

<特別寄稿>

米国ノースダコタ州のシェールオイル The Bakken Boom

～An Introduction to North Dakota's Shale Oil*1～

はじめに

米国では国内の原油生産量が減少しつつあるなか、ノースダコタ州は5年前の約3倍の生産量を実現しており、今後も増加が見込まれている。ノースダコタ州の生産原油は、主にBakkenプレイから生産される「シェールオイル」で、石油事業者は、Bakkenプレイ以外にも米国内に存在するシェールオイルの開発に大きな期待を寄せている。こうした米国内の動きは、シェールガス革命と同様に、水平坑掘削技術や水圧破碎法などの技術革新がシェールオイルという新たな埋蔵量を生み出しているとも見ることができる。

今般JOGMECワシントン事務所は、在ワシントンの石油産業コンサルタントEPRINC (Energy Policy Research Foundation, Inc.)からノースダコタ州におけるシェールオイルの開発状況に関する特別レポートの寄稿を受けたので、同社の許可を得て翻訳・編集を行い、ここに掲載する。

(ワシントン事務所副所長 本橋貴行)

Introduction

近年生産量の拡大が著しいシェールガスのように、今や、非在来型資源の「シェールオイル」も「在来型」の石油資源となりつつある。米国北東部のマーセラスシェールガス層をはじめ、他の国内シェールガス層で適用されてきた天然ガス採掘技術は、国内に広く分布するシェールオイル層から原油を採掘する技術としての変更・調整が加えられている。こうした採掘技術が適用されているシェールオイル層としては、カリフォルニア州Montereyプレイ、テキサス州Eagle Fordプレイがあり、また最もよく知られている層としては、ノースダコタ州のBakkenプレイが挙げられる。

ノースダコタ州で原油の生産が開始されて60年あまりがたつ*2。しかしBakkenエリアのオイルブームにより同州が米国第4位の石油産出州に浮上し、同時にBakkenエリアが国内有数の陸上産油地域となったのは、わずかこの3年あまりの間のことである。ここで紹介するBakkenプレイとは、ノースダコタ州から東はモンタ

ナ州東部、北はカナダのサスカチュワン州およびマニトバ州に広がるシェールオイル層のことである。近年のBakkenプレイでの成功は、水平坑掘削や水圧破碎法のような新たな油田開発技術の発展に大きく寄与しているが、その一方で、多くの条件・環境がBakkenプレイの成功を実現させてきたことも事実である。こうした条件としては、原油価格の高騰や、石油事業者がアクセスしやすい民間所有地で広く開発がなされてきたこと、そして天然ガス市場における低ガス価格が挙げられる*3。

米国地質調査所(USGS)は、Bakkenプレイにおける技術的に回収可能な石油埋蔵量を43億bblと評価している。一般的に州政府や企業の埋蔵量評価は、しばしば著しく過大になる傾向があり、過去においては、こうした評価は楽観的なものと見なされる場合が多かった。しかし、Bakkenプレイでは、多くの生産井の初期生産レートが2,000b/dを超過しており、こうした初期生産レートの値は、今後も埋蔵量評価が増加する可能性を示唆するも

のである。もはや、Bakken プレイの埋蔵量が10億 bbl かそれ以上であることを認めないわけにはいかないのである。

「シェールガス革命」の初期段階同様、これまでメジャーズはBakkenでは事業を行っていなかった。天然ガスの開発から事業を始めた中小の独立系石油会社がBakkenエリアに移り、Bakken プレイでの石油生産が本格化する前に所有鉱区を広げていったのである。今日、Bakkenの有望なエリアの多くは、既にリース権が付与されている。Bakkenに参入したいと考える新規参入者は、既存のリース権者とのジョイントベンチャーに参加するか、それらリース権者を買収しなければならない。しかし、こうした参入への制約がBakken プレイへの投資意欲を削ぐことはなく、2010年第4四半期だけで、数十億ドルもの資金がBakken プレイにおけるM&Aに費やされている。

35万 b/dに上る2010年のBakken プレイでの原油生産量や、一時よりも値を下げたとはいえ、過去数か月間85ドル/bbl以上の水準を維持するWTI (West Texas Intermediate) 価格によって、ノースダコタ州Bakkenエリアは多くの注目を集めている。しかし、Bakkenエリ

アでは、パイプライン等の原油輸送関連インフラの制約から、主要な製油所地域に生産原油を輸送するコストが高くついてしまう。それ故、Bakken プレイの井戸元での原油販売価格は、大きな値引きがされている。

本稿は、米国国内の原油生産を大きく拡大させる可能性のあるシェールオイルのポテンシャルを論じ、続いてこれら生産原油を米国中部から国内全域に流通させるための意義について述べた、EPRINCによる最初のレポートである。また本稿では、Bakken プレイを今日の成功に至らしめた特徴や、Bakken エリアにおける既存の制約、そして近い将来の石油インフラの開発が、Bakken プレイの開発にどのように影響するかについて評価を行っている。Bakken プレイを内域に含む広大なWilliston Basinからは、Bakken プレイ以外でも原油が生産されている。Bakken プレイ以外での生産量が増加し、Bakken プレイのように「油田」を形づくる可能性があるかどうかは、地質学および開発技術に大きく依存する。また同時に、石油インフラの開発スピードや、事業者による新たなプレイへのアクセスに影響を与える政府の政策も、これを左右する要因となる。

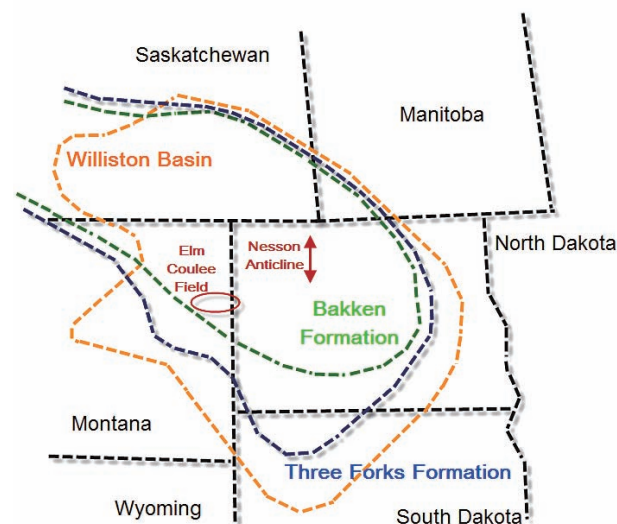
Analysis

The Williston Basin Formation and the Role of Technology

Bakken シェールオイル層とその下部の Three Forks シェールオイル層は、Williston Basinの一部を形成しており、Williston Basinは、カナダ・サスカチュワン州、マニトバ州、米国ノースダコタ州、モンタナ州、サウスダコタ州を取り囲むように賦存している(図1)。

