに大きく分けるのですが、実は地下の中にあるときには両方が合体した同じようなものです。溶け込んでいるわけです。サーフェスに持ってくることによって分けるという形で、石油天然ガスという区分けがございます。今日のお話はやはりシェールガス、それからタイトオイル、またはシェールオイル、この辺のところのお話になります。

一般的にもうわれわれが取り出して享受しているのが、ペトローリアム（petroleum)、石油ですね、これと天然ガスは、これはここにあるように、生産していて商業的な生産ができている。一方、こういうようないろいろなものも名前はあって、少しずつでありますが生産しております。そうしますと「非在来」と言えないのではないかというようなことになってしまいます。在来型（コンベンショナル）は、今現在大きな市場があり、現在使っている技術です。今の日本経済の中で使っている技術で、取り出している油とガスが、従来の油田、ガス田から来るものを在来型と言っているんです。そうでないものが非在来型、というぐらいの区分けの仕方でございます。ですから非在来型はいずれ在来型になることもあり、もうこのようなものはすべて在来型に今変化しています。必ずしもはっきりここでこう分かれるというものではなくなりつつある、ということを認識してください。

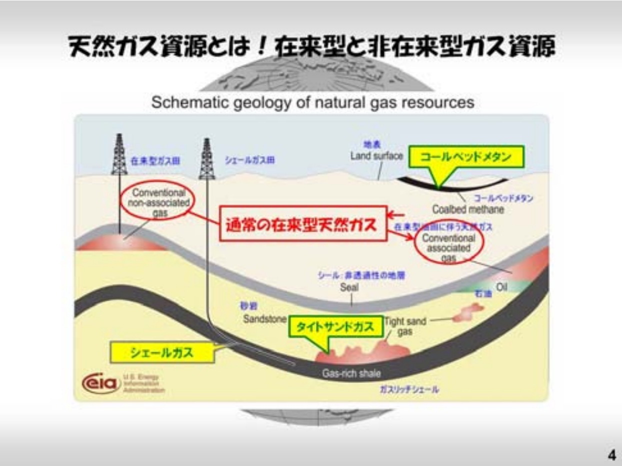
もうひとつ、在来型と非在来型の分け方にこういうようなトライアングルで示したものがございます（図３)。これはだいぶ古いものです。US サーベイ、地質調査所、そこのマスターズという人がこういうような提案をしています。ここにコンベンショナルなもの（在来型）が、このトライアングルの上の上層部だけです。だからボリューム



的に非常に少ないものです。そういうものがあって、地球上の上にはまだまだ非常にボリュームの大きいもの、この三角形の下の部分ですから、ボリュームの大きいものが隠れている。それは油の世界とガスの世界がある。

皆さんもう聞いている名前だと思いますが、タイトガスサンド。それからこれはあまり聞かないかもしれません、コールベッドメタン、石炭の中に含まれています。それからシェールガス。それで最後はガスハイドレート。これは日本が今タックルしているメタンハイドレートの世界です。基本的にはこういうものを開発して私たちの自分の手元に持ってこようとすると開発コストが非常に増す。それから革新的な技術がないと取れませんでした。今それが取れるようになったというのが今日の話題です。

あともう一つ、これをやると必ず環境破壊になってしまうということです。ですから非在来型というのは、そういうものを乗り越えていくことによってわれわれの手元に来るか来ないか、こういうものでございます。ですから地下の中に眠っている量はものすごい量であっても、それが果たして経済的に技術的にどれだけ取れるか、こういう視点でもって今日お話を聞いてほしいと思います。



この絵はよく使う絵でございます（図４）。私が 50 年ぐらいやってきたのは、こういうようなラクダのこぶにあるような、在来型ガス田、油田、またはこういう油の中に溶けているガス、こういうようなのを「トラップ」とよく言います。そういうところにあるものを探して私たちは開発している。べらぼうに大量のものを出しました。サウジアラビアですね。なぜかというと、この岩石にはポロシティといって空間が３割ぐらいあります。

大きいのは 4 割のもあります。そういうようなもので、流れやすさがべらぼうにいいんです。

ですから井戸を掘ると自然に吹き出てくる。こういうような状況でわれわれはサウジアラビアで 20 世紀は開発を続けてきたわけですね。21 世紀になってはたといろんな問題が起こったのですが。

シェールガスとかそれらのものは、そうではなくて、こういうものが集まった元のオリジンの岩ですね。シェールというのは、頁（ページ）の岩（頁岩（けつがん））と書きます。これは一つのページですから、本の 1 ページ、2 ページと同じですね。そういうものが重なったものです。それが石油のできた大本にあって、そこから石油天然ガス、水、そういうものが動いてこういうところにたまっていたという。

会場：すみません、いま 3 割の隙間があるとおっしゃったんですけど、何に対して 3 割ですか。

藤田さん：これは岩石、岩の 30%が空間なんです。油田によって正確にはいろんな数字がございます。3 割ぐらいです。ところがシェールの場合にはほとんどないですね。例えば 0.5%か 1%です。そういうことなんですが、岩が莫大ですから。ですからそこからどうやって取り出したかということなんです。

それからもう一つ、石油と天然ガスというのはファミリーのような同じ仲間なのです。（図５）在来型の中の油と天然ガスを、内容物で見るといろいろな炭化水素であるメタン、エタン、こういうものがいろいろ含まれてできているわけです。標準の原油だと、ご覧のようにメタンが 5 割近くございます。ところが天然ガスというガス田からのガスは、95、96%がメタンなんです。ですからこういうのが単体であるような地下のガス田、これはいずれも在来型のガス田です。ところが、その途中に存在する揮発性原油とかガスコンデンセートがございまして、液体分、ガス分、どっちが多いかというような形で細かく見ることができて、化学組成もわかっています。ただここで私たちが注目しなければならないのは、ガスと液体の比がどのくらいかで、ここにあるガス油比（ゆひ）がそれです。ガスと油の比です。単位がいろいろ違って複雑で分かりづらいと思いますが、同じ単位、キロリットルと立方メートルでやると、例えばこの揮発性のものだったら 1 キロリットルに対して

