

## シェール・ガス・オイル生産の模索と発展

小林 健一\*

## はじめに

1970年代の石油危機は、増大し続ける石油需要にたいして米国の石油生産がピークに達し、その後、低落し始めたことによる石油供給の危機であった<sup>1)</sup>。その後、米国の一部の石油・ガス企業は、それまでの在来型 (conventional) ガス・石油資源だけでなく、非在来型 (unconventional) ガス・石油資源の採掘を模索・追及してきた。

非在来型ガス・石油資源のなかでも最近とくに注目を集めているのが、シェール・ガス・オイル (shale gas and oil) である。シェール・ガス・オイルとは、それまでの在来型ガス・石油よりさらに深い地層の頁岩 (shale) に含まれているガスと石油である。それらの存在はか

なり以前から知られていたが、経済的に採掘する方法がなかったのである。ところが、テキサス州で水圧破砕 (hydraulic fracturing, fracking) という技術を用いて、シェール・ガスの採掘を模索してきた独立系企業が、1998年になってようやくそれに成功した。2000年代には多くの独立系企業が、テキサス州内においてシェール・ガス生産の採掘方法を発展させ、シェール生産革命が始まった。シェール生産革命はその他の州にも普及・拡大し、2010年までには巨大企業もシェール・ガス・オイルの生産に参入した。さらに2013年には米国は世界第1位の産油国に復活を果たし<sup>2)</sup>、シェール・オイルは2014年末に始まったOPECとの「価格戦争」にも耐え、現在、米国の石油生産の主流になっている<sup>3)</sup>。

シェール革命については楽観的な見方とそれほど楽観的ではない見方があるが<sup>4)</sup>、本研究ノー

\*小林 健一 (Kenichi KOBAYASHI) : 東京経済大学教授 (kobayash@tku.ac.jp)。博士 (経済学, 東北大学)。『TVA実験的地域政策の軌跡—ニューディール期から現代まで—』御茶の水書房, 1994年; 『アメリカの電力自由化—クリーン・エネルギーの将来』日本経済評論社, 2002年, など。

なお、本研究ノートのレフリース審査において、高度な専門的知見からのご指摘・ご教示をいただき、大いに学ぶことができたことを記しておく。

<sup>1)</sup>Richard H. K. Vietor, *Energy Policy in America since 1945: A Study of Business-Government Relations*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1984; 拙稿「石油市場統制から石油危機へ」(近く公表予定) 参照。なお、拙稿「米国における現代的エネルギー政策の成立」『東京経大会誌』285号, 2015年, 拙稿「原子力ネットワークの展開とその帰結」東京経済大学『学術研究センター年報』2017年度 (特別号), 2018年, 拙稿「米国における再生可能エネルギーの現状と可能性」『アメリカ経済史研究』第12号, 2013年, も参照。

<sup>2)</sup>“United States Remains the World’s Top Producer of Petroleum and Natural Gas Hydrocarbons,” May 21, 2018, U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, Today in Energy.

<sup>3)</sup>新しい石油・ガス井では2014年以降、水圧破砕・水平掘削型が大半を占めるようになった (“Hydraulically Fractured Horizontal Wells Account for Most New Oil and Natural Gas Wells,” Jan. 30, 2018, U.S. DOE, EIA, Today in Energy.)。

<sup>4)</sup>シェール革命に楽観的な見方の例に, Peter Zeihan, *The Absent Superpower: The Shale Revolution and A World without America*, Zeihan on Geopolitics, 2016, が, それほど楽観的ではない見方の例に, Bill Powers, *Cold, Hungry, and in the Dark: Exploding the Natural Gas Supply Myth*, New Society Publishers, 2013, がある。

トでは、独立系企業の主導で始まったシェール・ガス・オイル生産の技術革新の進展過程を、そして今日までに技術革新とコスト削減がどこまで達成されたかを明らかにし、シェール・ガス・オイルの産業競争力はほぼ確立されたことを示す。

## I. シェール・ガス・オイルの採掘法

### (1) 在来型石油・ガスとその採掘法

まず、これまでの在来型石油・ガスの採掘方法を概観し、その後、今日、主流になっている非在来型シェール・ガス・オイルの採掘方法を解説する。

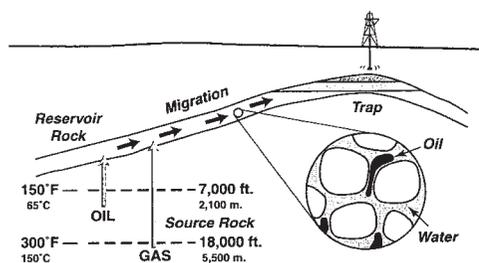
図1に示すように、根源岩 (source rock) といわれる地層において数億年から数百万年前の生物の死骸などが高温と圧力によって、地下2,130メートル程度の深さのところでは摂氏65度以上だと石油に、地下5,500メートル程度の深さのところでは摂氏150度だと天然ガスに生成されてきた。生成した石油やガスは、根源岩の気孔を通して上昇し、次いで、貯留岩 (reservoir rock) に流れ込む。貯留岩は水とガスと石油を含んでいる。ガスと石油は地表に向かって上昇するが、これは移動 (migration) と呼ばれる。ガスと石油は貯留岩の地表に比較的近いアーチ状のトラップへ集まる。ガスは軽いので一番上の層へ、石油は次の層に、そして塩分水は重いので下層に溜まる。これが典型的な在

来型のガスと石油の埋蔵地層である。在来型の石油・ガスの採掘は、石油やガスが集中しているトラップまで、地表から井戸を、通常、下に垂直に掘り進むことによって実現される<sup>5)</sup>。だから、こうした掘削は垂直掘削 (vertical drilling) と呼ばれている。

石油・ガスが含まれている可能性のある地層について、航空機や衛星からの写真撮影によって地層マップが作られて来た。今日では、サイズミック探査が利用されている。サイズミック探査は地表から地下に向けて震動波を起こし、この振動波が地下の地層などにあって跳ね返り、地表に戻ってくるのを測定器で捉え、地下の地層を推定することである。トラップが商業的に成り立つほどのガスや石油を含んでいるかを確かめるには、実際に、試掘井を掘削するしかない。掘削するには、通常、掘削リグ (drilling rig) と呼ばれる檣 (やぐら) を立て、回転するドリル刃 (drill bit) によって坑井を掘削し、次第に深い所へ掘り進む。掘削はそれがその井戸によって、石油かガスかが採掘できるかどうか分かるまで続けられる<sup>6)</sup>。

ガス井ではガスはすべて、それ自身、地表まで上がってくる。油井では初期には圧力によって石油が自ら噴出することがあるが、圧力が下がってくると自ら噴出しなくなるので、汲み取りポンプ (walking pumping unit) によって汲み上げることになる。ガス井、油井ともに、ある段階から地表にクリスマスツリーと呼ばれる装置を設置し、ガスや石油の流れが管理される。ガスはパイプラインによって輸送され、石油は鋼鉄製タンクに貯蔵され、精製所に販売さ

図1 天然ガスと石油の生成と移動



(出所) Norman J. Hyne, *Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling & Production*, 3<sup>rd</sup> ed., PennWell, 2012, p. xiv.