Bakken シェールオイル層の主要生産ゾーンは、主にノースダコタ州西部、サスカチュワン州南部とモンタナ州東部地域にある。Bakken プレイは(恐らくは)世界最大の連続した石油集積層であると考えられている*4。また同プレイはover pressured systemにあると認識されており、これが高い初期生産レートを生む要因の一つと見られている。このシェールオイル層が高圧であることは、原油が石油システムの中に閉じ込められていることを示唆するものである*5。すなわちこのシェールオイル層の原油は、満遍なく地質構造の中にしっかり閉じ込められているということの意味する。

10年前には埋蔵量と生産能力は非常に不明確なものであった。しかし今日、技術的ノウハウの進歩と、高い



出所：EPRINC

図1 Map of Williston Basin with Bakken and Three Forks Formations

米国ノースダコタ州のシェールオイル The Bakken Boom ~An Introduction to North Dakota's Shale Oil~

油価の市場環境が継続することで、Bakkenシェールオイル層の開発は比較的容易であるだけでなく、事業者にとって見込まれる利益も高いものとなっている。

歴史的に見て、シェールオイルの生産は困難で、かつ、生産コストも高い資源とされてきた。それは、シェールオイル層は、孔隙率と浸透率の双方が低いことを特徴とする層準と見なされてきたことによるものである。ノースダコタ州では最近までこれほど大規模で継続的な石油生産への投資はなされてこなかった。なぜなら以前の垂直井による掘削技術と生産手法は、原油の生産層準のほんの一部を開発するに過ぎないものであったからである。垂直井では、well bore (坑井の生産層準に接する部分) をタイトオイル層のほんの一部に触れさせておくだけで、生産層準の本来の生産能力を発揮させることができていなかったわけである。水平坑井の掘削技術^{*6}を用いて石油資源にアクセスするという試みは過去においても行われたが、適切な生産層準を対象とした長い水平坑井の掘削や、Multiple Hydraulic Fracturing Stage (同一の水平坑井上で複数のフラッキング処理を行う技術)^{*7}までには発展しなかった。

1970年代の研究資料は、Williston Basinの埋蔵量は数十億bblに上ると示唆されている。にもかかわらず、生産活動が進捗しなかったのは生産事業者が、当時の技術では経済的に見合う生産を行うことができなかったからだと理解される。更に原油価格は今ほど高くはなく、こうした市場環境も投資を抑制してきた。

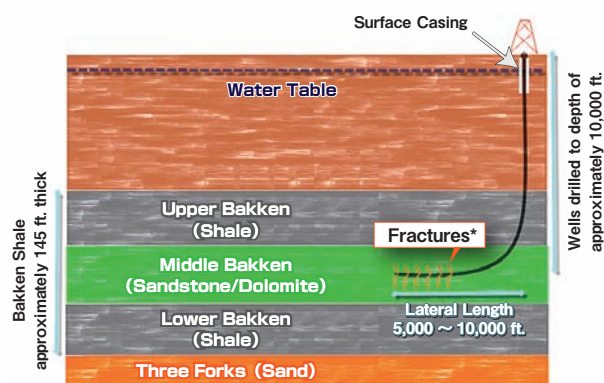
最初の生産井である Clarence Iverson No. 1 は、Amerada Petroleum Corporationによって掘削され、1951年4月4日に生産を開始した。この日は、ノースダコタ州における石油生産開始の日とされている。この坑井はノースダコタ州北東部のNesson Anticlineに掘削されたが、この地域は、Bakkenプレイのシェールオイル層において天然のフラクチャーが存在する“sweet spots”として知られている^{*8}。また、Bakkenシェールオイル層からの最初の生産は、1953年に#1 H.O. Bakken wellから開始された。この坑井の名称は地主のHenry Bakken氏に由来しており、同様にAmerada Petroleum Corporationによって掘削された。

Bakkenプレイでは、地表から約1万ft. (3,048m) 地下のシェールロック層に軽質・低硫黄の原油 (light-sweet crude oil) が賦存している^{*9}。Bakkenシェールプレイは3層から構成されており、最上部はシェールロック層、中間は砂岩/ドロマイトの層、そして最下部は再びシェールロック層となっている。今日では、通常、中間の砂岩層を対象に水平坑井が掘削され、フラッキング処

理が施される(図2)。石油会社は、自らが生産する原油の正確な産出位置(どの層準から産出しているか)について絶え間ない評価を続けているが^{*10}、技術や地下構造の理解が進歩することで、どの程度水圧破碎法によるフラクチャーが浸透しているのか、また、どの岩石の中に石油資源が含まれているのか、より正確に把握できるようになる。こうした知識の蓄積によって、石油会社は坑井の適切なスペーシングを把握することができ、ついには自らの鉱区獲得戦略や掘削作業における最適化を図ることができるようになる。

Bakkenシェールオイル層の直下に位置するThree Forksシェールオイル層は、Bakken地域の可採埋蔵量を追加する可能性があると考えられている。これまでWilliston Basinのうち最も集中的に生産活動が行われてきたのは、Bakkenシェールオイル層とThree Forksシェールオイル層であるが、このBasinでは、掘削事業者が地質構造をより詳細に把握し、同時に油田開発技術が進歩することによって、石油埋蔵の可能性を有する他の層準が現れることだろう^{*11}。

Bakkenプレイで操業する石油会社は、水平坑井の掘削技術とマルチステージ・フラッキングや水平坑井の延伸技術を組み合わせながら、自らの技術を磨いてきた。水平坑井の掘削は1980年代に始まったが、広く活用され出したのはこの10年程のことである。Bakkenプレイでは、2000年代初めに、シェールロック層に挟まれた砂岩のMiddle Bakken層で水平坑井の掘削が開始され、これが生産量の増加に貢献することが証明された。過去



* Although still under evaluation, it is likely that fractures extend into the surrounding shales.
出所: EPRINC. Not drawn to scale.

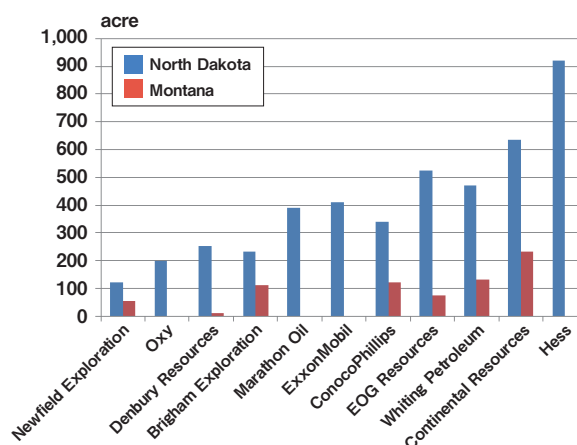
図2 Example of Horizontal Drilling in the Bakken

数年間にわたってフラックスステージ（水平坑井1坑に適用されるフラッキング処理）の数がめざましく増加した。フラックスステージの数によって掘削コストは増加するが、同時に初期生産レートや生産井からの総生産量も増加する。