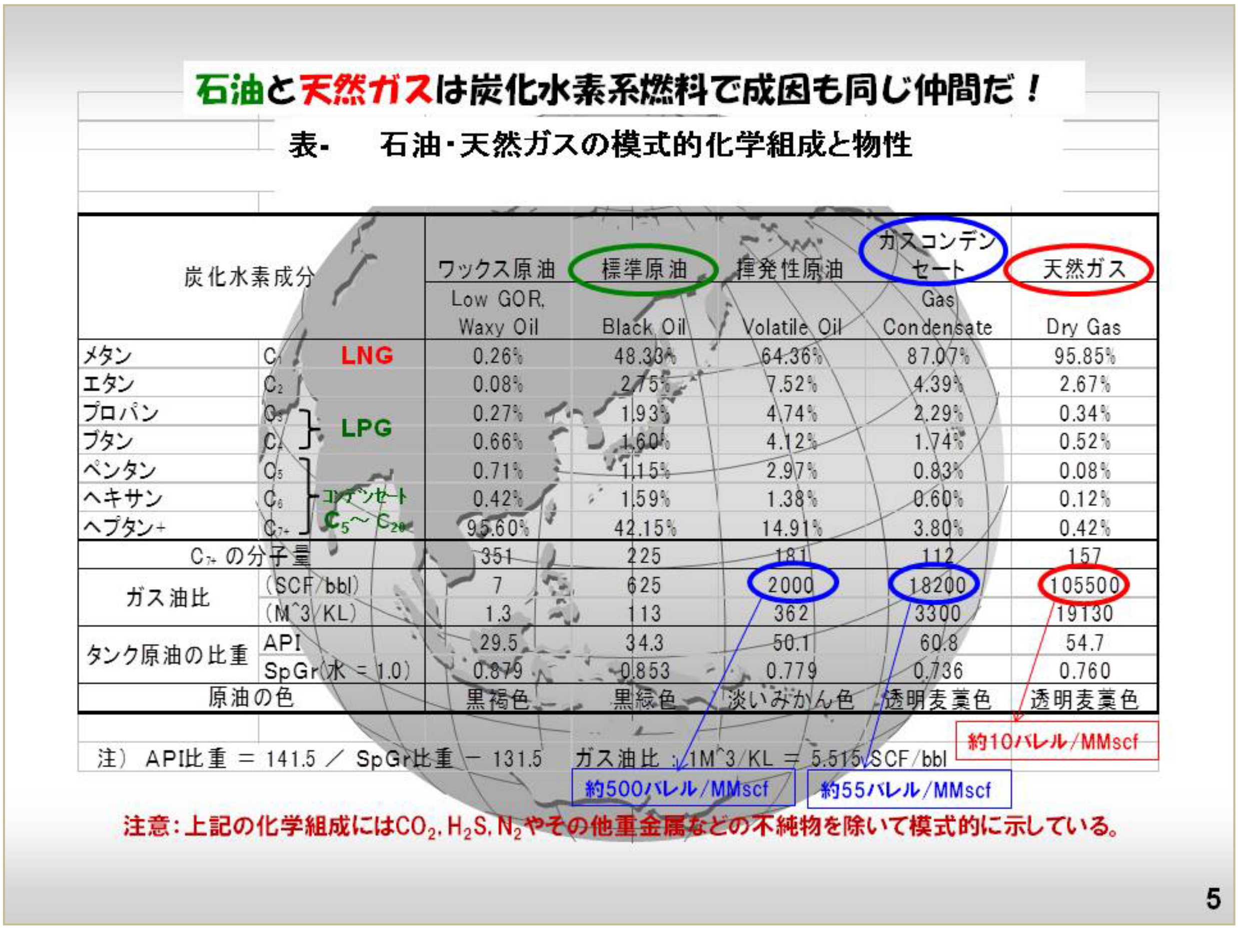


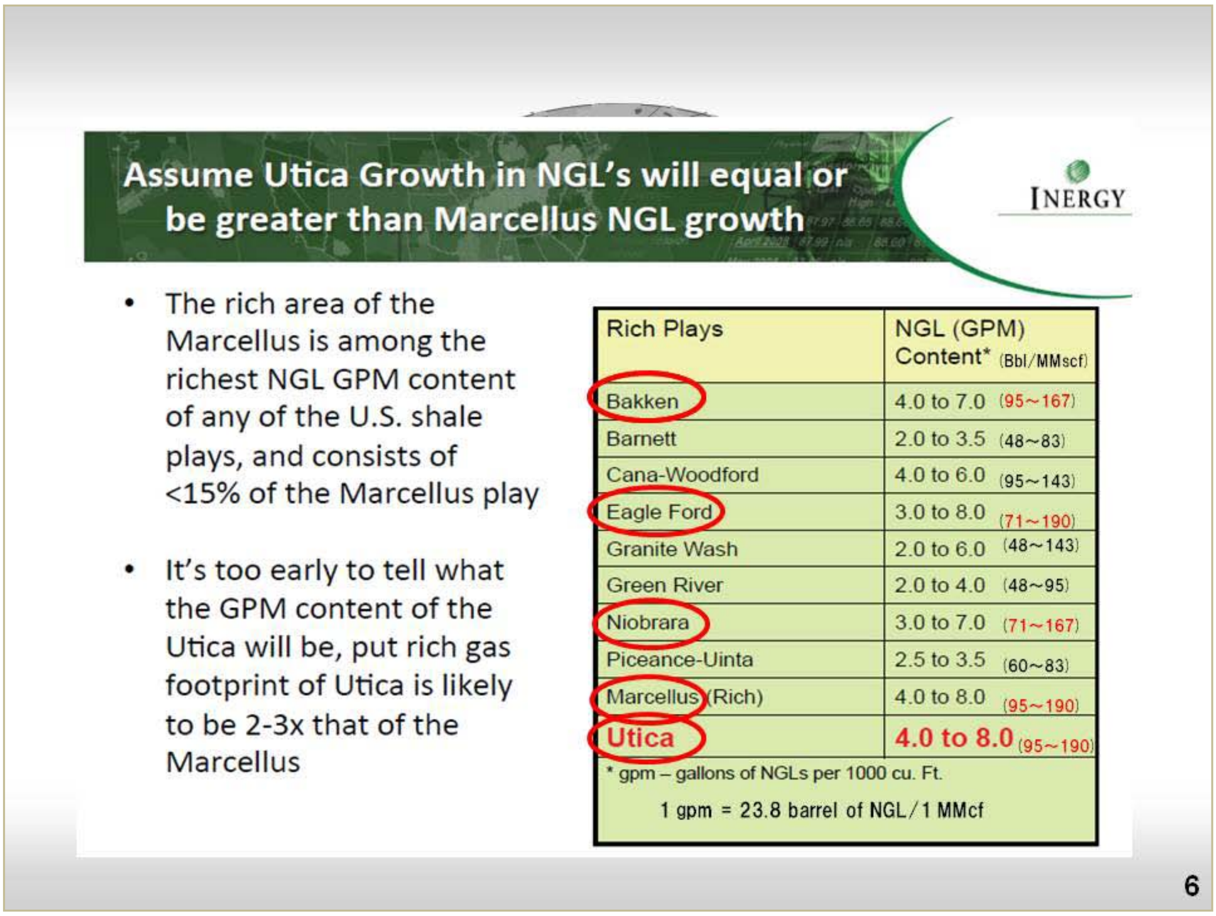
表-　石油・天然ガスの模式的化学組成と物性

炭化水素成分			ワックス原油 Low GOR. Waxy Oil	標準原油 Black Oil	揮発性原油 Volatile Oil	ガスコンデンセート Gas Condensate	天然ガス Dry Gas
メタン	C_1	LNG	0.26%	48.33%	64.36%	87.07%	95.85%
エタン	C_2		0.08%	2.75%	7.52%	4.39%	2.67%
プロパン	C_3	LPG	0.27%	1.93%	4.74%	2.29%	0.34%
ブタン	C_4	LPG	0.66%	1.60%	4.12%	1.74%	0.52%
ペンタン	C_5	コンデンセート C_5～C_{20}	0.71%	1.15%	2.97%	0.83%	0.08%
ヘキサン	C_6	コンデンセート C_5～C_{20}	0.42%	1.59%	1.38%	0.60%	0.12%
ヘプタン+	C_{7+}	コンデンセート C_5～C_{20}	95.60%	42.15%	14.91%	3.80%	0.42%
C_{7+} の分子量			351	225	181	112	157
ガス油比	(SCF/bbl)		7	625	2000	18200	105500
ガス油比	(M^3/KL)		1.3	113	362	3300	19130
タンク原油の比重	API		29.5	34.3	50.1	60.8	54.7
タンク原油の比重	SpGr(水 = 1.0)		0.879	0.853	0.779	0.736	0.760
原油の色			黒褐色	黒緑色	淡いみかん色	透明麦藁色	透明麦藁色

注） API比重 ＝ 141.5 ／ SpGr比重 － 131.5　ガス油比：1M^3/KL ＝ 5.515 SCF/bbl

注意：上記の化学組成にはCO_2, H_2S, N_2やその他重金属などの不純物を除いて模式的に示している。

360 ぐらい、360 倍のガスがある、ということでございます。大事なことは、今私たちはシェールガスをうまく取り出しましたが、シェールガスを取り出している間に油っ気がたくさんあるようなものが見つかったんです。この油っ気のあるのが、実はここからこっちの方へ寄ってきてる。つまりたくさんウエットな液体分、油分、を含んでいたということです。探してみましたら最初ガスだけ出ていたところから、油分がだいぶ出てきたということで、これをお見せしています。



その実例がアメリカの中で、まだお名前は分からないと思いますけど、バッケンとか、イーグルフォードとか、ナイオブララとか、こういうようなところが知られています。(図６) 液体とガスの比、これはガス油比の逆数で、ガスの中から液体がどのくらい出るかという数字です。この比でいきますと、揮発性原油でガスの 100 万スタンダード・キュービック・フィート（million standard cubic feet：MMscf、1 キュービックフィートは約 28 リットル）に対して 500 バレル（barrel：bbl、1 バレルは約 160 リットル）ほど油が出る。ですからものすごく油がたくさん出ますね。ここのところにきますと 55 バレル、ここにきますと 10 バレルですから、これは天然ガスと呼んでいるもので、ドライガスともいいます。そしてここにきますとウエットガス、ここになるといわゆる揮発性の油の油田、こういうような形で、油田は世界中全部で 5 万ぐらいあると言われています。それによってこういうふうに大きな幅をもって変化がある。複雑なものです。シェールのほうは、やはり探しだしたら、最初はドライガスばっかりだったんです。ところがこういうコンデンセートというのが出てきたということで、こういうような現実の数字が出てきたということでございます。

２．米国シェールガス開発の現状

その次には、2 年前でございます、2011 年の 10 月頃、ワシントンで石油経済学会の 30 周年記念がございました。そのときに DOE（Department of Energy)、エネルギー省が 30 名に限って自動車で 5 時間ぐらい乗って、ペンシルバニアのシェールガス田の現場を見せてくれました。ペンシルバニアのマーセラスというところへ行って見てきた、その四方山話をお見せしようと思います。

アドバンスト・リソーシズ・インターナショナル（Advanced Resources International）、ARI 社が DOE のところで毎年、非在来型の埋蔵量、生産量の統計データの調査報告を請け負っています。報告はネットで全部見られます。すごくアメリカはオープンです。そこを追っていくことによってかなりのものをつかめるわけです。私は 10 年前に行ってデータをもらいました。それがこの絵です。アメリカはこのくらいに非在来型をどんどんやりだしてるよという話を聞いてきた。3 割ぐらいなんです、当時。そしてその後、10 年を経て比較のため数字を入れました。非在来型というのはここなんですが、ご覧のように 10 年前に 3 割だったのが今や 3 割の倍、67%。アメリカ全体の天然ガスの生産量、それの 67%が非在来型と称するタイトサンド、コールベッド、シェールガスなんですね（図 7）。

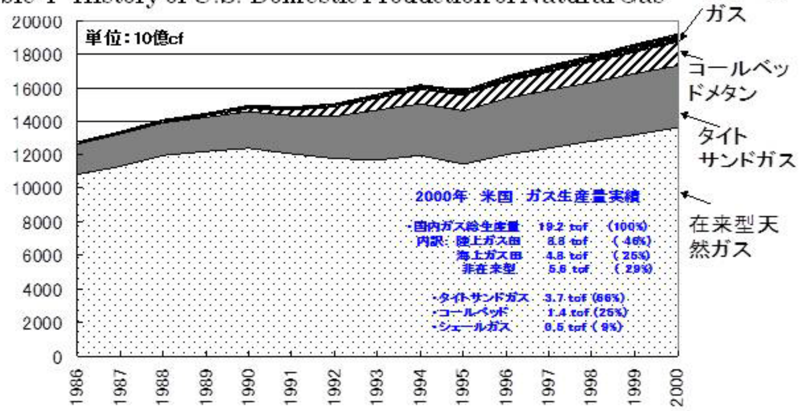
量はそれほど増えていません。それからコールベッドメタンもほとんど変わらない。シェールガスだけが当った。なぜか。技術なんですね。先端技術がこれをつくりだした。ペンシルバニアは、このシェールガスがあちこちに見つかってきましたので、パイプラインをどんどん予定してやらねばなりません。

そしてわれわれが訪ねた会社は、一番成績がいい、レンジ・リソーシズ・コーポレーションという会社で、もうまさに行ったときに彼らは新しい 5 階建てのビルディングを造ってホクホクしてました。これは 12 月にオープンしたそうです、2011 年です。そういう形でいろいろなところがある意味でブームだったことは間違いございません。

私が若い頃、テキサス大学で勉強していた頃は、シェールというのはシールするものであると習いました。シェールとシェールの間に挟まっている

表－1　米国国内天然ガス生産量の構成の推移

Table-1 History of U.S. Domestic Production of Natural Gas



		2000年	05年	10年	2011年
米国内天然ガス年生産量		19.2Tcf (100%)	18.4Tcf (100%)	21.88Tcf (100%)	23.00Tcf(100%)
(その内訳)	陸上ガス田	8.8Tcf (46%)	N.E Tcf (—%)	5.86Tcf (27%)	5.47Tcf(24%)
	海上ガス田	4.8Tcf (25%)	N.E Tcf (—%)	2.76Tcf (13%)	2.11Tcf(9%)
	非在来型ガス	5.6Tcf (29%)	7.99Tcf (44%)	13.26Tcf (60%)	15.42Tcf(67%)
(非在来型ガス内訳)	タイトサンドガス	3.7Tcf (19%)	5.42Tcf (29%)	6.22Tcf (28%)	5.86Tcf(25%)
	コールベットメタン	1.4Tcf (7%)	1.74Tcf (9%)	1.71Tcf (8%)	1.71Tcf(7%)
	シェールガス	0.5Tcf (3%)	0.83Tcf (5%)	5.33Tcf (24%)	7.85Tcf(34%)