<sup>5)</sup> Norman J. Hyne, *Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling & Production*, 3<sup>rd</sup> ed., PennWell, 2012, pp. xiii-xviii.

<sup>6)</sup> N. J. Hyne, *Nontechnical Guide to Petroleum Geology*, pp. xv-xvii; Joseph F. Hilyard, *The Oil & Gas Industry: A Nontechnical Guide*, PennWell, 2012, pp. 53-4; David E. Newton, *Fracking*, Santa Barbara, California, ABC-CLIO, 2015, pp. 24-5.

れてきた<sup>7)</sup>。

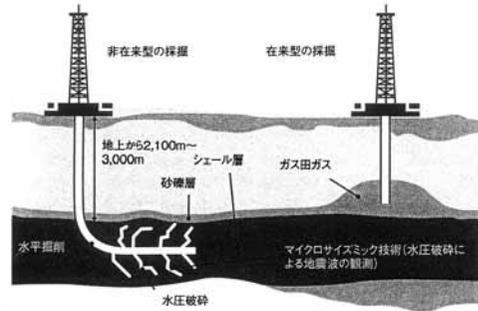
以上は在来型の石油・ガス資源の採掘についてである。しかし、1970年代に石油・ガス生産がピークに達し、こうした在来型の石油・ガス資源を発見することが少なくなってきた。そこで、連邦政府は1976年からコールベッド・メタン、タイト・ガス・サンド、そしてシェール・ガスという非在来型ガス資源の採掘の可能性を調査し始めた。これら非在来型ガス資源の採掘は技術的に困難だと思われていたが、もし、成功すれば、石油輸入の代替になりうると期待されたのである<sup>8)</sup>。

## (2) 非在来型ガス・オイルとその採掘法

次に、非在来型資源の中で、もっとも話題になっているシェール・ガス・オイルとその採掘法について解説する。シェールとは頁岩(かたい岩層)であり、そのなかに石油や天然ガスの微粒子が含まれている可能性がある。かたい岩層なので、石油や天然ガスが移動し、流出することはない、だから、ほとんどのシェール地層は商業生産には向いていなかった<sup>9)</sup>。

そこで、図2に示されるように、在来型ガス資源の採掘法とは異なった採掘法、つまり、水圧破碎や水平掘削(horizontal drilling)が開発されることになった。水圧破碎という方法は、水、砂、そして化学物質からなる液体に高圧をかけてガス井、あるいは油井のなかに発射し、シェール地層に割れ目を作り出し、シェールに含まれているガスや石油の微粒子が井戸のなかを上昇してくるようになる掘削技術である。シェール・ガス・オイルは在来型の石油やガスと異なっ

図2 在来型ガスと非在来型シェール・ガスの採掘方法



(出所) 有賀健高「シェールガスがもたらしたエネルギー革命」馬奈木俊介編著『エネルギー経済学』中央経済社、2014年、55ページ。

て自ら移動できないからである。液体に砂を入れるのは、圧力が減少したとき、できた割れ目が閉じないように、砂で割れ目を支えて開いたままにするためである<sup>10)</sup>。

水圧破碎の試みは、1946年にStanolined Oil and Gas Co. のエンジニアたちが考案し、Halliburton Oil Well Cementing Co. と共同開発され、1947年にカンザス州ヒュートン鉞区で実験された<sup>11)</sup>。ただし、当時、エネルギーは安価で豊富だったので、高コストの水圧破碎は必要なかったのである<sup>12)</sup>。

また、垂直掘削したのち、垂直方向に下がってきた井戸の方向を変えてゆき、ガスや石油の存在するシェール地層を水平に掘り進み、より多くのガスや石油を生産することが1920年代から行われてきた。これは1980年代に普及した。生産量を増やすために、水平にますます長く掘り進み、水平掘削部分の長さが10,000フィート

<sup>7)</sup>N. J. Hyne, *Nontechnical Guide to Petroleum Geology*, pp.xxii-xxiii.

<sup>8)</sup>Daniel J. Soeder, *Unconventional: The Development of Natural Gas from the Marcellus Shale*, Boulder, Colorado, The Geological Society of America, 2017, p.18.

<sup>9)</sup>J. F. Hilyard, *The Oil & Gas Industry*, p. 33.

<sup>10)</sup>Diana D. Hinton, *Shale Boom: The Barnett Shale Play and Fort Worth*, Fort Worth, Texas, TCU Press, 2018, p. 34.

<sup>11)</sup>Mohamed Y. Soliman and Ron Dusterhoft, eds., *Fracturing Horizontal Wells*, New York, McGraw-Hill Education, 2016, p. 2.

<sup>12)</sup>Russel Gold, *The Boom: How Fracking Ignited the American Energy Revolution and Changed the World*, Simon & Schuster, 2014, p. 69.