わずか数年前には、フラックスステージの数は極めて少なかった（10カ所以下のフラックスステージ）が、今や水平坑井あたりの数は30以上とも40以上とも言われている。40のフラックスステージを適用した1坑井あたりの総生産量は、60万bblから70万bblにもなる^{*12}。一般的に、Bakken プレイを含む米国のシェールガス・シェールオイルにおける1坑あたりの水平坑井の総延長は、かつては約4,000ft. (1,219m) 程度であったが、今や1万～1万5,000ft. (3,048～4,572m) にも及ぶとされる。

水圧破碎法では、最初に well bore へのパーフォレーションにより岩石に小さなクラックをつくり^{*13}、そしてポンプによって水やプロパント（砂、セラミック、樹脂コーティングした砂）、少量の化学薬品を坑井から高圧で圧入してこのフラックを広げ、シェールオイル層に含まれる原油を坑井側に流し出している。シェールオイル層から坑井側への最適な原油の流入を確保するためには、整ったフラックをつくる必要がある。このためにはフレッシュウォーターが重要な役割を果たす。1坑井あたり300万ガロン（1万1,356 kl）の水^{*14}と200～300ポンド（91～136kg）の砂とプロパントが必要となる。プ

ロパントは、シェール層につくったクラックを広げ、それが閉じないようにするためのものである。樹脂コーティングされた砂とセラミックは、プロパントとしては砂よりも高価であるが、フラクチャーの中でそれが閉じようとする圧力に対して、砂以上によく耐えることができる^{*15}。また、セラミックは人工物であるが故に、その形状も完全な球形に近く、これを用いたプロパントはフラクチャー内の浸透率を高め、同時にプロパントの周囲を原油が円滑に流れることを支持するものとなる^{*16}。



出所：EPRINC

図3 Bakken Acreage

Reserves

Bakken プレイの可採埋蔵量は、現在進められている調査研究により増加する傾向にある。USGSは1995年に行った1億5,100万bblという評価を、2008年には43億bblに改定した。この改定は、Bakken プレイで開始された掘削プログラムの初期結果を反映してなされたものである。この掘削プログラムは、個別の投資家の支援により、新たな技術を適用して高い初期生産レートを実現しつつ行われた。2008年1月のノースダコタ州の原油生産量は13万8,000b/dであったが、2010年11月には35万6,000b/dを超えるに至っている。これまでなされたUSGS以外の可採埋蔵量評価は、いずれも43億bblを大きく超えるものとなっている。2011年1月、ノースダコタ州の政府関係者は、ノースダコタ州だけでBakken プレイの可採埋蔵量は110億bblに達すると述

べている。この数値は、同州が以前表明した可採埋蔵量を50億bbl上回るものとなっている。

表1 Reserve Estimates

Bakken Reserve Estimates	Barrels
1995 USGS	151 million
2008 USGS	4.3 billion
2010 NDIC ^{*17}	Add 1.9 billion (Three Forks Addition)
January 2011 ND State Officials	11 billion (North Dakota alone)
Continental Resources	20 billion
... Pending USGS Update	???? billion

出所：EPRINC

Rising Production and Potential Constraints

ノースダコタ州、モンタナ州東部およびサウスダコタ州を含む Williston Basinからの原油生産量は約41万5,000b/dである*¹⁸。

ノースダコタ州の原油生産量は、2008年初から2011年7月現在までにおよそ3倍の42万3,592b/dとなり、同州を米国内第4位の生産州としている。同州では2011年4月に36万b/dを超えて、これまでで最大の生産量を記録したが、その後同州で発生した春先の大規模な洪水による生産停止と生産遅延により、生産量はわずかながら減少した*¹⁹。2011年5月以降には生産量は増加し、7月までの3カ月間で約6万b/dが増加した。ノースダコタ州の原油生産量は、今や米国全体の7%を占めている。

多くのアナリストは、同州の生産量はこの数年のうちに70万b/dとなり、米国全体の10%に達する可能性があるとして評価している。同州における Bakken シェールオイル層からの生産量は30万b/dで、同州の全原油生産

量の75%を占めている。新たな Bakken シェールオイル層からの生産は、ほとんどがノースダコタ州で行われている(同州では Three Forks 層の開発も進展)。

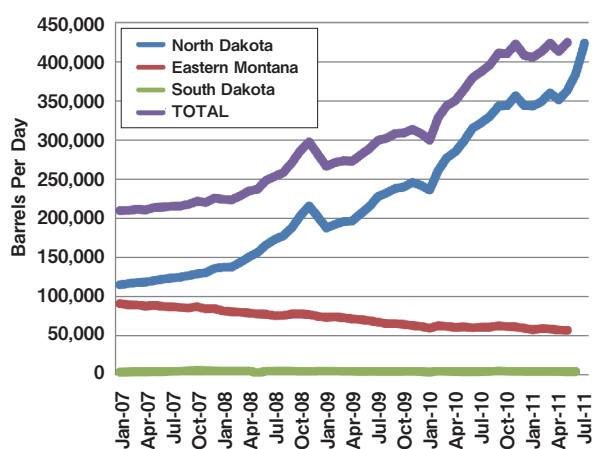
Bakken プレイには、連続的に石油が集積する“sweet spots”が存在する。こうした“sweet spots”の全ての生産井の1坑あたりの初期生産レートが2,000b/dを上回っているわけではないが、いくつかの生産井には最大4,000b/dという所さえある。石油会社のなかには、保有する鉱区面積は小さいものの、大きな鉱区面積を有する石油会社よりも多くの生産量を実現している会社もある。Bakken プレイにおいてよく知られた“sweet spots”としては、モンタナ州の Elm Coulee 油田と、ノースダコタ州の Nesson Anticline および Billings Nose がある*²⁰。

これら地域は、坑井あたりの生産レートの高さから“sweet spots”であると判断されている。これは、シェールオイル層における天然のフラクチャーが岩石内の原油の坑井側への流れ込みを促進し、これにより Bakken プレイの他の地域よりも高い生産レートが実現できているため、と理解されている。しかし、Nesson Anticline 西部や、より西部のモンタナ州に向けて坑井の掘削活動が活発になるに従って、新たな鉱区における(地質的)リスクは小さくなっている。地質構造に関する情報量が増加するにつれて、sweet spotsが有する重要性は低くなっている。

シェールオイル層自体やそれに適用すべき技術をよりよく理解することは、Bakken プレイにおいて成功する確率を高めることにつながる。しかし、Bakken プレイにおける掘削作業へのアプローチは事業者によって異なっている。他の石油会社よりも長い距離の水平坑井を掘削し、多くのフラックステージを用いる会社もある。また坑井仕上げに関しても、どのようなタイプのプロパントや砂、セラミックを用いるのかは、会社によっても地質状況によっても異なってくる。こうした全ての要素が、生産井1坑からの総生産量評価(EUR: Estimated Ultimate Recovery)の増加に貢献するのである。

開発作業において、坑井掘削や仕上げの費用、またシェールオイル層の生産井につきものの早期の生産減退を考慮する場合には、EURは重要な指標となる。

シェールオイル層を理解し、適切な技術を適用することに加え、事業者はノースダコタ州の厳しい気象環境を克服しなければならない。同州では、冬季の気温はカ氏マイナス40度(セ氏マイナス40度)以下にもなり、大量の降雪もある。こうした気象環境のために、事業者は生