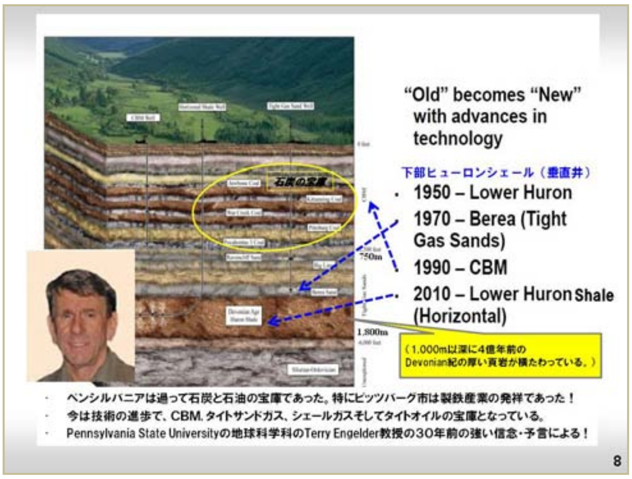
(注) Tcf＝兆立方フィート　出所：米エネルギー省エネルギー情報局 (EIA)

7

この増え方というのは誰でも驚くんです。しかしシェールガスの話です。油ではございません。油は後のほうでお見せします。シェールガスはこのように確かに多いんです。タイトサンドガスの

サンドの中に油がある、そしてそれを探すということでございました。ところが今やそのシェールだって深いところにあったものが石油資源のマザーだったんですね。ですから日本では油母頁岩（ゆ

ぼけつがん）なんて言います。油母頁岩、油のお母さんと言いますけれども。確かにまさかそこから出てくるとは思わなかったということでございます。深さは、ここで地下 1,200 メーターから 2,500 メーター、これペンシルバニアの場合です。場所によって違います。厚さとしては 15 メーターから 60 メーターぐらいということです。埋蔵量とかいろいろございます。



そんなことでこの絵になります（図８）。これはペンシルバニアの素晴らしい牧場とか田園の下に眠っている石炭層です。かつて石炭をたくさん取ったのがこの層です。ところが大昔にはもうすでに深いところにも井戸は掘っていて、そして 1950 年にはロアヒューロン、ヒューロン湖のヒューロンなんですが、そこの層にはガス系があったということがあるんですが、ひとつも出ないという形で終わっています。ですからその後、1970 年代に、これがタイトサンドガスという、タイトガスサンドと言ったりしますが、有名なブレアサンドです。これが結構深いんです。ですからこのタイトサンドは深いんで、このまんま井戸を掘っても出てこない。そこでフラクチャリング※をやったんですね。フラクチャリングをアメリカで最初にやったのは、私の生まれた 1941 年。これも歴史の本にちゃんと書いてあります。そのときすでにもうアメリカは始めてるんですよ。それがペンシルバニアで初めてやりました。ですからタイトサンドガスというのは、これはアメリカとしてはもはや在来型であるという扱いにされました。

ただしあるときからオイルショックがあって、油の値段がこう上って、それでドーンと下がりましたよね。そうしたらもう何も、皆さん石油開発もガス開発もできませんから、アメリカの政府がそこにタックスヘイブン、補填金、いろいろなものをやったわけです。そういうことをやった対象が「非在来型（アンコンベンショナル)」という言葉の発祥なんです。わが国でもありますね、「新エネルギー」という言葉。新エネルギーって何のことかといいますと新しいエネルギーみんなでしょって言いたくなるけど、とんでもない、あれは法律上において「補助金を出すのはこのエネルギーですよ」ということです。それと似たようなものなんです。ただし今でも生きていて、統計ではコンベンショナル、アンコンベンショナルを区分けしているんです。

ただし、確かに 2010 年を終わって急にこれだけ生産量に出ておりまして、2020 年、次の東京オリンピックですね。その間には非在来型はもはやなくなるでしょう。在来型という話ですべてをやるような形になるんじゃないかと思います。ただし、私の今日の最後の結論に言いたいんですけれども、「そんなに長く出るの？」というお話です。これはみんな出ると思ってるんですよ。だから銀行とか商社は投資してるでしょ。でもよく物事考えなきゃいけませんね。地下のことはよく分からない、見えません。

ペンシルバニアのシェールガスが出たところでは、だいたい 16 社がずっとやってきています。毎年掘った井戸の数は、2007 年には 60 本だったのが 229、それから 685、1395。そして私が行った年、ここを訪ねた年は 8 月でもう 1045 です。

会場：ペンシルバニア州の東西の長さは何キロですか。

藤田さん：本州と同じぐらいでしょうか。正確な距離はわかりません。このマーセラスのシェールを含む土地を「堆積盆地」といいますが、盆地全体の広さは 25 万平方キロです。本州が 23 万平方

※フラクチャリング：岩石を粉砕し、地層に亀裂（フラクチャー）を生じさせることで、石油や天然ガスなどの流路を確保し、収率を増加させる手法のこと。(新語時事用語辞典：http://www.breaking-news-words.com/)

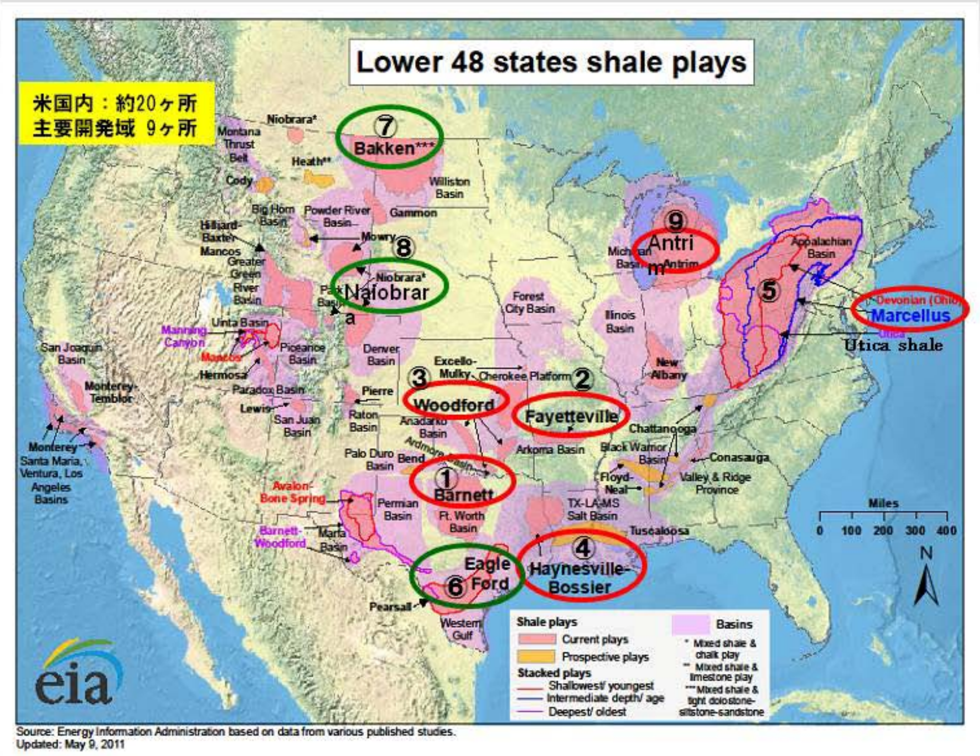
キロですから本州よりも広いです。その中のいわゆるガスのある、油のある地域でございます。そこに穴を掘ってるんです。

言いたいのは、年々、こうやってものすごく井戸数が増えておりまして、「こんな感じでどんどん掘っていいの？」「地域の人、文句言わない？」ということです。空から見れば驚くほどの数になっています。ですからもうラッシュです。仕事がないはずないんです。だからオバマさんは、雇用はこれで何十万人ができたとか、豪語してるんです。それは事実でございます。非常にホットです。だけどそれが必ず 10 年、20 年続くのかというのが非常に心配です。

今現在、アメリカでシェールがあるような堆積盆地というのは全部で 20 カ所あります。そのうちの 9 カ所、番号をつけていますが、これが非常にリッチに今生産しています（図９）。ある意味で大儲けしているところでございます。古い順に番号をつけたつもりですが、ただシカゴの辺のアントリム、これは意外と古い。バーネットというテキサスのここと同じ時期にやってましたけど、出が良くなかった。バーネットは立派にパイオニアの座についた。

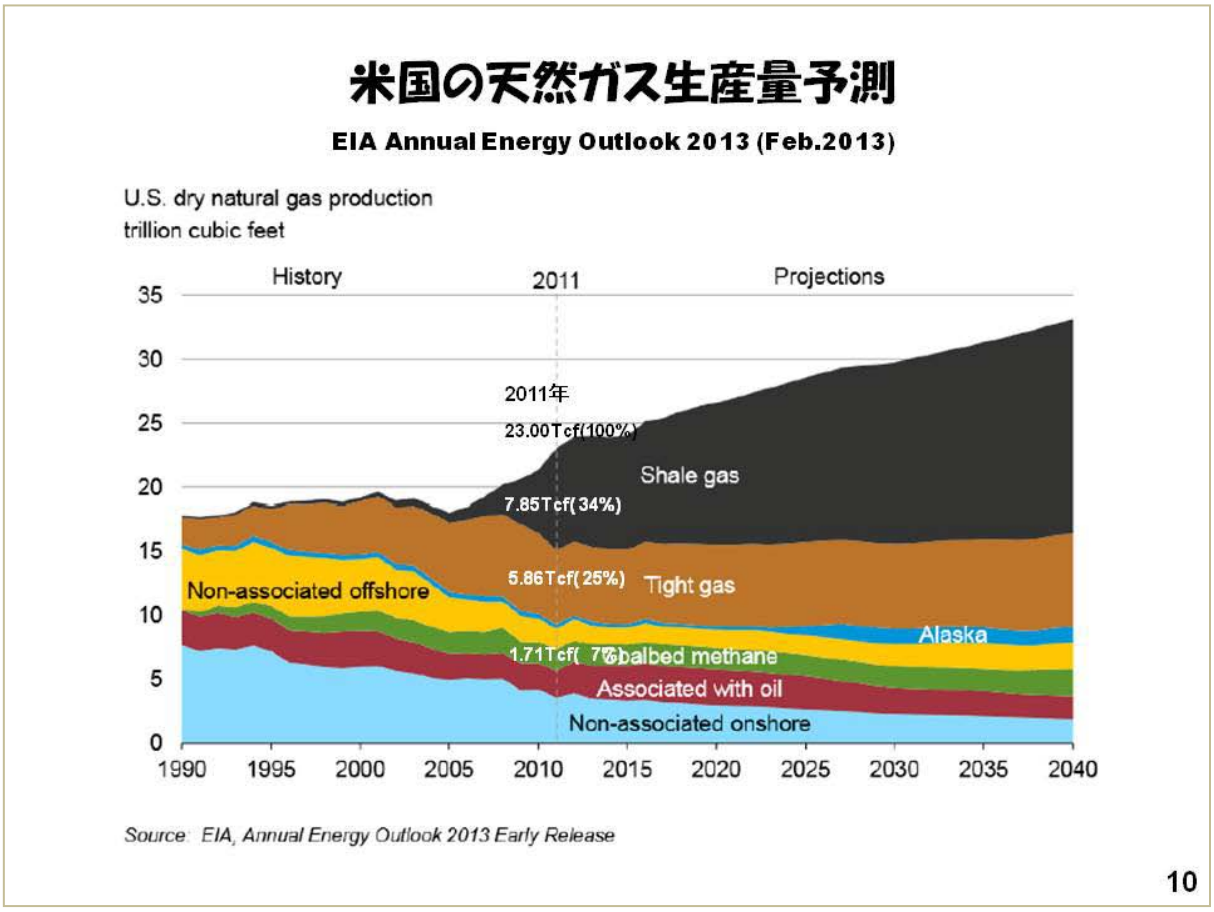
まさにもうアメリカはこれで酔っています。そして残念だけどガスを出しすぎてしまった。ですから値段がドーンと落ちる。在庫過剰ですから。それでしょうがないからどうしようというような話が、今話題のシェールガス革命という形で、あらゆる産業が「安いガスを使いましょう」ということになりました。それなら、ということで今まで使っていた発電の石炭をガスに替えてしまいます。それがもうほんとに、2 年、数年前から起こっています。