(3,048メートル) に達する井戸もでてきた。さらに、生産量を増やすために、多段階水圧破碎、つまり、長い水平井戸をいくつかの部分に分け、その一つ一つの部分を集中的に水圧破碎する掘削法も登場した<sup>13)</sup>。

2006年ごろから、北米で水圧破碎の井戸が著増し、ガスの生産量が増大したが、この技術は石油採掘にも利用された。水圧破碎は水平掘削と併用されている。2011年にはアメリカの石油・ガスの新規井戸のおよそ90%が水圧破碎されたという。水平掘削の井戸も2004年ごろから急増し、2000年代末には垂直掘削の井戸より多くなった<sup>14)</sup>。

しかし、シェール・ガス・オイル採掘には、水圧破碎を中心に環境破壊を引き起こしているのではないかという大きな懸念がある<sup>15)</sup>。2008年ごろから水圧破碎井戸をめぐる環境破壊の事故が起きており、大きな社会的問題となっている。そのため、ニューヨーク州などでは2015年から水圧破碎を禁止する州もでてきており、各州の対応が注目されている<sup>16)</sup>。

## II. シェール・ガス・オイル生産の模索と発展

### (1) 連邦政府の非在来型ガス開発支援政策

シェール・ガス開発・生産の成功は、企業家精神にあふれるミッチェル・エナジー社はじめ、独立系企業の模索と努力によるものであった。

しかし、連邦政府の非在来型ガス開発の支援政策もかなりの役割を演じたので、それから記述

することに<sup>17)</sup>。

石油危機のあと1976年から連邦政府の非在来型ガス(タイト・ガス、コールベット・メタン、シェール・ガス)開発支援政策が始まった。石油危機と同時にガス不足も深刻化しており、その理由はそれまでガス価格が規制され、低く抑制されてきたからである。価格が低いので生産が抑えられ、需要が伸びてガスは不足状態に陥っていたのである。ガスは1960年代から埋蔵量が減少し、生産は1973年をピークに減少していた<sup>18)</sup>。1975-76年にはガス不足から、学校や公共施設が閉鎖になったほどである<sup>19)</sup>。政府は1974年にエネルギー研究開発局(Energy Research and Development Administration, ERDA, 1977年にエネルギー省へ昇格)を新設し、1976年に非在来型ガス開発リサーチ、つまり、政府・産業の共同R&Dプログラムを発足させた。また、1978年には非在来型ガスに高価格を認め、さらに1980年からは非在来型ガスの生産に税額控除を認めた<sup>20)</sup>。こうして、エネル

<sup>17)</sup> この項目は、Vello A. Kuuskraa, and Hugh D. Guthrie, "Translating Lessons Learned from Unconventional Natural Gas R&D to Geologic Sequestration Technology," (<http://www.citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.204.8629&rep=rep1&type=pdf> [visited on May 2, 2019]); Zhongmin Wang and Alan Krupnick, "A Retrospective Review of Shale Gas Development in the United States: What Led to the Boom?" Resources for the Future, 2013; Jason Burwen and Jane Flegal, "Unconventional Gas Exploration & Production: Case Studies on the Government's Role in Energy Technology Innovation," American Energy Innovation Council, 2013; John M. Golden and Hannah J. Wiseman, "The Fracking Revolution: Shale Gas as a Case Study in Innovation Policy," *Emory Law Journal*, vol. 64, 2015, pp. 955-1040, を主に使用したが、どの論文も、連邦政府の政策はイノベーションを促進する政策として成功だったと主張している。

<sup>18)</sup> Z. Wang and A. Krupnick, "A Retrospective Review," p. 6.

<sup>19)</sup> V. Kuuskraa and H. D. Guthrie, "Translating Lessons."

<sup>20)</sup> Z. Wang and A. Krupnick, "A Retrospective Review," pp. 8-9. さらに、天然ガス価格の規制緩和も行われた。

<sup>13)</sup> J. F. Hilyard, *The Oil & Gas Industry*, p. 33. 多段階水圧破碎についての説明はGregory Zuckerman, *The Frackers: The Outrageous Inside Story of the New Billionaire Wildcatters*, New York, Portfolio/Penguin, 2013, p. 252を参照。

<sup>14)</sup> J. F. Hilyard, *The Oil & Gas Industry*, p. 94; M. Y. Soliman and R. Dusterhoft, eds., *Fracturing Horizontal Wells*, p. 4

<sup>15)</sup> D. E. Newton, *Fracking*, pp. 84-7, 96-100.

<sup>16)</sup> Wenonah Hauter, *Frackopoly: The Battle for the Future of Energy and the Environment*, New York and London, The New Press, 2016, pp. 227-37.

ギー危機に対処するために、政府は非在来型ガス資源の開発支援に乗り出したのである。

1976年にERDAは東部ガス・シェールズ・プログラム (Eastern Gas Shales Program, EGSP) をはじめとする非在来型ガス開発リサーチを開始したが、その後、それらはエネルギー省に引き継がれた<sup>21)</sup>。EGSPの課題は米国東部地域のガス埋蔵状況を調査すること、そのうち採掘可能な埋蔵量を特定すること、そして、これらのガス資源採掘のための最も効率的な技術を特定することであった<sup>22)</sup>。EGSPはとくに水平掘削の可能性をデモンストレーションするため、35の実験井戸の掘削を支援した<sup>23)</sup>。また、EGSPは水圧破碎の調査を進めるため、ローレンス・リバモア国立研究所などとの協力をはじめ、産業界、大学、そして州の関連機関と協力したのである<sup>24)</sup>。

EGSPは総じて、2011年のドル換算で1億8500万ドルを支出したが、産業と政府によって支出されるエネルギー関連R&Dへの数十億ドルの支出に比べて控えめなレベルであった<sup>25)</sup>。EGSPが開始されたのは、まだシェール・ガスの採掘の可能性がよく理解されていない時期であった。非在来型ガス鉱区では、R&Dに十分

な支出ができない比較的小規模な独立系企業が主流であった。EGSPの測定した地図、技術報告書はガス産業に共有され、シェール・ガス資源が存在することを証明し、早期参入のリスクを低めた。EGSPによる資源推計は、ガス産業にとって決定的であり、どの鉱区を掘削するかを産業が決めるのを支援した。ミッチェル・エナジー社は、EGSPが焦点を当てた東部ではなかったが、テキサス州バーネット鉱区にもガス資源は存在するのではないかと考え、EGSPのデータを研究したという<sup>26)</sup>。

次に、経済的インセンティブのほうを見てゆこう。1970年代のガス不足に対処するため制定された「1978年天然ガス政策法」の107条は、非在来型ガスは高コストだったので、高価格を認め生産のインセンティブとした。また、1979年11月から天然ガスの価格規制は撤廃され、その価格は1980年代初期には2倍以上になった<sup>27)</sup>。

1979年の第2次石油危機は「1980年原油値上がり利益税法」の制定に導いたが、同法は暴騰した石油価格からの高利益に税を課するものであった。同法29条では非在来型ガスの生産に税額控除を認めその生産を促進した。税額控除は1980年から2002年まで継続された<sup>28)</sup>。シェール・ガスについては、たとえば、税額控除は1991年にMcf (1,000立法フィート) 当たり0.96ドルで、当時のガス価格の約50%にも相当したという<sup>29)</sup>。1980-2002年まで、税額控除額は100億ドル、1993年だけで7億6000万ドルになった<sup>30)</sup>。この29条は2002年までに、非在来型ガスの生産を2

<sup>21)</sup> EDRAの非在来型ガス開発リサーチは、EGSPのほかWestern Gas Sands ProgramとMethan Recovery from Coalbeds Programの3つから構成された (Z. Wang and A. Krupnick, "A Retrospective Review," pp. 9-10.)。

<sup>22)</sup> J. Burwen and J. Flegal, "Unconventional Gas Exploration & Production: Case Studies," p. 3.