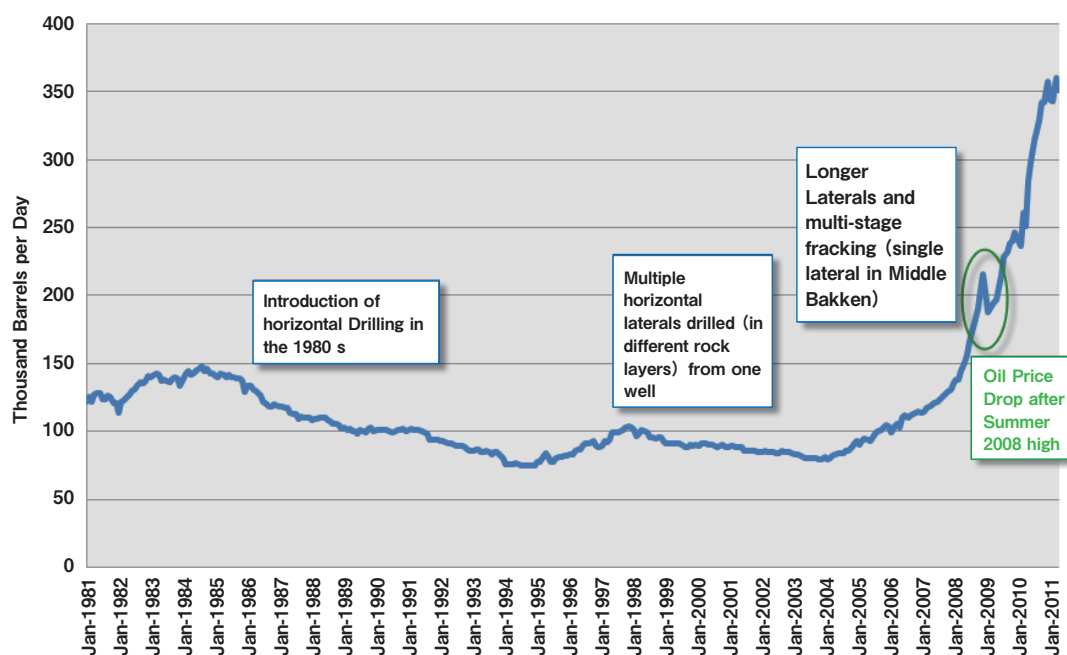
出所: NDPA (North Dakota Pipeline Authority)

図4 Williston Basin Production

表2 Recent 3 months average

May-11	363,390 b/d
Jun-11	384,811 b/d
Jul-11	423,592 b/d

出所: NDPA



出所：EIA Data with EPRINC additions using Continental Resources info. and latest production figures from North Dakota Pipeline Authority

図5 North Dakota Field Production of Crude Oil

産井へのアクセスが可能となるまで、または、生産原油の輸送が可能になるまでの一定期間、しばしば生産井の稼働停止に追い込まれる。過去数年間は、ノースダコタ州始まって以来という”歴史的な冬”に見舞われ続けており、同州の石油産業にとっては極めてチャレンジングな季節となっていた。更に春季の激しい降雨は、同州内の複数の都市で避難命令が出されるほどの洪水をもたらしている。

更に、これら坑井の掘削費用はここ数年間で著しく上昇している。石油価格の高騰が、米国内の複数のシェールプレイにおいて掘削活動を活発化させたという引き金となったことから、こうしたコストは今後も上昇すると考えられる。コストについては、例えばどの程度の距離の水平坑井を掘削するか、水圧破碎法においていくつのフラックスステージをつくるか、また、どのようなプロパントを選択するかによって事業者ごとに異なってくる。North Dakota Petroleum Association によれば、ノースダコタ州での1坑あたりの掘削および坑井仕上げにかかるコストは、2009年時点で560万ドル、2010年時点で790万ドルとされる。今日、複数の石油企業からは、掘削と坑井仕上げにかかるコストは1,000万ドルを超える」と報告されている。

ちなみに、Bakken プレイで操業を行う Hess Corporation は、「当社は、38のフラックスステージを施し、



出所：EPRINC Photo

写 Western North Dakota Flooding June 15th 2011

総生産量57万1,000bblを見込む坑井の掘削を計画しているが、この掘削・仕上げのコストには980万ドルを見込んでいる」と述べている。こうしたコストの増加は、水平坑井の長さやフラックスステージの数に大きく依存しているが、米国全体、また同州周辺地域におけるリグやサービスカンパニーへの需要増もコスト増加の要因である。

掘削数の急激な増加によって、サービスカンパニーの獲得にも制約が生じ、多くの石油会社は坑井仕上げ作業を待たなければならない事態に直面している。すなわち、坑井掘削は完了したものの、水圧破碎法のための処置が

米国ノースダコタ州のシェールオイルThe Bakken Boom ~An Introduction to North Dakota's Shale Oil~

行われておらず、作業の停滞を強いられている坑井が多くあるということである。こうした作業の遅れは、気象条件による制約と同じくらいの頻度で発生しており、水圧破碎法の作業クレー確保に係る制約によっても生じている。Bakkenプレイでは、170以上の掘削リグが稼働中にもかかわらず、水圧破碎法の作業を行うクレーはわずか15名のみであるともされる^{*21}。

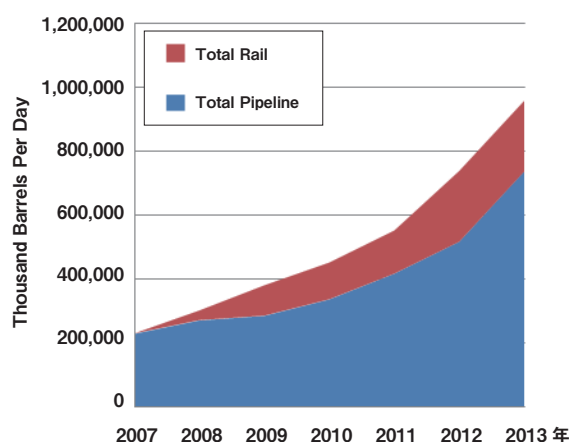
水圧破碎法の適用数の増加に伴い、フレッシュウォーターの使用量も増加しており、こうした作業に必要な1年間の水の使用量は60億ガロンにも上る^{*22}。フレッシュウォーターは効果的なフラクチャーの形成に欠かせないものである。ノースダコタ州のコミュニティや原油産出地域への水供給プロジェクトが進められている。

Bakkenプレイの原油生産は、油価に影響を受けやすい。しかし先進的な技術の適用やサービスカンパニーのサポート強化によって、50ドル/bbl以上の井戸元価格を確保できる限りは、生産は維持できると考えられている^{*23}。Bakkenプレイの生産原油(Light sweet crude oil)は、その高い品質^{*24}から、主要な製油所が集約する地域では高い価値を持つが、ノースダコタ州はこうした地域から離れており輸送コストが高くつくため、近い品質を持つルイジアナ州産軽質原油(Light Louisiana sweet: LLS)よりも割引され、WTI^{*25}と同等の価格で販売されている。しかし新たなインフラが整備されることで、より高い井戸元価格が実現されると考えられる。