それでその石炭がどこへ行くのかといいますと、もちろん日本にも少し来ます。貨車でカリフォルニアへ行く道がありますからね。ほとんどはヨーロッパです。だからヨーロッパへ行って、ドイツから何からみんな石炭です。安いですから。それがロシアを脅かして、ロシアのガスの値段をドーンと落とすという話になってきました。そしてロシアは「ヨーロッパはあぶないな」ということで日本と手を組もうかというようなことにもなってきています。来年の 6 月にはモスクワで世界石油会議があります。私も行くつもりです。



図－2　米国の主要シェールガス・オイル開発地域
Fig. -2　Main Shale Gas and Oil Plays in the United State

9



アメリカは、やはりいまだに将来2040年までシェールガスがバンバン出ると見込んでいます（図１０）。2020年がここですから、これが次の東京オリンピック。2040年はもう見えない先です。それでもこれだけ出るといいますのは、私は「よく言える」と思います。何が根拠でこんな計算ができるのかということでございます。ですからよく見ておかないといけません。目が離せないというのはそういう意味もあります。

われわれが在来型ガスで埋蔵量と言っているのは可採埋蔵量です。リザーブス（reserves）と英語で言います。これは確認されている埋蔵量で、銀行屋はフルにお金を貸します。これだけ財産があるということです。ところがテクニカリー・リカバラブル・リソーシズ（technically recoverable resources）という量もあります。このリソーシズという言葉は、これは資源量。リザーブスは埋蔵量。この違いは何でしょうかというと、資源というのは地下にあるものを地上に持ってきたらどのくらいの量かなぐらいのもの。つまり原始的な原始埋蔵量ってよくいいます。これは原始にあったすべてですから、そこに回収率を掛けることによって回収量が出ます。ですからテクニカリー・リカバラブルになっていますから、取り出せるということをかろうじて言ってるんです。いずれにせよはっきりしない数字です。はっきりしていることは、地質屋さんが計算する世界です。

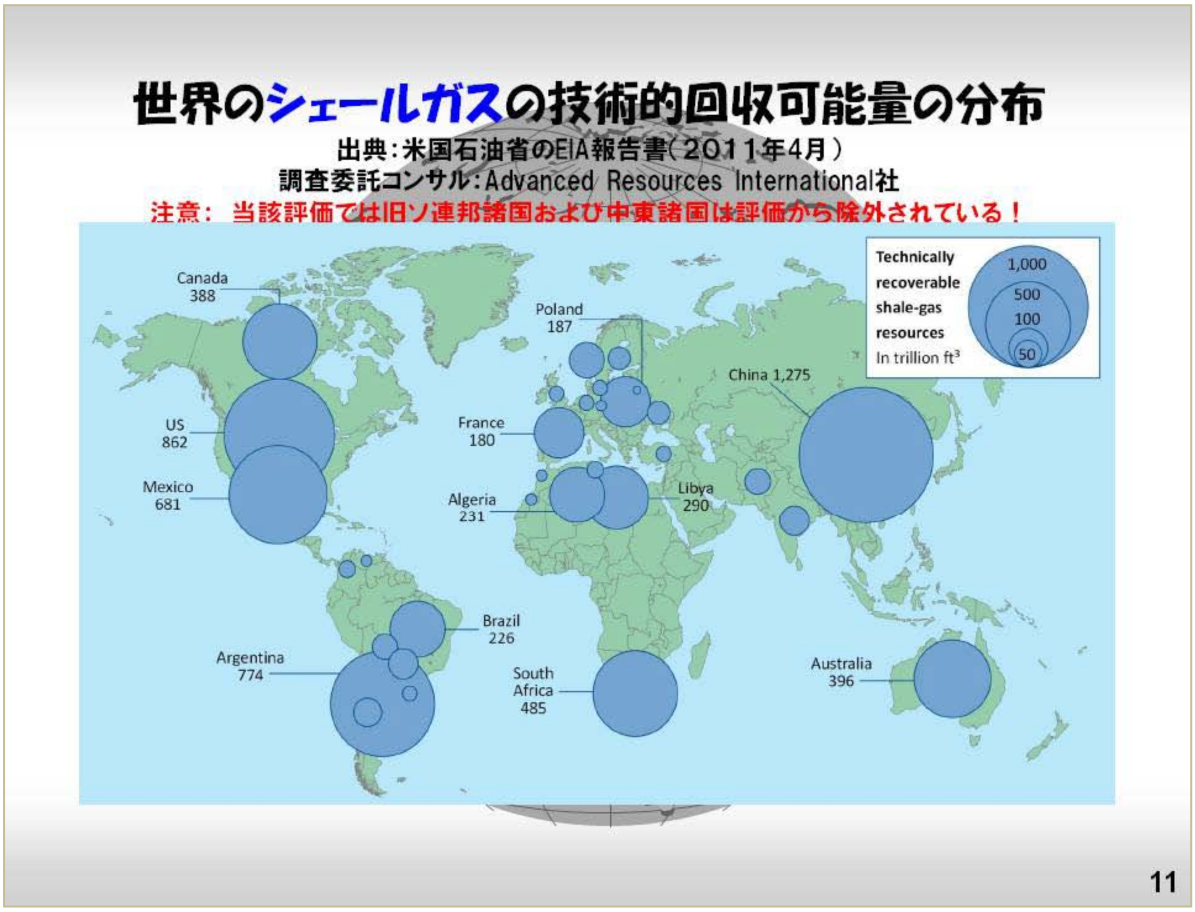
私は地質屋ではございません。リザバー・エンジニアです。コンピューターのシミュレーションモデルでリザバー・シミュレーションをやります。現在アメリカ全体で確認埋蔵量で 18 年分だけ見つかったという段階です。それから面白いのは、バーネットを見ますと、バーネットはテクニカリー・リカバリーのうちの確認埋蔵量というのは72%にもなっている。つまりどういうことか。バーネットは井戸を掘り尽くした。たくさん掘り尽くしたので72%の確認度が出たということで、バーネットの量というのは非常に確実な量です。ほかのところはまだ十分な井戸を掘っていません。新参者ですから。そういう違いがあるということでございます。

2010年では、シェールガス生産量は5.4。単位はTcfです。1年間のTcfです。Tcfというのは、トリリオンですから、兆キュービックフィート（trillion cubic feet）、そう言っても何のことかお分かりにならないと思います。2010年の日本の天然ガスの消費量、これ全部は、約1000億立米（立法メートル）でございます。これは覚えておいた

ほうがいいです。今 1000 億ちょっと超えてきました。1000 億立米が、このアメリカの単位にしますと、3.53Tcf、1 年間にです。だから日本で 1 年間全部消費している天然ガスは 3.53Tcf なんですね。それの何倍ぐらいあるかなというようなものを見ると、もうシェールガスだけで 2010 年の生産量は 5.33 ですから、相当な量になりますね。そういうように大きさを見てください。