<sup>23)</sup> J. M. Golden and H. J. Wiseman, "The Fracking Revolution," p. 984.

<sup>24)</sup> J. M. Golden and H. J. Wiseman, "The Fracking Revolution," pp. 984-5.

<sup>25)</sup> J. M. Golden and H. J. Wiseman, "The Fracking Revolution," p. 985. 連邦政府の天然ガスR&D支出は、民間セクターがガス生産を増加させた1990年代末に減少し、1997年に1億1700万ドルに減少し、2001年に4400万ドル、2007年に1200万ドルに減少した (J. Burwen and J. Flegal, "Unconventional Gas Exploration & Production: Case Studies," p. 6)。なお、天然ガス産業のための研究機関Gas Research Institute, GRIも設立され、業界のためのR&D活動を行った。

<sup>26)</sup> J. M. Golden and H. J. Wiseman, "The Fracking Revolution," pp. 985-6.

<sup>27)</sup> Z. Wang and A. Krupnick, "A Retrospective Review," p. 8.

<sup>28)</sup> Z. Wang and A. Krupnick, "A Retrospective Review," p. 8.

<sup>29)</sup> J. Burwen and J. Flegal, "Unconventional Gas Exploration & Production: Case Studies," p. 6.

<sup>30)</sup> J. M. Golden and H. J. Wiseman, "The Fracking Revolution," p. 989.

倍以上にしたという<sup>31)</sup>。

税金に関してはこれだけではない。石油ガス事業においては以前から、井戸の枯渇減耗を考慮し、その売り上げ高、あるいは利益の一定割合を税額控除する減耗控除（depletion allowance）が有名であった。この減耗控除は1975年、大手企業に対しては廃止されたが、独立系企業には残ったのであった。議会予算局は2011年会計年度にその総額を9億ドルと推定した。こうしてそれぞれのインセンティブが、独立系企業に有利に作用したといえよう<sup>32)</sup>。

こうして、タイト・ガス、コールベット・メタン、ガス・シェールを合わせた非在来型ガスの生産量は、1978年に1兆6300億立方フィートから、1999年には4兆5200億立方フィートに約3倍に増え、埋蔵量は1978年の20兆立方フィートから1999年に53兆立方フィートになったのである<sup>33)</sup>。

1976年から始まった政府・産業共同R&Dプログラムは、産業界が非在来型ガス開発は困難だと考えていた時期に始動し、広範な基礎的情報を収集し、非在来型ガス開発がある程度可能であることを明らかにした。ミッチェル・エナジー社をはじめとする産業界はそれを出発点とし、特定鉱区で実際に採掘する応用を行うことができたのである。非在来型ガスにたいする高価格の承認や税額控除も、産業界が非在来型ガス開発を行う強いインセンティブとなった。

## (2) 水圧破碎法の模索と達成

シェール生産の技術革新の第1期は、水圧破碎法によってシェール・ガス生産が模索され、

成功するまでの1981-98年の時期である。この時期に決定的な役割を演じたのは、ジョージ・ミッチェル（George Mitchell）であった。テキサスA&M大学で地質学を専攻したミッチェルは第2次大戦後、ヒューストンにおいて石油コンサルタントとして活動したが、その顧客となった会社（Oil Drilling, Inc.）の共同経営者になった。ミッチェルはこの会社の経営とともにコンサル事業を続け、その縁で同社はテキサス州北部ワイズ郡に3,000エーカーの牧畜場とガス・リース契約を行った。1951年、同社はそこでのガス生産に成功したため、近隣に30万エーカーのリース契約を行った<sup>34)</sup>。

Oil Drilling, Inc.はガス埋蔵地を確保したが、販売先に困っていた。だが、テキサス州からシカゴ市場にガスを輸送する予定のパイプライン会社（Natural Gas Pipeline Co. of America）が同社と取引をはじめ、1957年に、同社と20年契約を結び、良好な条件でガスを買上げることになった。この契約は1995年まで続き、同社の経営を安定させた。ミッチェルは1968年、Oil Drilling, Inc.の共同経営者から持ち分を買取り、同社はMitchell Energy & Development Corp.（以下、ミッチェル・エナジー社と略記する）と改称した<sup>35)</sup>。

ミッチェル・エナジー社に転機が訪れたのは、1970年代末であった。同社にとっての主力のワイズ郡のガス田が枯渇しつつあったのである。ミッチェルは代替のガス埋蔵地を探すが見つからず、ある地質学論文を読み、ワイズ郡の地下深くにシェール（頁岩）と呼ばれる厚い岩層があり、相当の量のガス埋蔵量を含んでいる可能

<sup>31)</sup>J. Burwen and J. Flegal, "Unconventional Gas Exploration & Production: Case Studies," p. 6.

<sup>32)</sup>J. M. Golden and H. J. Wiseman, "The Fracking Revolution," p. 991. いくつかの州では、高コストの非在来型ガスを免税にしている。

<sup>33)</sup>V. A. Kuuskraa and H. D. Guthrie, "Translating Lessons."

<sup>34)</sup>Joseph W. Kutchin, *How Mitchell Energy & Development Corp. Got Its Start and How It Grew*, USA, Universal Publishers, 2001, pp. 16-17, 20; R. Gold, *The Boom*, p. 92; Dan B. Steward, *The Barnett Shale Play: Phoenix of the Fort Worth Basin A History*, The Fort Worth Geological Society, 2007, p. 26.