この4年間のノースダコタ州における原油生産量は10万b/dから35万b/dに引き上がった。この劇的な生産量の増加はあまりに急激なものだったので、既存のパイプラインのような従来の原油の輸送手段では増加分を補うことができているのが実情である。今日、Bakkenプレイからの生産原油はパイプラインや鉄道、トラックによって輸送されているが、この地域における井戸元価

格の低下を回避するためにも輸送インフラの強化が必要である(図6)。

Bakkenプレイの生産原油の販売価格は事業者ごとに異なっているが、またこれは生産原油がどの市場に対し、どの輸送手段を用いてアクセスするかによっても異なる。鉄道の貨車輸送は、歴史的にパイプラインよりも高価であるが、ルイジアナ州St. JamesでのBrent/LLSのベンチマーク価格と比較する限りにおいて、Bakkenプレイの生産原油の販売価格は、鉄道輸送コストのため大きな割引がなされている^{*26}。しかし生産原油の販売価格は、事業者にとってだけでなく州の財政にとっても同様に重要である。ノースダコタ州税務局のKathy Stormbeck氏は、「販売価格1ドル/bblの上げ下げは、州にとって930万ドルの歳入が増減するほどのインパクトがある」と述べている^{*27}。



Note: Many projects are still in planning stages or have not yet been approved.
出所: North Dakota Pipeline Authority.

図6 Williston Basin Production

Implications for North Dakota: Growing State Cooffers, Tax Revenue, Low Unemployment

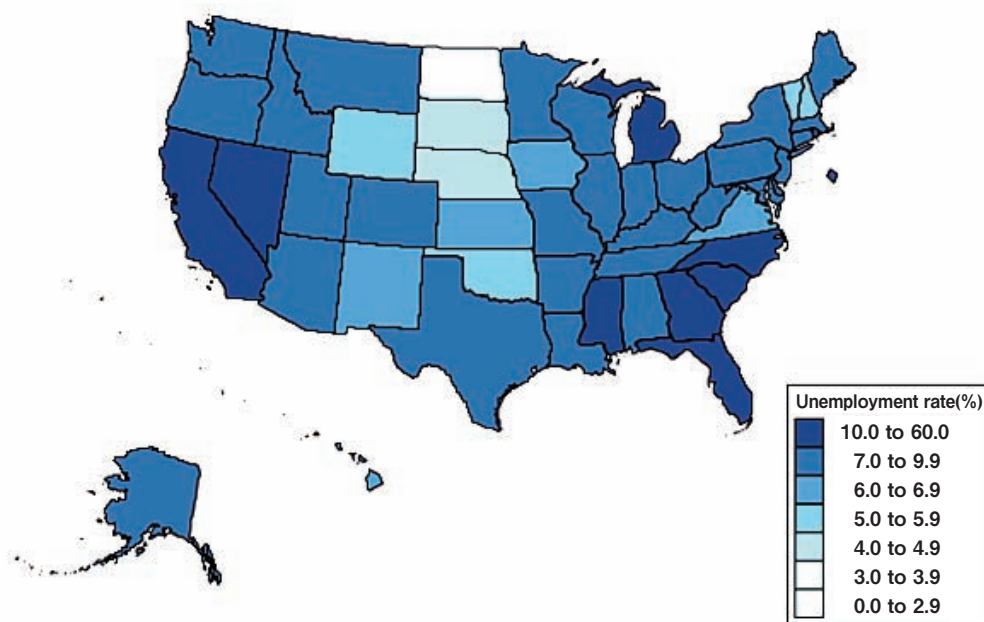
今日、ノースダコタ州の失業率は3.2%で、米国全体で最も失業率の低い州である。リグ1基が稼働することで、リグやサービスカンパニーの従業員のための住居やレストラン等への需要が同州にもたらされる^{*28}。ノースダコタ州は収益が債務を上回る数少ない州の一つである。North Dakota Petroleum Councilによれば、2010

年の原油生産にかかる税率は10.3%で^{*29}、7億4,950万ドルの税収があった。加えて石油会社は、同州で課税対象となる14億9,000万ドルにも上る消費を行っている。また2010年の天然ガス生産に係る生産税収は1,010万ドルに上っている。こうした石油・天然ガスの生産事業からの収入は、インフラ整備、教育、基金財源、また州

内の地方政府に広く分配されている^{*30}。この一方で州政府および州内の地方政府は、石油生産の拡大に資するような道路補修や道路建設等といったインフラ整備に係る要請を受けている。

既述のように、ノースダコタ州の失業率は米国で最も低いですが、すなわち、石油産業が支払う高水準の賃金は別の構造的な影響をもたらしている。石油産業の賃金インフレは、商店やレストランが従業員を雇うのが困難となるような影響をもたらし始めている。ノースダコタ州では、一言でいってこうしたオイルブームを支えるための広範なサービスが不足している。

例えば、ノースダコタ州の石油生産地域のホテルは2、3年先まで予約でいっぱい、アパートメントも既に同様の状況である。キャンプ地のような仮設の住居は至る所に存在する^{*31}。多くの石油会社は各社“man camps”を所有しており、そこは従業員が石油開発作業に従事する間は食事をしたり、睡眠を取ったりすることができる宿泊設備となっている。州政府には、インフラの整備や関連サービスの拡充に関する要請への取り組みが求められている。他方で州政府は、原油生産の拡大が継続的なものでないことが明らかになった場合の経済後退による財政リスクへの備えも同時に求められている。



出所：Bureau of Labor Statistics

図7 Unemployment Rate by State, August 2011

Bakken Success and Future Potential

今日のノースダコタ州の原油生産は米国全体の生産量の6%を占めており、同時に、この20年間にわたって米国の原油生産が減退傾向にあるとの見方を反転させるという大きな責務を負っている。石油価格の高騰は、掘削技術の革新と地下構造に関する知識の拡大（seismic surveyingの技術的進歩）と結びつき、中小の石油企業によるBakkenプレイでの急激な生産量の拡大を可能ならしめた。このことは、シェールガスの先駆者たちが、