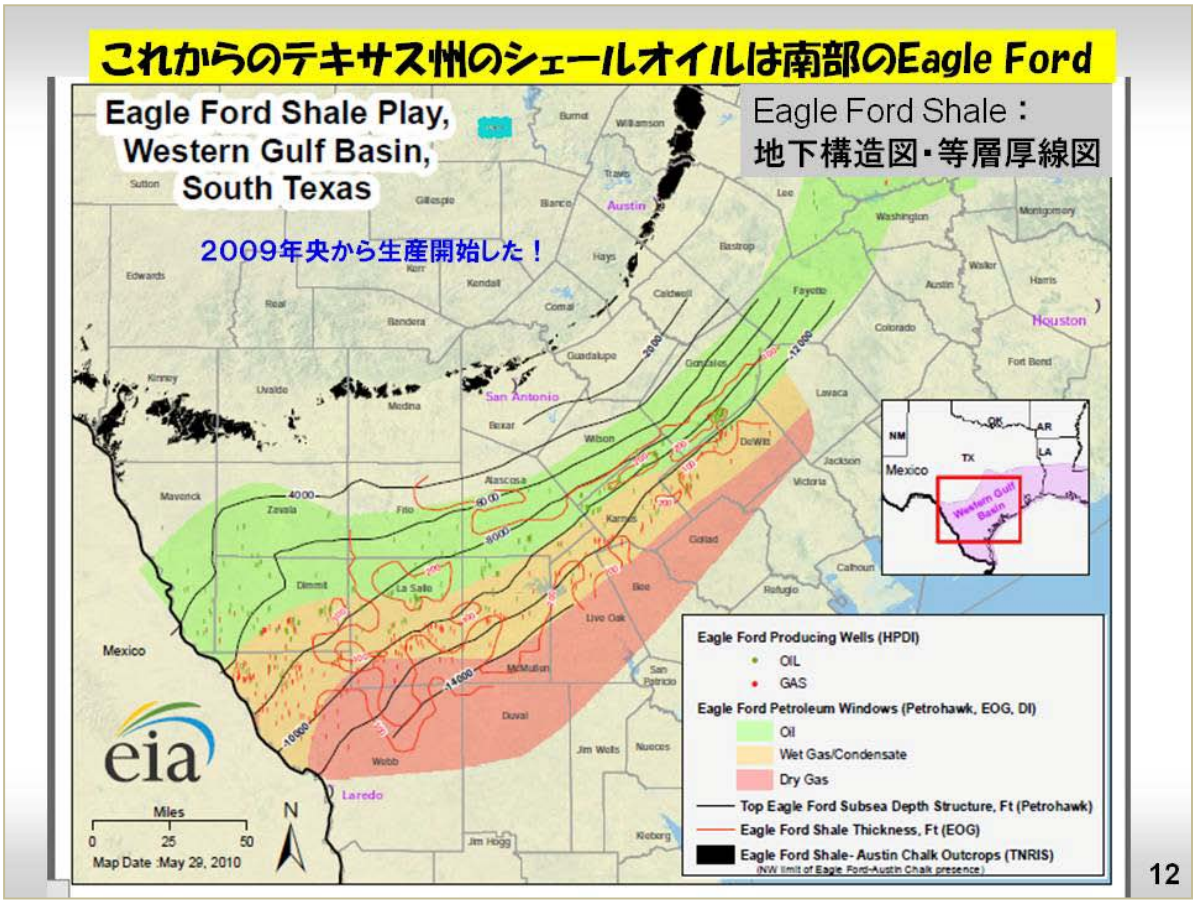
こにあるオーストラリアですね。五強はこんなところです。ヨーロッパにはあるはずはありません。トータルな、原始埋蔵量的な、量的な比較でもヨーロッパはそんなあるはずはなくて、非常に厳しいです。

バーネットには、井戸はめちゃくちゃな数ございまして、全部で 16,500 本です。水平掘りの井戸はこのうち 11500 本で 2000 年以降に水平掘りを始めました。バーネットの水平掘り井戸（水平坑



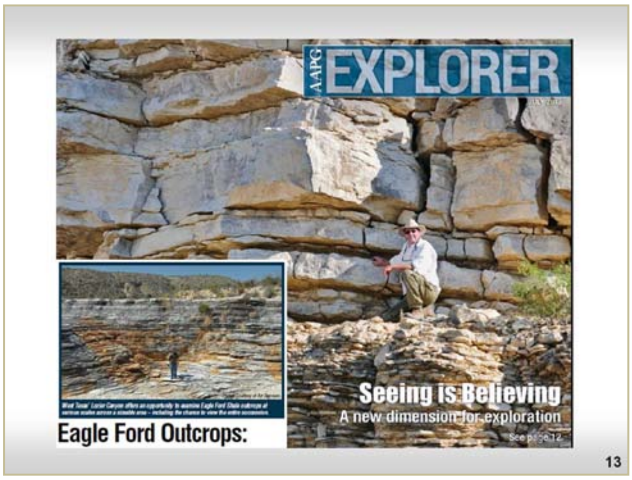
あと埋蔵量の世界分布です（図１１）。世界の分布で私が言いたいのは、アメリカよりも中国が多い。これはアメリカの石油省が出して、先ほど紹介しました ARI 社、それが世界中で調べた報告書なんですが、一番は中国だといってます。これはテクニカリー・リカバラブルな量です。ほんとのことを書くなら、中国の地質学者が、自分のところはこれだけだよと言いながら議論しあって、「よし、それは認知しよう」というようなお話なんです。今のところ世界の認識は中国が原始埋蔵量はやはり一番多いことになっています。そして 2 番に US がきて、3 番目になんとアルゼンチン。アルゼンチンが 774 となっています。それからメキシコ。その次にはサウスアフリカと、それからこ

井(すいへいこうせい))は、短いところで 1 キロ、長いところで 3 キロという。すごいですよね。山手線で 3 キロというと何駅あります？　サーフェスからずっと掘って、それから水平になって 1 キロぐらいやって、トータルには 4000 メーターとかそういうオーダーの井戸になりますから、お値段は高いに決まっています。したがって 1 つの位置から 10 坑、20 坑というように掘るんです。となるとコストは安くなります。ある期間に全部を掘る。それですべてコンピューターでマネジメントしています、どういうふうにやったら安いか、資機材の交換、まともに上のだけ全部掘っちゃうとか、いろんなそういうストラテジーがございまして、戦略的にはアメリカはレベルが高いです。



それからイーグルフォードのお話がこれなんですけれども（図１２）。イーグルフォードは今、テキサスで非常にお金が続々出てきてる、油がたくさん出てきているシェールゾーンです。突然見せても分かりづらいんですが、テキサス州ってこうです。真ん中にオースティンがあって、南の方にサン・アントニオというのがございます。イーグルフォードはサン・アントニオとオースティン地域の南です。ここに書いてあるのは地下の深さです。こちらの海の方へ行くと、イーグルフォード・シェールがどんどん深くなっていきます。そしてこちらの方に行くと浅くなってきます。細かく見るとここで１万フィート、3000 メーター、ここね。これが 14000 フィート。そんな形で、ここになると 6000 フィートぐらいかな。

この黒いのは何かというご質問があると思うんですけど、これが実は露頭です。アウトクロップ。地表に出てるんです。すごいことでしょ。ですから地表に何があるのというと、後でお見せしますけれども、要するに深いところに行きますと、この深いところはガスなんです。それからだんだん浅くなると油に変わるんです。それで油もなくなってそして露頭です。



それでこれがまたビックリした。これが最近のAAPG（American Association of Petroleum Geologists）といって、アメリカの地質学会の『エクスプローラー』という雑誌です（図１３）。そしてそこのところに「イーグルフォード、アウトクロップというのはこういうものだ」というんです。この男がここに座っているこの厚み、こんなシェールもあるんです。だけどこれはサーフェスに出ているところですから、こんなところには何もあ

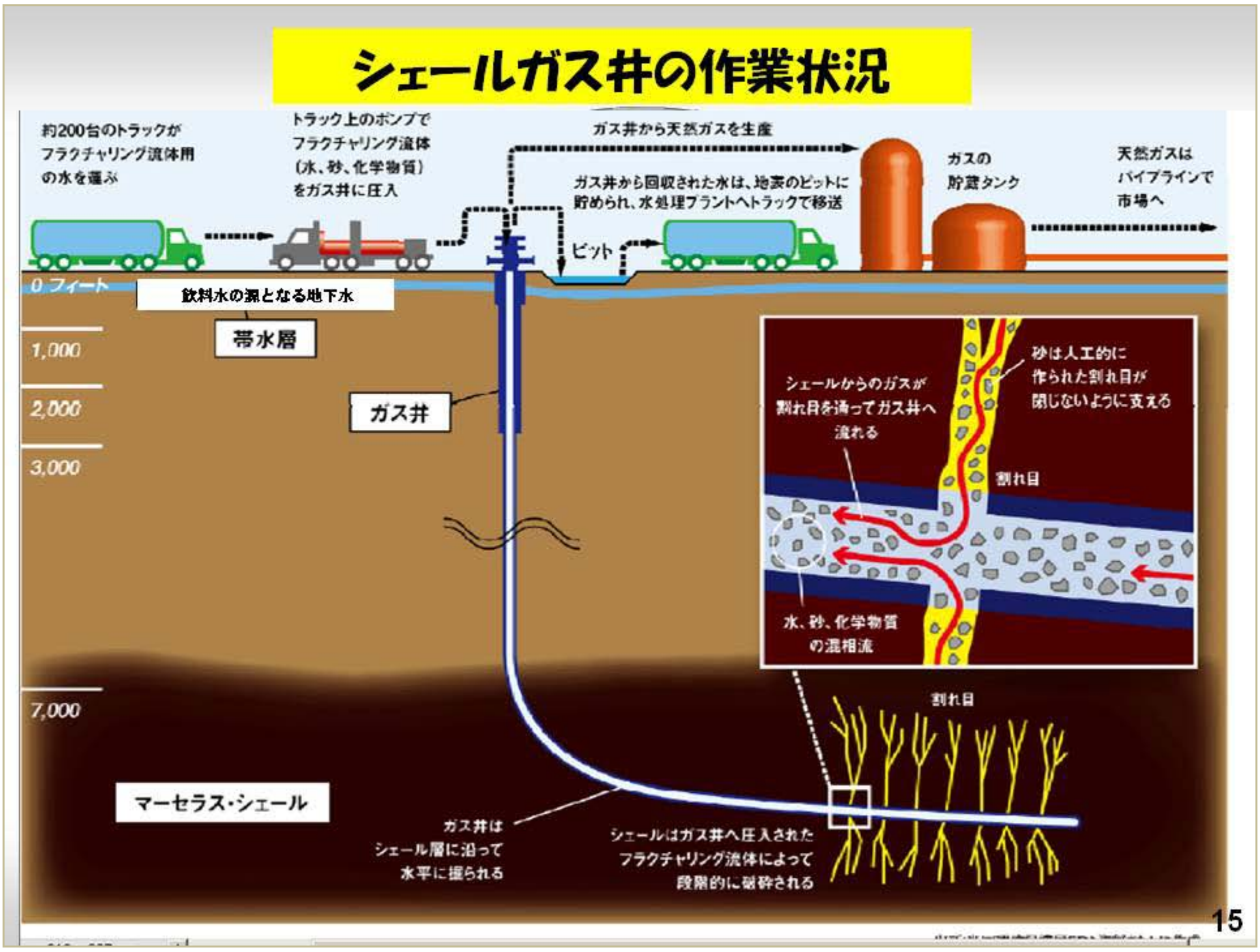
りません。ドライです。ただこういうものが地下にあるんです。うまく当たったら大変なものですね。こんな割れ目でしょ。地下なんていったらしっかり硬いですよ、厚みがあって岩圧がかかっています。そういうようなものでアメリカ大陸は莫大なものです。したがって私たちは、米国からLNG がもうすぐ来るだろうなんて待っているのではなくて、私たちのほうから手をさしのべて、「環境をきれいにするのは私たちの仕事」ということで仲良くする。こういうような戦略を考えておくのがよいかもしれません。