<sup>35)</sup>J. W. Kutchin, *How Mitchell Energy & Development Corp. Got Its Start*, pp. 20-1, 23.

性を知った。このシェール層は地表から1マイルか、それ以上深いところにあり、テキサス州北部のほとんどの地下を走っており、バーネット・シェール (Barnett Shale) と呼ばれていた。ミッチェル・エナジー社のリース地の地下にも走っていた。1981年までには、パイプライン会社がミッチェル・エナジー社の主力ガス田が枯渇しつつあると懸念を表明した。そこで、同社はこのシェール・ガス採掘の可能性に賭けたのであった<sup>36)</sup>。

ミッチェル・エナジー社がシェール・ガス採掘に乗り出す前に、前述のように連邦政府は1976年に「東部ガス・シェールズ・プロジェクト」などの政府・産業共同R&Dプログラムを開始していた。また、カーター政権は「1978年天然ガス政策法」によって15,000フィート (4,572メートル) より深い地層から採掘されたガスに高い価格設定を許し、また1980年からは税額控除も認め、非在来型ガス生産を促進しようとした<sup>37)</sup>。

ミッチェル・エナジー社はこれらの政策支援を利用しようとした。深いシェール層からガスを採掘するには、水圧破碎によってシェール地層に割れ目を作り、ガスを取り出すしかなかった。1981年、ミッチェル・エナジー社はワイズ郡のC. W. Slay 1号井を水圧破碎法で掘削したが、ガスの生産量は少なかった。ミッチェルはバーネット・シェールの可能性を諦めなかったが、シェール地層のより詳細な情報、掘削法の改善 (溶剤の種類、砂の量など) が必要であった。1980年代中期までには、バーネット・シェールでのガス生産量を増やすには、水圧破碎しかないことが明らかになったが、まだ、どのように改善をすべきかは分からなかった<sup>38)</sup>。

<sup>36)</sup> G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 33-4; D. D. Hinton, *Shale Boom*, pp. 40-1.

<sup>37)</sup> G. Zuckerman, *The Frackers*, p. 35; D. D. Hinton, *Shale Boom*, p. 39.

<sup>38)</sup> D. D. Hinton, *Shale Boom*, pp. 39, 41-2.

1990年代に入ると、いくつかのタイプの水圧破碎方法が全米にわたって普通のことになってきた。ミッチェル・エナジー社では1995年、ニック・ステインバーガーがバーネット鉱区 (Barnett Basin) のガス井での水圧破碎法の推進役を任された。現場で困難に直面したステインバーガーは、フラッキング (水圧破碎) の方法について、ゼリー状の溶剤ではなく、化学物質も少なくした潤滑水 (slickwater) にしたほうがよいという意見に傾いた。というのは、シェール・ガス採掘に挑んでいたユニオン・パシフィック・リソーシズ社 (ユニオン・パシフィック鉄道会社の関連会社) の友人から同様の助言をもらったからであった。また、ユニオン・パシフィック・リソーシズ社の別の友人は、砂の量を少なくするライト・サンド・フラッキング方法をステインバーガーに勧めていた。1997年に、潤滑水とライト・サンド・フラッキング方法は効果を表し、コストも大いに削減できた<sup>39)</sup>。

ステインバーガーにライト・サンド・フラッキングを勧めた友人は、1982年にハリバートン社のエンジニアになり、ミッチェル・エナジー社のC. W. Slay 1号井の仕上げに出向・従事していた。そして、1991年まで、ミッチェル・エナジー社のバーネット・ガス井で仕事をし、1991年にユニオン・パシフィック・リソーシズ社に転職した。同社はコットン・バレーでライト・サンド・フラッキングを実践していた。ステインバーガーは12か月間、ライト・サンド・フラッキングを試み、すべてのガス井で成功し、砂の量を6分の1に減らし、コストを60%削減するのに成功した<sup>40)</sup>。

<sup>39)</sup> Nissa Darbonne, *The American Shales: From Rich Rock, Unconventional Ideas and Unwavering Determination to a Renewed World Energy Future*, North Charleston, South Carolina, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014, p.8; G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 73, 77; D. D. Hinton, *Shale Boom*, pp. 43-4.

<sup>40)</sup> N. Darbonne, *The American Shales*, pp. 8-9, 12-13.

ミッチェル・エナジー社が水圧破碎法に挑んでから1997年までの16年間に、同社はバーネット・シェール開発に2億5000万ドルを投資したが、それ程の成果はなかったので社内ではフラストレーションが高まっていた。そのころ、ようやく、ステインバーガーの努力が実り始めた。1998年初夏、バーネット鉱区の300のガス井のなかで最も良好であったS. H. Griffin 3号井からガスが日量150万立方フィート生産され始めた。半信半疑のステインバーガーたちは、3か月間その成果を観察しようやく成功したと確信した。1998年9月からは、ミッチェル・エナジー社のすべてのガス井に、ステインバーガーの新方法、つまり潤滑水とライト・サンド・フラッキングを適用することになった。同社は掘削活動を強め、2週間ごとにひとつのガス井を新規に掘削し、ミッチェルは興奮したという<sup>41)</sup>。

しかしながら、ミッチェル・エナジー社の株価は1998年末に夏から60%も下落し、10ドルを下回った。同社は膨大な支出のために、貸し手ももう貸せないというほど借りていた。ミッチェルは自社株を抵当にして10もの銀行から融資を受けていた。ミッチェルがバーネット鉱区でのシェール・ガス採掘という非常に困難な事業に成功したことは、エネルギー産業における輝かしい前進であった。しかし、投資家、ライバル企業、そして業界はほとんど評価しなかった。誰もブレイクスルーとは見なさず、バーネット鉱区にはそれほどガスは埋蔵されていないと考えられ、時間の無駄と思われたのである<sup>42)</sup>。

一方、ミッチェルはバーネット鉱区には膨大なガス埋蔵量があると確信していた。しかし、ミッチェル・エナジー社のガス井は最初にはガスが出るが、すぐに生産量が減ってしまうようだと、巨大企業のエクソンモービル社やコノコ社