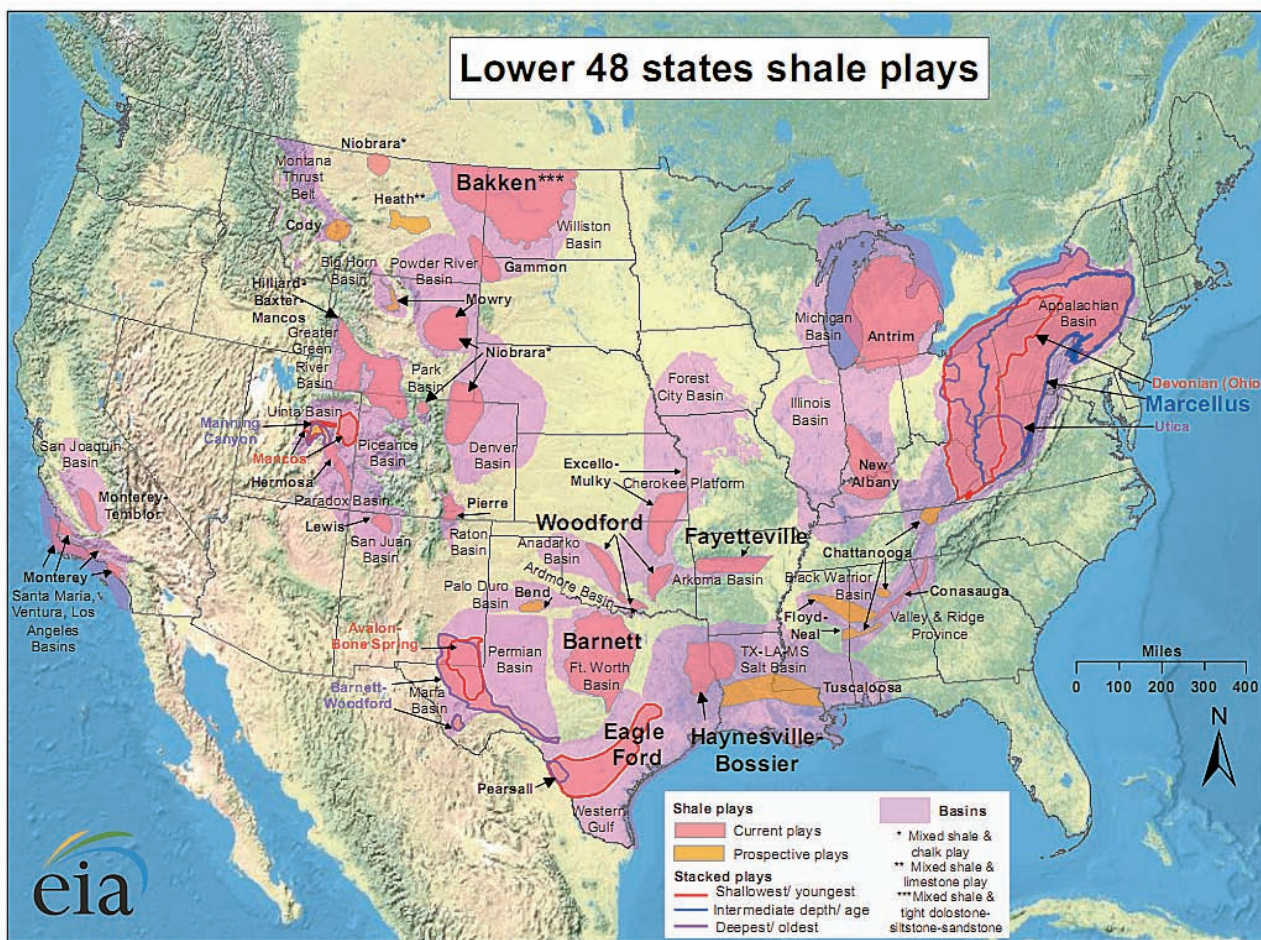
シェールガスの開発技術を複製し、変更しながら初期のBakkenプレイで活動し、同時にブームの初期段階でリース面積を拡大してきたということとは全く別の話なのである。明らかに、シェールオイルの開発もシェールガスの開発も、先進の水平坑井の掘削技術を適用しているし、これには、シェールガスの開発・生産の経験に基づいて確立された水平坑井の延長掘削技術や、マルチフラックの技術が含まれる。

米国ノースダコタ州のシェールオイルThe Bakken Boom ~An Introduction to North Dakota's Shale Oil~

しかしBakkenプレイで起こっていることは、こうした技術を米国や世界中のbasinに移転できるという可能性を示している。Bakkenは原油を豊富に産出するエキサイティングなシェールオイルプレイであり、Eagle Ford、Niobrara、Utica、Tuscaloosa、Montereyを含む新たなシェールオイルプレイも大きな成果を上げる可能性がある。またオクラホマ州のMississippi Lime playのような在来型プレイの開発においても、水平坑井や水圧破碎法の技術が適用されている。

経験上、シェールプレイの多くは急激な生産減退に見舞われてきたことから、どのくらいの期間、一定量の原油生産を維持できるのか等、シェールオイルの開発については将来にわたって多くの問題点や不確実な点が残されている。ノースダコタ州では石油開発をうまく取り込んでおり、それ故に真に環境の観点から懸念される事項について規制を課している。同時に、原油生産の拡大に

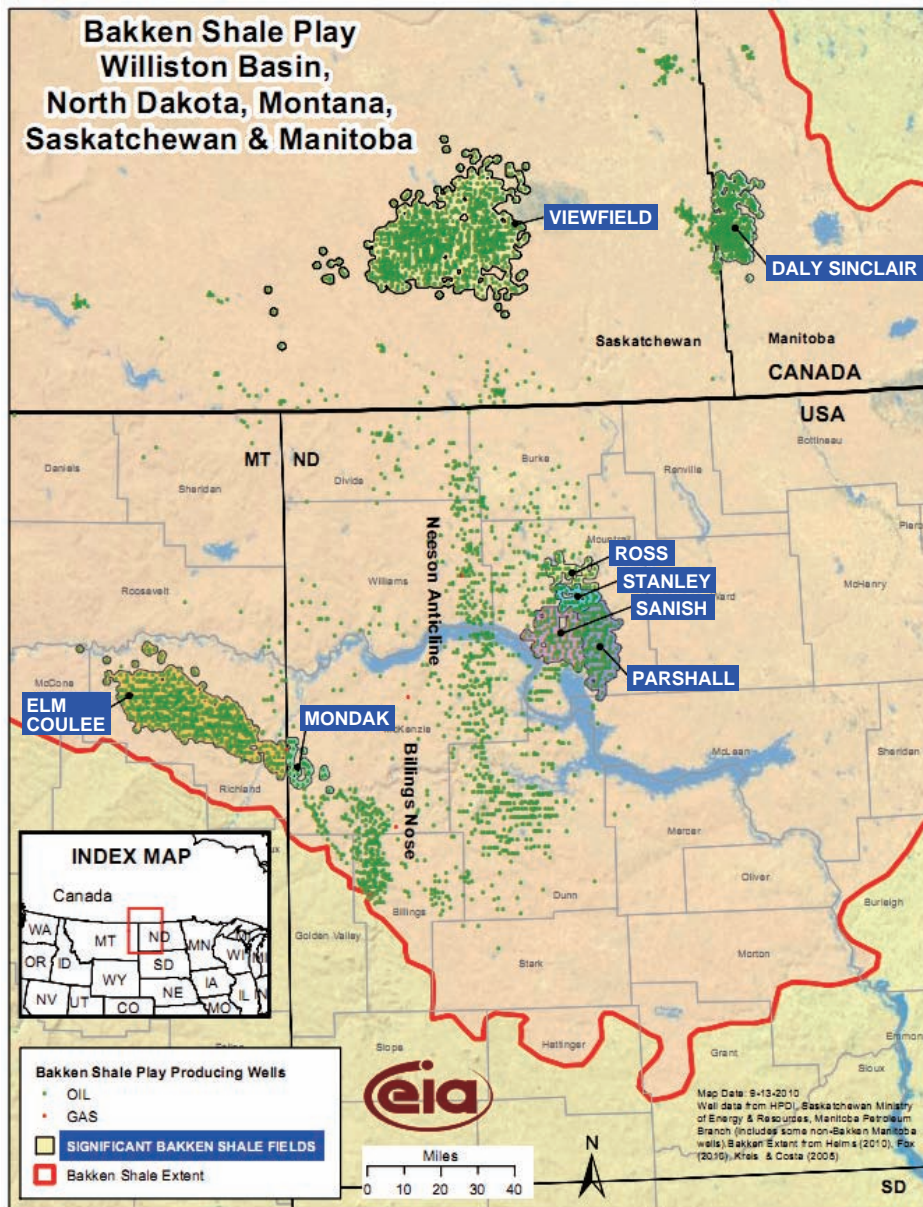
よる経済的利益を享受している。こうしたノースダコタ州のBakkenプレイでの成功や、将来の他のシェールオイルプレイの開発に向けた教訓は、これまで説明したさまざまな要素から説明できよう。これに加うるに、ノースダコタ州では連邦管轄地が少ないことや、同州の規制当局は、柔軟な許認可手続きを行うことでBakkenプレイの開発の促進を後押ししているという背景もある。この地域で操業する石油会社は、獲得した多くの地質情報の知識をうまく用いて、新たな掘削技術や仕上げ技術を開発・適用するというめざましい能力を發揮している。ただ、生産原油の輸送インフラの問題は依然として懸念事項ではある。しかし、鉄道会社やパイプライン会社はこの地域の輸送能力の拡大に関心を寄せており、こうした輸送能力面での制約は近い将来解消されるだろう。