バッケンに掘った井戸ではものすごい油が出て、アメリカの油の生産量はサウジに近くなると言ってますでしょ。今 10 月で 760 万バレル。ほんとに増えました。昔はせいぜい 500 万です。500 万バレルが 760 万で記録です。ロシアは調子が悪いですから、アメリカに抜かれるんじゃないかというぐらいです。サウジアラビアは 1000 万出ると言っていますがそんなはずはありません。サウジアラビアは自分が使っている油がなんと 300 万バレル近くになってきたんです。250 万がこのあいだから 70 万ほど増えてきてます。そうしますと1000 万出てると豪語しても、引く 250 万というと750 万しか外に出せないんです。

これからはイランでもどこでもみんなそうです。どんどん自国の量が増えますから、外に出す油の量は非常に少なくなりまして。したがって値段を上げます。特に日本のレートを指定して、ご指名付きなんです。そういうのをジャパンプレミアムって言うんです。いろいろ石油の世界ってそういう荒っぽいこともあったりしますが、しかしぜひ皆さんで、われわれ日本人でできることは何のかを探し求めたい、というのが今日の主題なんですが。

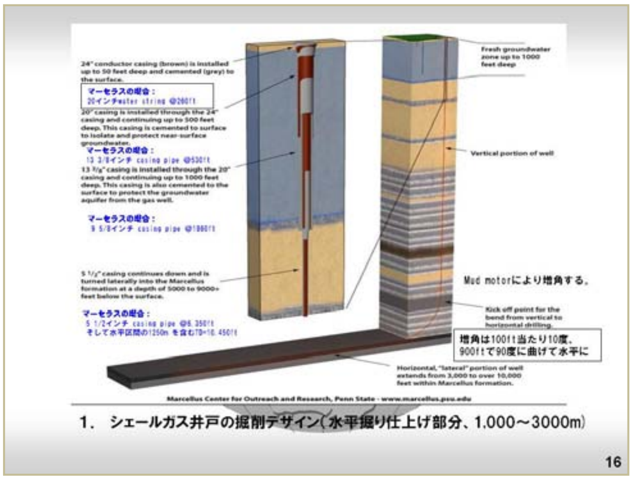
３．シェールガス開発と環境

それでは技術の話でございます。技術はここにあるように、1、2、3 とこの 3 点セットで実現できています（図１４)。ひとつはいわゆる水平坑井仕上げです。それからフラクチャリング。これも多段式というか、多段階にする水圧破砕。フラッキングとかフラクチャリングという名前でよばれま



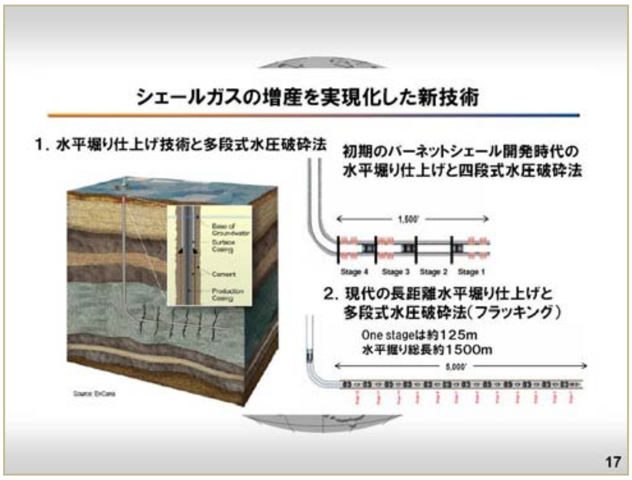
す。それからもう一つこれすごい技術が、コンピューターを駆使したサイズミック（地震性の）モニタリング、つまり井戸、坑井元の地震探査です。それをこの場合は「マイクロサイズミックモニタリング」といっています。井戸と井戸の間で、地震波でもって岩がどう変わったか、そうするとフラクチャリングをかけて壊れたかどうかが井戸の上で分かるんです。どこにどれだけできたかは精密には分かりません。後で図だけ見せますが、その３つであまりしくじらなくなったということです（図１５）。

その姿はこんなような形で縦に掘ります（図１６）。1600 メーターぐらいまで掘ったら、そこから水平掘りに変えていきます。その増角は 100 フィートで 10 度、これはすごいものです。私も中東にいたとき水平掘りをやりました。80 年代の終わりでした。その頃はもう大変です。少しずつ曲げて「曲げた！」といったら、100 メーターほど水平に行っただけでもう埋まってしまう感じでした。もうぐしゃぐしゃになってしまいました。世界で水平掘りという技術をどんどん使い始めたのは 1986 年です。それは北海油田開発とか、ああいう海の中行くのに水平掘りでやりたいということでインパクトがあったんですね。ただ今の水平掘りは、100 フィート（約 30 メーター）で 10 度曲げます。30 メーター掛ける 9 の 270 メーターぐらいで、90 度曲げてしまいます。すぐ直角に曲げているような感じですね。



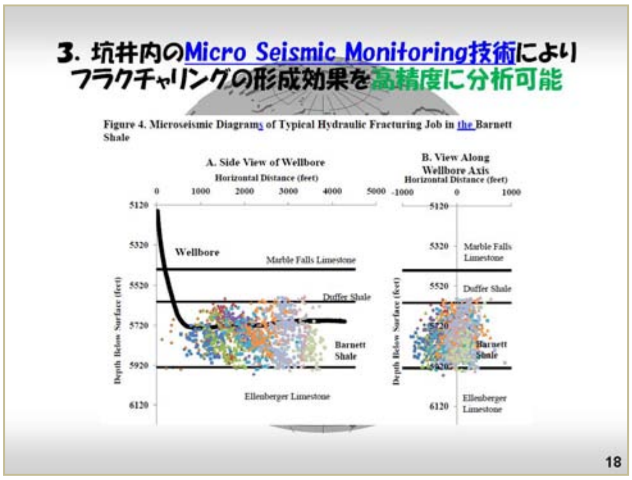
いろいろな事例があって、どういう記録つくったかとかあります。あちこちでそうやって水平に掘ります。そしてその水平が、ここにあるように 1000 メーターから 3000 メーター、これがいろんな場所によってもっと長くしろ、と。すごいです

よ。1キロから3キロです。それで、「これほんとに誰か見てきたの？」っていう人がいますが、見てこなくても今は掘っている位置が GPS でガッチリ分かります。



さらに技術の進歩がありました。バーネットの初期の時代には、水圧破砕はせいぜい4段階しかできませんでした。今は多段式という技術で、ワンステージ125メーターで水平坑が1500メーターということです（図１７）。この間にちょっと間を入れますから、この場合には10ステージぐらいですか。ところが今は一番やったもので20です。例えばバッケンなんかは20ぐらいです。なぜそれだけやるの？というと、油が出れば儲かるからです。20やってもコンペンセイトします。ガス井で20はやりません。ガスは安いですから。アンコンベンショナルな資源の開発はそういうファイナンシングがしっかりしているんです。いいかげんな在来型は「チープオイル」あるいは「イージーオイル」とよばれます。イージーオイルとチープオイル、それをコンベンショナルといっています。アンコンベンショナルになりますと非常に難しいということです。ですから経済とかそういう計算をしつつ、コンピューターを駆使してやらなきゃならない、頭のいいやつが勝ちだという世界になりつつあるんです。そうすると日本がちょっと手伝えるかなとも思います。

それからこれがマイクロサイズミックモニタリングの絵で、シュルンベルジェ社がこれを一手に自分の特技としてやっています（図１８）。この会社はいろんな会社を M&A しまして、自分の配下にしてこういうこともできるようになりました。こういうようなイメージが出てくるそうです。そしてフラクチャリングが進んでなければ、井戸を



全部撤廃する前に「もう一回やれ」とくるんです。うまくいってなければもう一回フラクチャリングをやるんです。たぶん点々がうまくいっている事例を見せているんだと思うんですが、うまくいっていればこの井戸はコンプリーション、終わりだということです。こういう方法は昔はありません。やって生産テストしたらほとんど出なかったとか、フラクチャリングかけたわりにはどうしちゃったんだろう、で終わっていたわけです。実は地下の中にはまだあったわけです。モニタリングしてから最後の仕上げというセメンチングから何から全部やり、生産にもっていくことで、安全弁としては効果があったということです。

次に排水、これが一番重要なところだったんですね。いわゆるフラクチャリングというのは、ドリリングパッドというエリアをランドオーナーから借ります。それが4から5エーカーぐらいの大きさだというふうにいわれます。そしてそこにフラクチャリングするときにはポンプ類から何からいろんな道具がずらっと並びまして、ドンドコドンドコやっていきます。大変な仕事です（図１９）。

割れ目を入れると、そのまんまでわっもう一回フローバックといって、ガスを取り出そう、水を取り出そうとすると元へ戻ってしまいます。したがって砂を必ず入れて、砂をそこで支持材としています。これをプロパントといいます（図２０）。ところが砂を水に溶かして入れるだけじゃ砂は奥まで行きません。したがってジェルといって、非常に粘性の低い良いジェルなんですけど、それが石油からつくったものでした。それを混ぜて、そして遠くまで行かせるということなんです。

これがジェル。昔はこういうようなものでした。今2011年はフラクチャリングはハリバートンという会社が主になってやっています。たくさんの会社がありまして、ハリバートン社が総元締めでやっております。ハリバートン社は、従来のジェルに替わるものとして、これはケミストリーの人はご存知かと思いますが、有機エステル、これは食料品、食品の原料に使うケミカルのようです。有機エステルとか、それから多糖ポリマーですね。こういうものが同じように使えるという、彼らのインベンションがあったそうです。それをやるとフローバックして戻ってきても問題にはなりません。それからこのケミカルというのは、行った先で溶けてなくなってしまう性質もあるということで、非常に効果があって、今こういうふうに39坑で414のクラックステージをやって、非常に効果があったという報告が出ておりました。

フラクチャリング圧入流体の添加物としてはそれぞれの業者が、人体に危害を及ぼすものではなくてほかのものを使う。たとえば有機エステル的なものを使う。こちらに非常に細かく描いてございます。一番体に悪いのは塩酸です。これは猛毒です。この塩酸は、どうしてもカルシウム分が地下の中あちこちにありますから、それを溶かしてやるわけですね。きれいに溶けると炭酸ガスと水に変わります。いろんな意味で塩酸は使うんですが、これは鉄管を溶かしてしまうことにもなります。ですから塩酸が効くまでにはリターダーといって、効くのを何時間後に効くようにするという薬品も入れるんです。そういうような複雑なこと