はミッチェルの試みを無視していた。それで、ミッチェル・エナジー社に投資する人・会社はなかなか現れなかった。同社はバーネット鉱区で、水平掘削に進もうとしていたが、そこまでの前進は困難であった。同社のガス生産は1999年夏、日量1億立方フィート、2001年夏、日量3億立方フィートになった。独立系ガス生産者、デボン・エナジー社（Devon Energy Corp.）の会長が関心を寄せたという。2001年8月、デボン・エナジー社が総額35億ドルでミッチェル・エナジー社の買収に合意した<sup>43)</sup>。ここがシェール革命の出発点であろう<sup>44)</sup>。

### (3) 水圧破碎法の水平掘削井への導入

シェール生産の技術革新の第2期は、水圧破碎法が水平掘削井へ導入されてゆく1999-2007年頃までの時期であろう。1998年にミッチェル・エナジー社がシェール・ガスの水圧破碎に成功し、水平掘削を推進するデボン・エナジー社に2002年に買収されると、シェール・ガス生産の可能性への期待が高まり、多くの独立系企業がシェール・ガス生産に参入してきた<sup>45)</sup>。

水平掘削は1929年に初めてテキサス州で行われたが、そのプロセスが改善され一定の成功を見たのは1980年代初期になってからといわれて

<sup>43)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 98, 105-9. 当初、デボン社はミッチェル社の買収に関心を示さなかった。それはシェール・ガス採掘が可能とは思わなかったからである（R. Gold, *The Boom*, p. 135）。

<sup>44)</sup>Daniel Raimi, *The Fracking Debate: The Risks, Benefits, and Uncertainties of the Shale Revolution*, New York, Columbia University Press, 2018, p. 17. なお、シェール革命における政府の役割をどう見るかという問題があるが、ミッチェル社の努力を無視することは不可能である。「ミッチェル社が掘削プロセスや注入溶液について洗練させる仕事を終えて、はじめて水圧破碎の商業生産が始まった」（Michael Shellenberger, *et al.*, “Where the Shale Gas Revolution Came From: Government’s Role in the Development of Hydraulic Fracturing in Shale,” Breakthrough Institute Energy & Climate Program, 2012）という指摘がある。的を得た指摘であろう。

<sup>45)</sup>D. D. Hinton, *Shale Boom*, pp. 48-66.

<sup>41)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 91-3.

<sup>42)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 93-5.

いる。たとえば、サン石油会社は1984年にテキサス州南部オースティン・チョーク鉦区にて石油の水平掘削を試みるようになった。1986年には同社は5つの油井で水平掘削を行い、かなりの成功を見た。サン石油会社だけではなく、ユニオン・パシフィック・リソース社も同地域で水平掘削を試みていた。サン石油は水平掘削による石油の生産の可能性は大きいと考え、1988年にこの事業をオリックス・エナジー社として分離独立させた<sup>46)</sup>。

オリックス・エナジー社は水平掘削を推進し、水平に4,000フィート(1,219メートル)掘削し、生産量を増加させた。こうして、エネルギー産業は水平掘削の利点を確信するようになった。しかし、オリックス・エナジー社の経営は行き詰まった。というのは、オースティン・チョーク鉦区の地層は自然にひび割れており、水平掘削するだけで石油・ガスが割れ目を通して油・ガス井に入るからである。通常はそうではなく、水圧破碎によって頁岩に割れ目を人為的に作り出さなければならないが、オリックス・エナジー社は水圧破碎技術を体得していなかった。オースティン・チョーク以外では石油・ガス生産量を増加させることができず、資金調達ができなくなった<sup>47)</sup>。シェール・ガス・オイルの生産には、水平掘削だけではなく、水圧破碎技術との結合が必要であった。だから、水圧破碎のミッチェル・エナジー社が水平掘削を推進するデボン・エナジー社に買収されたことが非常に重要なのである。

そこで、両者が合流したテキサス州北部のバーネット鉦区では、シェール・ブームが沸き起るのである。1999年中期にバーネット鉦区でガ

ス採掘に従事する企業は11社となった。2000年9月、フォトワースの石油情報図書館がバーネット・シェール生産について、シンポジウムを開催し、200名以上の独立系企業、大手企業関係者が参加した。このなかに、バーネット鉦区でチーフ石油ガス会社を設立するレーバー・レイス・ジョーンズがいた。2000年には新規油井掘削の準備ができていたという。2003年夏、チーフ石油ガス会社は初めて水平掘削に挑戦した<sup>48)</sup>。

バーネット鉦区には、チーフ石油ガス会社だけでなく、チェサピーク・エナジー社、XTOエナジー社、バーリントン・リソース社などが参入してきた。オクラホマ州のチェサピーク・エナジー社は2002年にカーナン社を買収し、バーネット鉦区に参入を果たした。カーナン社はホールウッド社の株式を持っており、ホールウッド社はバーネット鉦区に42のガス井を持ち、そのうち11が水平掘削式ガス井であった。チェサピーク・エナジー社はこれらを合わせて日量5,000万立方フィートのガスを生産するようになった<sup>49)</sup>。

XTOエナジー社は2004年にフォアセブンズ社からバーネット鉦区の資産を買収し、同鉦区に参入してきた。フォアセブンズ社は地元独立系であり、シンクレア石油会社と提携し、積極的なリース地拡大を推進していた。XTOエナジー社はいくつかの会社がバーネット鉦区に持つ資産を次々と買収し、同鉦区ではデボン・エナジー社に次ぐガス生産者となった<sup>50)</sup>。

バーリントン・リソース社はバーリントン・ノーザン鉄道会社から分離した企業で、ノースダコタ州などで事業を行っていたが、資産を一部売却し、2002年、テキサス州ワイズ郡の40油井を購入した。2003年には油井を163に増やし、

<sup>46)</sup>Michelle Bamberger and Robert Oswald, *The Real Costs of Fracking: How America's Shale Gas Boom is Threatening our Families, Pets, and Food*, Boston, Beacon Press, 2014, p.3; G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 51-2, 56-7.

<sup>47)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 58-9, 63.

<sup>48)</sup>N. Darbonne, *The American Shales*, pp. 97, 105, 108.

<sup>49)</sup>N. Darbonne, *The American Shales*, pp. 109-10.

<sup>50)</sup>D. D. Hinton, *Shale Boom*, pp. 55, 62-3; N. Darbonne, *The American Shales*, p. 111.