出所: EIA

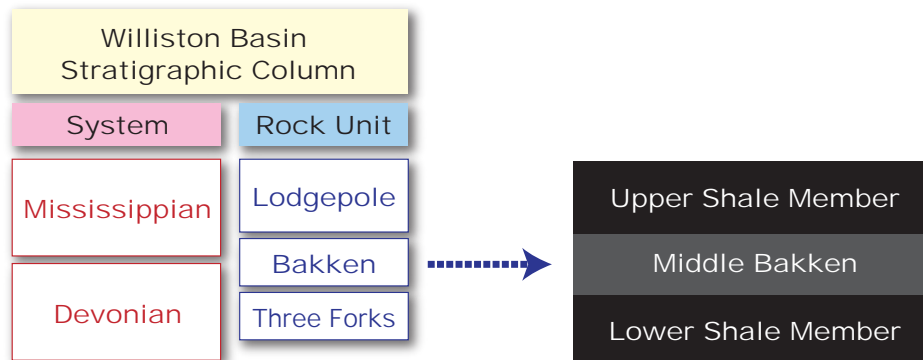
図8 Lower 48 states shale plays

<参考 1 > Oilfield Activity



出所 : EIA

<参考 2 > Williston Basin Stratigraphic Column



出所 : Sonnenberg, Hart Energy Bakken Playbook 2010. EPRINC Diagram

<注・解説>

- * 1 : The Bakken is also referred to as tight oil given that oil companies are drilling within the middle Bakken layer which is sandstone/dolomite and not shale. Shale composes both the upper and lower layers of the Bakken (図2). However, as fracs likely extend into and pull oil from the shale, it is often referred to as Bakken shale oil.
- * 2 : April 4th, 1951 the Clarence Iverson 1 well struck oil in Tioga, North Dakota making it the first successful oil well in the state.
- * 3 : Most shale gas, and now shale oil, plays have occurred on private land holdings where the mineral resources are not held by the federal government. Texas, Oklahoma, Pennsylvania, and North Dakota have relatively limited federal lands and most mineral rights are held by individuals or companies. Whether federal oil and gas leasing and development policy is limiting development of shale resources on western lands will be addressed in a future report.
- * 4 : USGS press release April 10th, 2008: "The Bakken Formation estimate is larger than all other current USGS oil assessments of the lower 48 states and is the largest "continuous" oil accumulation ever assessed by the USGS. A "continuous" oil accumulation means that the oil resource is dispersed throughout a geologic formation rather than existing as discrete, localized occurrences. The next largest "continuous" oil accumulation in the U.S. is in the Austin Chalk of Texas and Louisiana, with an undiscovered estimate of 1.0 billions of barrels of technically recoverable oil." <http://www.usgs.gov/newsroom/article.asp?ID=1911>
- * 5 : Stephen A. Sonnenberg. "Focusing on the Bakken." Hart Energy Playbook.
- * 6 : Horizontal drilling or directional drilling refers to a vertical well departing into a horizontal well at roughly 90 degrees and drilling along the rock formation horizontally allowing, exposing the wellbore a greater portion of the producing rock.
- * 7 : Schlumberger Oilfield Glossary: Hydraulic Fracturing: "A stimulation treatment routinely performed on oil and gas wells in low-permeability reservoirs. Specially engineered fluids are pumped at high pressure and rate into the reservoir interval to be treated, causing a vertical fracture to open. The wings of the fracture extend away from the wellbore in opposing directions according to the natural stresses within the formation. Proppant, such as grains of sand of a particular size, is mixed with the treatment fluid to keep the fracture open when the treatment is complete. Hydraulic fracturing creates high-conductivity communication with a large area of formation and bypasses any damage that may exist in the near-wellbore area."
- * 8 : "An anticline is a large, upward arch of sedimentary rocks ... form gas and oil traps." Clarence Iverson No. 1 was focused on the Silurian Interlake Formation, not the Bakken Formation (North Dakota Geological Survey)
- * 9 : "Shale oil" and "oil shale" are often used interchangeably within newspapers and reporting. This is incorrect. Shale oil is conventional oil trapped within shale rock or other types of rock formations (Niobrara shale is actually a chalk and shale mix) . Oil shale is immature oil still in a rock like form which must undergo extensive heat and stimulation to be produced.
- * 10 : Phone conversation with geologist Julie LeFever.
- * 11 : For example, Bowman County in southwest North Dakota is the fourth largest oil producing county in North Dakota, but is actually producing from the Red River formation. It not part of the new oil boom and drilling which is focusing on the Bakken formation.
- * 12 : Oil Patch Hotline
- * 13 : Schlumberger Oilfield Glossary: Perforate: "The creation of holes in the casing or the liner to achieve efficient communication between the reservoir and the wellbore. This process is integral to the optimal creation of hydraulic fractures."