をやります。この世界がハリバートンの得意芸に今なっています。

ところが、日本だってこんなことほんとはできるんです。私は、日本のいろんなところで化学製品会社とお話ししますけれども、こういうのを見せると、「ああ、なんてことない。これはできるよ、うちでも」と、こういうお話になります。その日本のマテリアルを今アメリカに買い占められているんです。大変な売上げがあります。こういうものをいかに調合して、よりいいもの、環境にやさしいものをやるかということを徹底的に戦略を組んで日米でやろうじゃないかということは、たぶん来年の課題です。すぐできると思いますよ。そんな次々に新しいもの、彼らだけではできません。日本のケミストリー、石油・化学業界はそれなりの歴史があります。参加者の中にケミストリーの専門家がおられると思いますが、よく分かると思いますので、ぜひこんなところのサポートを日本からしてほしいなというふうに思います。

それから次はフローバックする水です。早めにクリーンにしてもう一回使わないと、ペンシルバニアでもどこでも水がなくなってきているんです。面白いのは、カナダへ行くと、カナダというのは人が少ないですから、カナダのオペレーターはみんな水は心配ないと言っています。ところがアメリカの中ではもう水は大変です、とくに工業用水です。ペンシルバニアの場合、水の中で大変マーセラスが使う水の量が増えてきたぞとウォーニングしてるんです。要するに国の、シティのハンドルしている水というのは、サーモパワー、発電に使う水蒸気に使います。68%使うそうですよ。それからパブリック・ウォーター・サプライに15%使うとか、いろんなところ、ホスピタル、インダストリアル、ライフストック、いろいろあります。

それでそれを借りて、というかお金を出して使っていたんですが、あまりに量が増えているんです。本数が多くなってきた。1000本。今は2000本です。このように毎年掘っていられたら水は不足してきます。したがって水はフローバックした水を早く汚いものをどかして、そしてクリーンにしてという。これをウォーター・クリーン・マネジメントという感じで、今非常に議論してございます。早くに元に戻さないとだめです。それにはフィルターが必要、何が必要、いろんなことがあると思うんですけども。そのへん日本の水処理業界さんはお手伝いできる世界ではないのか、という議論はちょっとしています。水処理業界は小さい会社が多くやっています。水処理はそういうところを使ってやっているのです。ですから大きな会社が腰を上げればそれなりにアメリカの入口に入れるのかなと思います。

それから困るのはこういうようなスラッジです。スラッジがものすごく出てくる。いわゆるフラクチャをかけますから、それなりの岩石の粉、粉類や石が出てきます。砂も出てきます。そしてだいたいスラッジが、ここにあるように排水3785キロリットルに数トンぐらい出てくる。単位としては、これはアメリカの単位なのですが、やってみると1キロリットルの水から0.3から0.8キログラム、こういう山となってくるわけです。こういうようなウォータートリートメントというものも非常に、水のリユースに対して大切になってきています。ということでそれなりに彼らは改良しているようでございますが、もう足りなくなってこのへんがネックじゃないかと思われます。

それから、水も足りませんが砂もないんですね。非常にファインな砂でなければだめです。その砂は、前のスライドにメッシュサイズを書いておきました。プロパントというのがありまして、100メッシュ、30～50メッシュサイズの砂です。それが各フラックごとに100トンずつ使用するぐらい、そのぐらいの砂なんです。この砂はみんなタンクローリーといいますかトラックに入れて現場に持って来ます。ですから大変な数のトラックが、前の絵であったと思いますが、フラクチャリングの絵で流体のための水を運ぶトラックが約200台。それからこういうふうに砂とか化学溶剤、そういうものも運ぶというようなものが来ます。そのエリアの道づくりから、もう大変な一つのシビルエンジニアリングになってきたというようなことでございます。それからあと水のプール場をこうやって造って、それ相当の量をまずは溜めておいて、そしてこの水自身もクリーンにしてというようなこともいわれております。

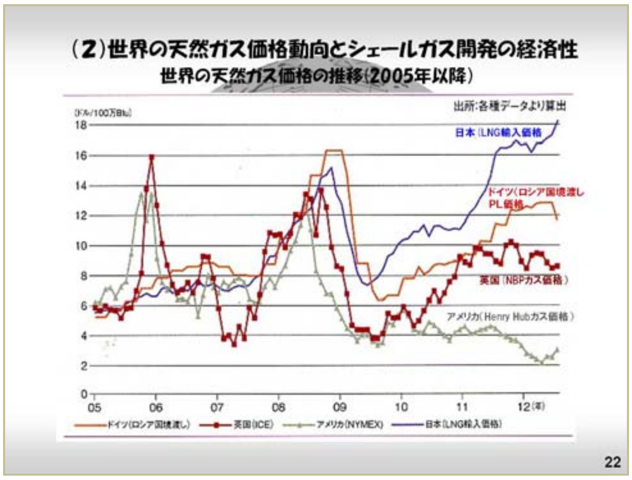
あとは人的なことで、CSRのアライアンスをつくって、地域住民とよく連携してやっているというのも事実でした。それから企業自身が、アメリカでは独立系、中小石油開発会社なんですが、そ

ういう会社が集まってアメリカン・ナチュラルガス・アライアンス（America's Natural Gas Alliance）というのをつくって、互いに情報交換をやったり、クレームに対してどう対応するかとか、それからパブリケーション、PR、EPR（Energy Profit Ratio）に対しての交渉とか、報告、連絡、相談とか、こういうたぐいのことに関しては非常に良い機能を果たしています。

図−２　シェールガス開発優良会社の情報交換企業同盟
（2011年に EOG Resourcesが加わり30社となる。）

2011 年に私が行ったときには 30 社でした。ここにロゴがございます。私が訪ねたところがこのレンジ・リソーシズという、このロゴですね（図２１）。有名なところがエンカナ、チェサピーク。有名ですよね。アパッチ、アナダルコ。デーヴォンというこの会社が、ジョージ・ミッチェルさんを買収して一緒にやったという有名な会社です。いずれにせよここにはメジャーはひとつも入ってない。メジャーも「これは大変だ」というんで、最近は仲間に入れてくれというんで、かなり大規模の資本が投下されるようになりつつあるというふうにいわれております。

４．米国シェールガス開発の光と陰

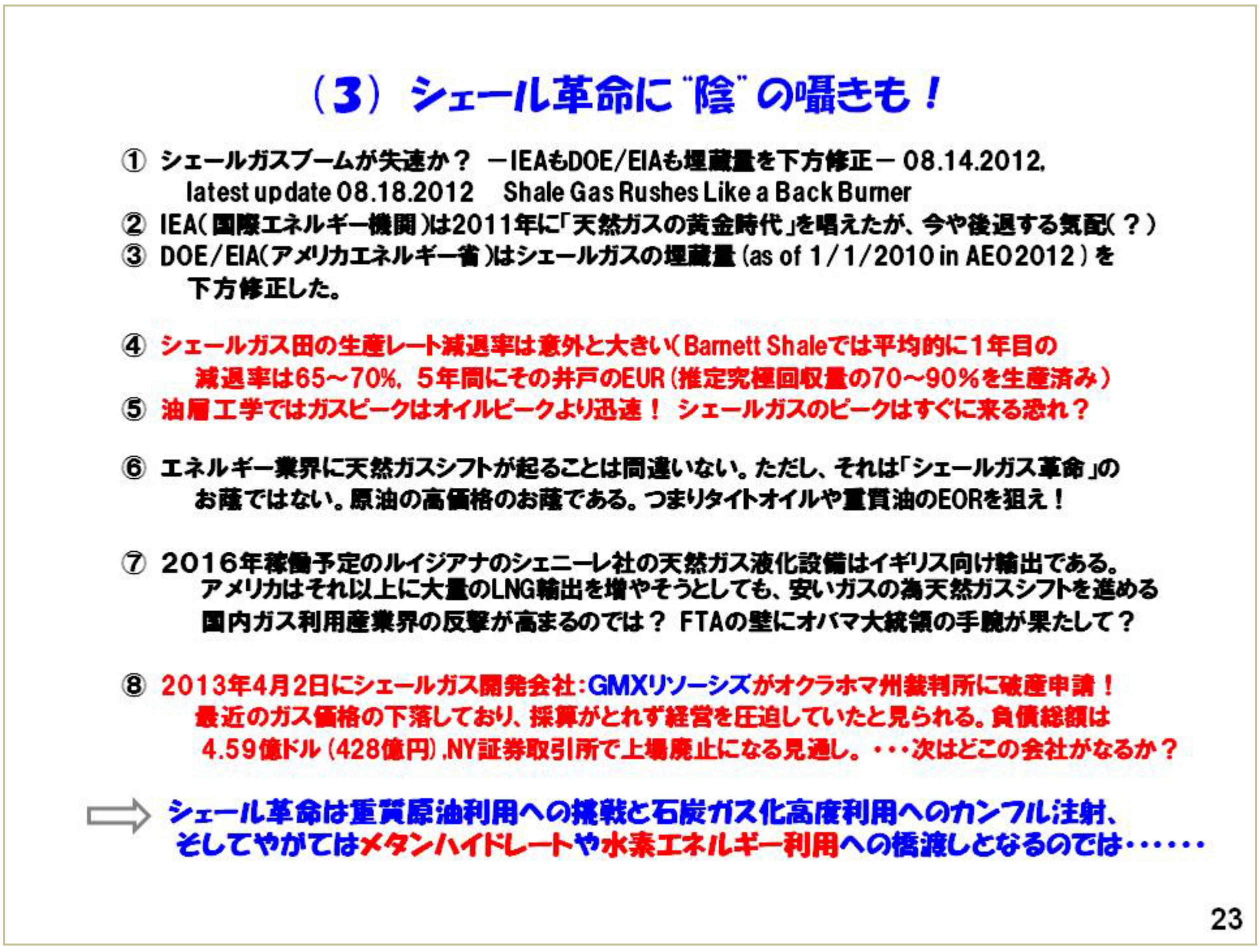


今シェールガスが余る状況になって、かつ値段は安い。そうなるとそれを LNG にして外に売ろうということになります（図２２)。特に日本の LNG は高い、またヨーロッパは次に高いということですね。これはドイツ。ロシアからの輸入、パイプラインの値段ですね。英国がこれです。シェールガスの輸出が大変真剣に考えられるわけです。