2 油井で初めて水平掘削を始めた。2005年には大企業コノコフィリップス社がバーリントン・リソーシズ社を356億ドルで買収した。大企業がシェール・ガス生産に直接かかわった最初の事例であった<sup>51)</sup>。

2005年頃からバーネット鉦区は転換を遂げ、日量17億立方フィートのガス生産を行うようになっていた。チェサピーク・エナジー社やXT Oエナジー社が活躍する一方、デボン・エナジー社はワイズ郡のリース地を拡大し、2年間に1,000を超える水平掘削油井を掘削し、2005年中期にはバーネット鉦区およびテキサス州の最大の、全米では3位のガス生産者になっていた。デボン・エナジー社はチーフ石油ガス会社を買収し、バーネット鉦区に2,200のガス井を持ち、1,300ガス井を自ら採掘した<sup>52)</sup>。

こうして、ミッチェル・エナジー社とデボン・エナジー社の成功に刺激され、バーネット鉦区を中心に独立系企業が勃興し、水平掘削と水圧破碎を組み合わせたシェール生産の技術革新が進展したのである<sup>53)</sup>。

#### (4) 攻撃的ビジネス・モデル

シェール・ガス生産技術が確立されつつあった2000年代中期に、攻撃的ビジネス・モデルを展開し大企業へと成長を遂げた企業群があった。その代表例がオーブリー・マクレンドン (Aubrey McClendon) が会長でトム・ウォード (Tom Ward) が社長であったチェサピー

ク・エナジー社 (Chesapeake Energy Corp.) であった。同社はオクラホマ・シティで設立され、テキサス州とルイジアナ州にまたがるオースティン・チョーク鉦区に参入した。マクレンドンたちは水平掘削が生産を革命化すると認識し、同鉦区で水平掘削を試み成功しつつあった<sup>54)</sup>。チェサピーク・エナジー社は同鉦区の100のガス井から6,000億立方フィートのガスを生産するようになった。同社の株価は1994年初期に5ドル以下であったが、1996年には株価が70ドル、株式時価総額が10億ドルとなった<sup>55)</sup>。

チェサピーク・エナジー社は失敗もしている。同社はオキシデンタル石油会社がオースティン・チョーク鉦区 (ルイジアナ州側) にリース地を確保し始めたこと知ると、対抗上、100万エーカー以上をリースした。しかし、そのリース地からはガスはほとんど産出されなかった。その地域では自然の割れ目が多くなく、ガスを採掘することは困難であった。1997年には同社はこのリース地を諦め、2億ドルに上るライトオフ (償却) を行った、1999年には同社の株価は0.7ドル、株式時価総額も7,500万ドルに収縮したのだった<sup>56)</sup>。

マクレンドンたちは水平掘削を称賛してきたが、「水圧破碎」の技術も進歩し、確実にガスを採掘できるようになったと確信した。かつては、多くの優秀なエンジニアや設備を抱えた巨大石油企業が、独立系企業にたいして圧倒的に優位に立っていたが、水圧破碎の技術が進んだ今、独立系企業でも大きな成果を挙げられるようになった。だから、マクレンドンたちの戦略は、競争者より先に有望な埋蔵地を確保し、できるだけ多くのガス埋蔵地を確保してしまうことだった。そうすれば、独立系企業でも優位性を持てるのだと考え、その戦略を銀行家たちに

<sup>51)</sup>N. Darbonne, *The American Shales*, pp. 16-7, 112.

<sup>52)</sup>N. Darbonne, *The American Shales*, pp. 113, 119; D. D. Hinton, *Shale Boom*, p. 64.

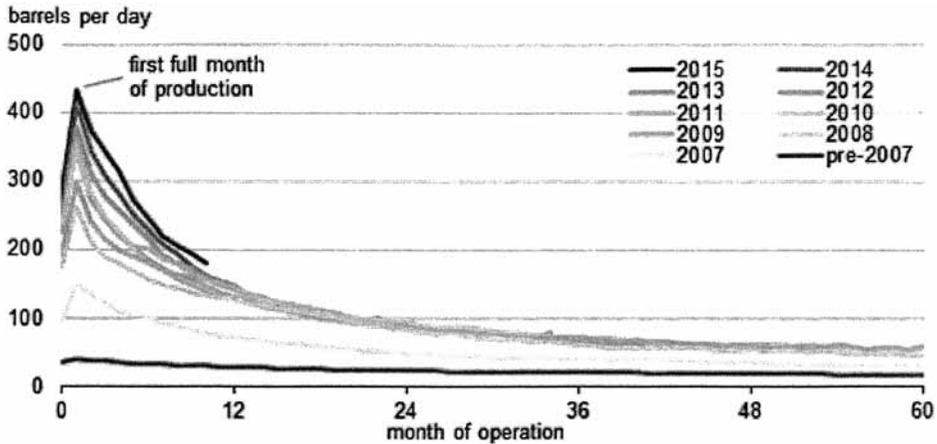
<sup>53)</sup>D. D. Hinton, *Shale Boom*, pp. 48-66. シェール革命が独立系によって担われたことについては、次の指摘がある。「巨大企業は外国の巨大油田を発見することに関心があり、アメリカ国内での掘削方法の改善には関心がなかった。巨大会社はアメリカには巨大油田はもう存在しないと確信していた」(G. Zuckerman, *The Frackers*, p. 59.)。独立系の石油会社は外国進出する余裕はなく、アメリカ国内のチャンスに賭けるしかなかったからではないか。

<sup>54)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp.137-8.

<sup>55)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, p.138.

<sup>56)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp.139-42.

図3 平均的シェール油井の石油生産量 (バッケン鉱区)



(出所) “Initial Production Rates in Tight Oil Formations Continue to Rise,” U.S.Department of Energy, Energy Information Administration, Today in Energy, Feb. 11, 2016.