- * 14 : For the sake of comparison, five million gallons of water are needed to water a golf course for 25 days. And a 1,000 megawatt coal-fired power plant uses 5 million gallons of water every 12 hours. <http://www.hydraulicfracturing.com/Water-Usage/Pages/Information.aspx>
- * 15 : Superior Well Services presentation and Bakken Investor Conference Minot, ND June 2011. Additionally Studies have shown that permeability of the rock, completion best practices, and type of fracking fluids and components all matter in increasing production (Oil and Gas Investor January 2011).
- * 16 : Bismark Tribune. Bakken Breakout. Summer 2011.
- * 17 : North Dakota Industrial Commission
- * 18 : North Dakota Pipeline Authority
- * 19 : The Bakken also produces a substantial amount of associated gas. Production for July 2011 in North Dakota was 427,446 mcf (thousand cubic feet) per day. A substantial amount of natural gas is flared (right now over 30%) due to the rapid production of wells, the lag time in gas processing capability, and the sporadic location of the oil wells relative to gas processing facilities. Construction of processing facilities was also delayed due to the severe winter and spring weather.
- * 20 : See Appendix for EIA map with former field activity. The Nesson Anticline is home to the first producing well in North Dakota as mentioned above and is a geological structure in the earth that naturally creates fractures given its internal hill like structure. These areas have been characterized by impeccable wells, but other producing zones are seeing decent numbers as companies have learned the techniques needed to produce from this knowledge demanding formation. Billings Nose is also near Billings Anticline.
- * 21 : Superior Well Services presentation Bakken Investor Conference June 2011. You would need 34 frac crews to maintain a rate of 164 rigs. Each frac crew can complete roughly between four and six wells per month.
- * 22 : 2,000 wells per year and 3 million gallons of water per well
- * 23 : Ross Smith Energy Group has break even prices for the Bakken at \$47.
- * 24 : 42 degrees API, very light and low sulfur, slightly better quality than WTI
- * 25 : West Texas Intermediate, the common benchmark for pricing crude oil in the U.S. priced in Cushing, Oklahoma.
- * 26 : Bakken producers can get Light Louisiana Sweet (LLS) prices in St. James which typically trades above Brent.
- * 27 : Based on current production levels at the time which were 260,000 b/d in April 2010. http://www.bismarcktribune.com/news/state-and-regional/article_1fa5080a-4ef9-11df-8c4c-001cc4c002e0.html
- * 28 : North Dakota Petroleum Council estimates that each rig accounts for 120 direct and indirect jobs.
- * 29 : This tax rate on crude oil varies according to different well types and is 5-11.5 percent.
- * 30 : North Dakota Petroleum Council: "During 2009, more than \$364 million went to the Lands and Minerals Trust and more than \$120 million to the Board of University and School Lands Trust." For 2010, "U.S. Forest Service administered lands in the Little Missouri National Grasslands provided federal oil and gas revenues of \$44.2 million during fiscal year 2010. In addition, Bureau of Land Management administered land produced more than \$32 million during fiscal year 2010. Approximately half of that amount, \$16.1 million (adjusted for new receipts sharing), was returned to the state's general fund and is the first money expended for education statewide."
- * 31 : There have even been tent towns created as people came to work in North Dakota without yet securing a place to live.

執筆者紹介

Lucian Pugliaresi (ルシアン パリアレス)

President, Energy Policy Research Foundation (Washington, D.C.)

Lucian (Lou) Pugliaresi has been President of Energy Policy Research Foundation (EPRINC) since February 2007 and when the foundation moved from New York to Washington, DC. He previously served on the Board of Trustees of EPRINC before taking over the presidency. Since leaving government service in 1989 and before being his appointment at EPRINC, Mr. Pugliaresi worked as a consultant on a wide range of domestic, energy security, and international petroleum issues. He has served in a wide range of government posts, including the National Security Council at the White House, Departments of State, Energy, and Interior, as well as the EPA. Mr. Pugliaresi has written extensively on energy and has been published in the Oil and Gas Journal, World Oil, and other publications covering Russian petroleum, energy security and energy policy.



Trisha Curtis (ターシャ カーティス)

Research Analyst

Trisha Curtis is a research analyst at EPRINC. She has recently finished her Master of Science (MSc) degree in International Political Economy at the London School of Economics and wrote her MSc Dissertation on Chinese National Oil Companies. Ms. Curtis has a long standing interest in energy which has been fueled by time spent working at oil and gas sites in Colorado and Wyoming. She did her undergraduate work at Regis University in Denver, Colorado where she double majored in Economics and Politics and graduated Summa Cum Laude.



JOGMECは、エネルギー資源・金属の未来を支えます。



石油・天然ガス及び金属鉱物資源開発を実施する企業の良いビジネス基盤づくりを応援します。

日本においては、資源の長期的かつ安定的な確保に向け、国内外を問わず油田・ガス田・金属鉱床を発見し、開発する必要があります。JOGMECは、政府や諸外国と協力して探鉱（油田・ガス田・金属鉱床を発見するための活動）、開発に取り組み、生産活動を行っている日本の民間企業をサポートし、我が国への資源・エネルギーの安定供給を担っています。



海上掘削リグ



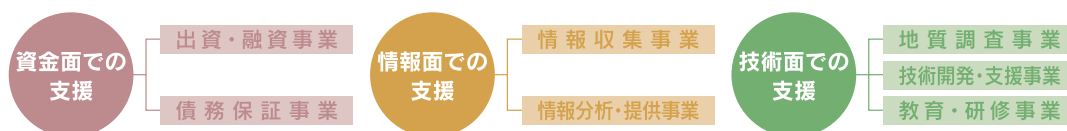
海上掘削リグ



地質調査



衛星画像解析(イラン北東部)



※石油・天然ガス開発の資金支援は出資および債務保証のみ

JOGMEC 海外石油・天然ガス 動向ブリーフィングのご案内



JOGMECでは、毎月、石油・天然ガスの最新動向ブリーフィングを開催しています。

『石油・天然ガスレビュー』を発行している独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 石油調査部では、石油・天然ガスに関する最新の動向レポートを適時ホームページに掲載し、その外部ブリーフィングを毎月中旬に実施しています。詳しくは、毎月初にJOGMECホームページに掲載される開催案内をご覧ください。ホットなトピックスをそろえ、皆様のご参加をお待ちしております。

JOGMECは、“エネルギー資源・金属”の未来を支えます。

● **ホームページ**

<http://www.jogmec.go.jp/>

● **主催**

(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) 石油調査部

● **事務局 (お問い合わせ先)**

石油開発推進本部 石油調査部

担当者: 大海 (おおみ) ・池ヶ谷 (いけがや)

Tel: 03-6758-8024

E-mail: ask-briefing@jogmec.go.jp

● **開催場所**

虎ノ門ツインビルディング 地下大会議室

〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目10番1号

虎ノ門ツインビルディング 地下大会議室

・東京メトロ銀座線・南北線「溜池山王駅」13番出口より徒歩5分

・東京メトロ銀座線「虎ノ門駅」3番出口より徒歩6分

・東京メトロ日比谷線「神谷町駅」4a出口より徒歩7分

● **参加費用**

無料。ただし、会場の都合により、先着180名

● **出席申込**

上記事務局宛にお問い合わせください。