特にガスの値段は 3 ドルとよくいわれますが、ご覧のように 2008 年の例のショックですね、リーマンショックのときには 12 ドルぐらいしたのがずっと下がって、そのあと 6 ドルまで上がりました。それからドーンと下がって、どうしても 3 ドルという状況です。今現在も 3 ドルから 4 ドル程度でしょ。そんなになってしまいました。それじゃあ恒常的に安いガスが買えるんだなということで、アメリカではガスシフトというのが起こったということです。そのようなものが、全体的に見るといわゆる「シェールガス革命」という言葉でいえるのかもしれない。

さらにガスだけではなくて今度は油だという時代に移っています。なぜなら油の値段はいまだ 100 ドル近辺ということで、自国で新しく油が出るとなると、出てきた油を米国の業者が高値でエンジョイできるわけです。アメリカのシェールガスの供給コストはこれでして、ウッドマッケンジーのデータで古くて一般論的なものです。ただ参考にはなります。マーセラスみたいないいところでも 3 ドル。それからひどいところだと 6 ドル。つまりこのくらいの間は供給コストだろうと。そうすると値段はそれより以上いただかなければビジネスは成り立たないわけで。ですからマーセラスだったら 4 ドルぐらいで十分利益が出るわけですけれども、ほかのところは厳しい。厳しいところはガスで商売しないで油で商売ということになります。

マーセラスでは確かに油でもって大儲けしています。簡単に言いますと、ヘンリーハブ（米国天然ガスの指標価格）であのとき 4 ドルぐらいでございました。ガスだけだと 4 ドルしか売上げがありません。そこで出てきた油も売っていました。油も WTI（West Texas Intermediate：西テキサス地方で産出される硫黄分が少なくガソリンを多く取り出せる高品質の原油）の 5 割か 6 割ぐらいしか値付けできないんです。やっぱりここから出



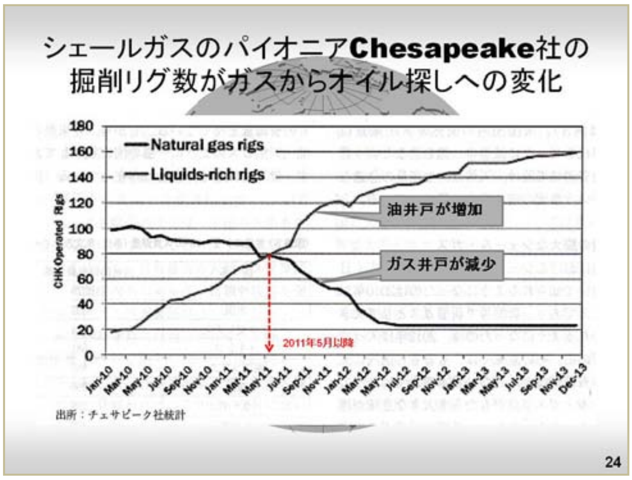
てきた油は安いんですね。それでも WTI 掛ける 0.6、0.5、そういうようなもので、ここにありますけど、それで 4 ドルのものが 6.3～6.4 ドルぐらいで売れる。

会場：どう質が悪いんですか、WTI に比べて。

藤田さん：WTI というのはもちろんクルードオイルですから、もっと重いものが十分入っています。こっちのほうはコンデンセートといいまして、ナフサ的です。それだけで商売するならナフサの値段がつくんですが、ミックス、ブレンドして一緒にして買ってもらうということもあるので安いんじゃないかと思います。

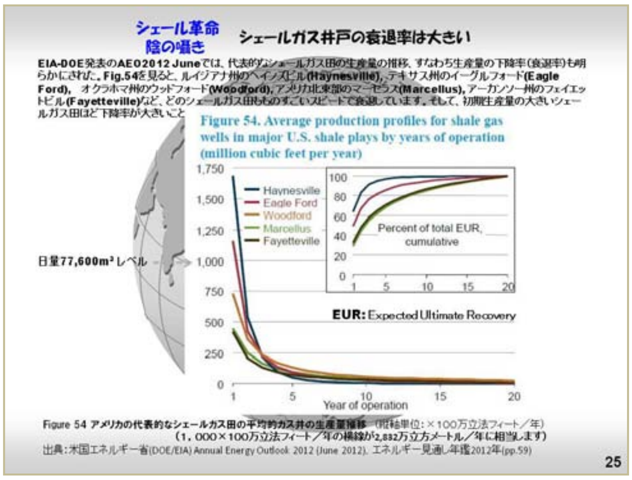
会場：硫黄は？

藤田さん：硫黄は全くありません。そのへんはいい。シェールガスには、オイルには全く硫黄はないんです。これは不思議です。不思議というか、硫黄はたぶん油田へ持って行かれたんです。原油というのは、レジンとかアスファルテンなどがたくさん入っています。そこに硫黄が入っています。ところがこちらのシェールガスのほうは、最後に残ったガスと油の上澄み、それが隠れていた。これは面白いと思います。神様はいいお駄賃をくれたということでございます。



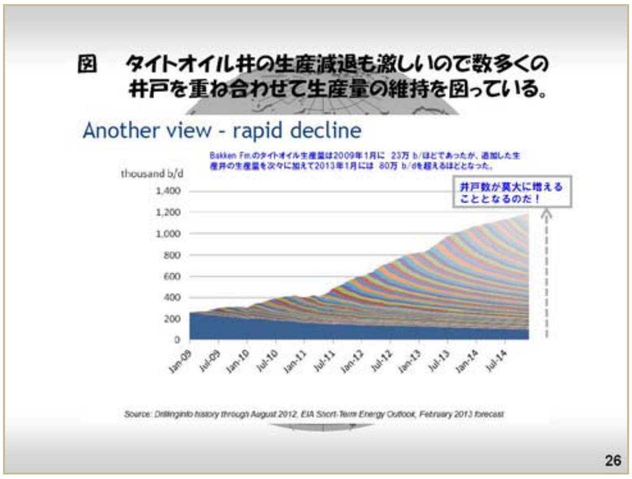
それから、これははっきりチェサピーク社が言ってるように、もうガスを掘ってもしょうがない、油の井戸を掘ろうということで、こういうふうに本数が歴然と逆転しました。（図２４）その逆転した年が 2011 年 5 月ということで。このぐらい後

から油をねらったんです。チェサピークはガス、ドライガスがたくさんあって、非常に厳しくなった会社です。大きい会社だったんです。でも今でもまだまだ大丈夫です。でもなかにはもう倒産した会社もありましたね。ですからいつどうなるか分からないということはあります。



あとどうしても言いたかったのは、もう枚数少ないから許してください。この生産レートがものすごく急激に落ちています（図２５）。これ は DOE が出した、まぎれもない事実データなんです。それぞれのシェールの盆地での生産量が、1 年から 5 年、10 年、15 年でこうなってくるんです。最初に出たレートがこういうふうに 1 年たつともう 5 割から 6 割。すごい勢いで減少します。それぞれの場合でやや違いますが、落ちて 5 年でもうほとんど生産レートはなくなってしまうぐらいというのが、これが非在来型ガスの本質というふうに私は言いたいんです。というのは、水平掘りをして、フラクチャリングして無理やり大きなレートで出している。それがいつまでも出るんだったら在来型です。元々自然に出たはずです。そうじゃなくて、今こういう技術でもってとにかく出している。そしてこの井戸が出なくなったら隣の井戸。つまり 10 本ぐらい掘ってるんですね。そして隣の井戸で埋め合わせ、埋め合わせ、そういうことをしながらトータル的に、あるレート、販売レートを維持していこうというストラテジーでやってるんです。ですから井戸数は相当数が必要なんです。いっぺんでイチニのサンで全部の井戸から出しません。少しずつ抱き合わせてやってレートを維持しています。

これはバッケンの例でございます（図２６）。非在来型の油のほうです。それぞれの井戸をずっと



ここに重ね合わせていって、そしてバッケンは 80 万バレル。2014 年まで予測しています。ここですね、今年 2013 年が 80 万バレル、そのぐらいはこういうふうな井戸を重ね合わせて出すというような形の絵でございます。ですからこの井戸全部をこれからどんどんあちこちで掘っていくというと、ものすごい仕事量になりますし、確かに仕事はできますが、果たして環境破壊的なものが大丈夫かというのがこれからの闘いになると思います。

したがってこういう人たちが、これはペンシルバニアで有名な人らしいです（図２７）。「フラック反対！」に私は自信を持って「頑張ってくれよ」と言いたいです。インターネットでこれ見つけると、アクティビティが分かります、有名ですからね 「Gas Drilling Protest！」といって「ガス井を掘るのは反対！」と言っています。要は業者と、それから地域の人と、それからあと政府のニードですね。環境派のこういう人たちと一緒に社会受容性をもって進めるということをあえてアメリカはやっています。ただどこまでそれが通じるかということです。

いまお見せしたように、井戸の寿命はだいたい

1つ5年ぐらいです。5年で1つの井戸を取り尽くしてしまいます。それをたくさん並べたとしても、そんな30年、40年……。一方で在来型の石油はいつまでたっても取れています。非在来型は、新しいところを掘って合わせていくのが今までの5年間です。これからの5年間はどうなるか。これも見たいところです。

　時間になってしまいまして、まことに申し訳ございません。これは私たちが出した本でございますが、いろいろこういう遊び的な本もありますけれども、ぜひお時間があったらお読みになっていただければと思います。大変ありがとうございました。ご静聴いただきまして、ありがとうございました。（拍手）

【質疑応答】
会場：一度ハリバートンの方と話しているときに、ブレーカーで味噌を使っているとおっしゃってたんですけど。

司会：味噌？

会場：日本の味噌です。ほんとにそんなことやってるのかなとちょっと疑問に思ったんですけど。

藤田さん：食品絡みですか。何に味噌が一番いいのかというのは私は知りません。何の効果でやってるんでしょうね。昔、例えば泥水、掘ってるときの泥水、それが、ある地殻で逃れてなくなってしまう。逃れてしまうんですね。それは「逸水」というんです。それを止めなければいけない。泥水はつくるのにものすごくお金がかかるんです。ベントナイトという、いわば陶器をつくるときの高級粘土です。それを水に溶かしてそしてそれを回さない限り、地下の掘った岩クズは上に上がってこないんです。泥水にひっくるめて上がってくる。その泥水が逸水層に行くとドーンとなくなってしまう。それで困るときに、われわれはもちろんケミカルなものを使うんですが、そうじゃなくて昔はクルミまたは麦わら、それを使うと一番効果がある。有機的なものというのは、意外と岩石には非常になれているということで、麦わらとかモミとかそういうのを必ず用意していました。一番効きます。で、お味噌なんていうのも、初めて聞いたから面白いなとは思いますが、そういう食料品的なものは考え直したほうがいいなと思います。

以上