語り始めた<sup>57)</sup>。マクレンドンたちはリース地を大規模に買い占めるビジネス・モデルを目指し始めたのである。

チェサピーク・エナジー社は2000年にオクラホマ州に埋蔵地を確保していたゴチック・エナジー社を買収し、2002年にはバーネット鉱区に7,000エーカーの埋蔵地を持つカーナン・エナジー社を買収した<sup>58)</sup>。デボン・エナジー社がミッチェル・エナジー社を買収した2002年までには、バーネット鉱区はシェール地層の代表として著名になっていた。同社はシェール生産革命に追いつこうと、2004年にバーネット鉱区に18,000エーカーの埋蔵地をもち、水平掘削と水圧破砕で成功していたホールウッド社を3億ドルで買収した。しかし、チェサピーク・エナジー社はアンテロ・リソース社の買収をめぐって、6億5000万ドルを提示したXTOエナジー社に競り負けた<sup>59)</sup>。

そこで、チェサピーク・エナジー社は攻撃的なリース地拡大戦略をとり、1エーカー当たり250ドル、場合によっては800ドルを支払った。

同社はこの戦略をとって、バーネット鉱区では競争者に追いついたという。同社は数千名のランドマン (landman; 有望なリース地の所有者と交渉・契約する代理業者) を駆使し、全国的に数百万エーカーのリース地を確保した<sup>60)</sup>。

2005年には、チェサピーク・エナジー社はウェストバージニア州からニューヨーク州に広がる埋蔵地を持つコロンビア・ナチュラル・リソース社を22億ドルで買収した。コロンビア社は米国東部で第2位のガス生産者であり、チェサピーク・エナジー社はこれで、将来にわたり7兆立方フィートのガス生産が可能な800万エーカーのリース地を確保し、全米6位のガス生産者にのし上がった<sup>61)</sup>。マクレンドンがリース地を過剰拡大するには、もうひとつ理由があった。それは図3に示すように、シェール・ガス井の場合には生産を開始してから1年間、生産量は

<sup>57)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp.189-90.

<sup>58)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp.190-2.

<sup>59)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp.195-7.

<sup>60)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, p. 199. チェサピーク・エナジー社は1エーカー当たり1,000ドル、あるいはそれ以上支払ったという。同社のこのような戦略は「買収・開発モデル (acquire-and-exploit model)」と呼ばれた (N. Darbonne, *The American Shales*, pp. 136-7.)

<sup>61)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 215-7. マクレンドンがリース地を過剰拡大したので、共同経営者のウォードは不安になり、2006年にチェサピーク社を退社することになった (G. Zuckerman, *The Frackers*, p. 241).

著しく伸びるが、2年目くらいから生産量が急激に減少してゆくからである<sup>62)</sup>。既存ガス井の枯渇に備えて、新規ガス井の開発が必要で、生産量を拡大してゆくには、次から次へと埋蔵地を確保してゆく必要があったのである<sup>63)</sup>。

2007年には、マクレンドンはワイオミング州の100万エーカーの埋蔵地を購入する秘密契約を結んだ。2008年にはマーセラス鉦区にもリース地を確保した。チェサピーク・エナジー社のリース地拡大戦略は留まることを知らなかった。2011年にはチェサピーク・エナジー社はガス生産でエクソンモービル社に次いで全米2位になり、2012年ガス生産量は1.1兆立方フィートになったのである<sup>64)</sup>。

チェサピーク・エナジー社のような小規模な企業が、トップ企業に迫る強力な大企業になりえたのは、水平掘削と水圧破碎を組み合わせたシェール・ガス生産技術、埋蔵地リースの大規模な拡張、そしてそれを支えたウォール街からの巨額の融資であった。同社の後に、XTOエナジー社、EOGリソース社、デボン・エナジー社、そしてアナダルコ石油会社などが似たような「攻撃的ビジネス・モデル」で成長したのだった<sup>65)</sup>。

しかし、マクレンドンがのちに失脚することになるのは、その成功モデルそのものにあった。チェサピーク・エナジー社が急速に全米2位のガス生産者になりえたのは、ウェストバージニア州の面積に近いリース地を確保できたためであるが、それは同社の負債の急拡大によって可能になった。同社の負債は、2004年に31億ドル、2005年に55億ドル、そして2008年には132億ドルに膨張していた<sup>66)</sup>。

チェサピーク・エナジー社の負債の拡大には、次のような側面があった。同社は2007年に資金調達に困り、マクレンドンの知人の投資銀行家のラルフ・イーダに依頼し、「生産後支払い債」(Volumetric Production Payment)という、有望な埋蔵地にたいして資金を借り、生産後に返済する金融方式を採用し、資金を集めることになった。ガスの生産ができなければ返済できないリスクな金融方式であった。当時、同社はこの金融方式によって60億ドルの資金を調達することができたが、ウォール街の投資銀行に深く依存することになった。また、同社は2008年にマーセラス鉦区などに埋蔵地を確保できたが、掘削の資金を確保できなかった。そこで、他の石油会社がチェサピーク・エナジー社の確保した埋蔵地にたいし20%の権利を購入し、さらに7年間にわたりチェサピーク・エナジー社の掘削費用の半分を支出して20%の利益を受け取るという取り決めが行われた。事実上、共同掘削事業が行われたことになる。ともあれ、チェサピーク・エナジー社の大規模な拡張路線は、限界に達しつつあることを示していた<sup>67)</sup>。

そのころ、2008年の金融危機によって、チェサピーク・エナジー社の「攻撃的ビジネス・モデル」は危機に陥りつつあった。マーセラス鉦区での掘削事業は続けることができなくなっていった。2009年になると、チェサピーク・エナジー社内外でマクレンドンの評価に疑問が生じ始めた。まず、第1に、オクラホマ州などのライム地層に大規模なリース地を確保しようとしたとき、株主から警戒の声が上がった。2010年末、チェサピーク・エナジー社の6%の株主でもあったカール・アイカーン (Carl Icahn) から、負債が多すぎるので50億ドルほどの資産を売却するよう提案があった。同社はアーカンソー州のガス埋蔵地を、外国企業に47億5000万ドルで

<sup>62)</sup>「シェール井は最初の2年間でそれが生産する量の50%ほどを生産し、最大生産量が最初の6か月で生産される」(Dan Dicker, *Shale Boom Shale Bust*, 2015, p. 23)。

<sup>63)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 241-2.

<sup>64)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 242, 265-8, 346-7.

<sup>65)</sup>R. Gold, *The Boom*, p. 188.

<sup>66)</sup>R. Gold, *The Boom*, p. 155.

<sup>67)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 243-4, 268-9.

売却した<sup>68)</sup>。第2に、マクレンドンは水圧破碎推進に強気であったが、マーセラス鉦区を輸送するために計画されたパイプラインに、2012年から住民の反対が沸き起こったのである<sup>69)</sup>。チェサピーク・エナジー社の将来に暗雲が垂れこめてきたのである。

そして第3は、マクレンドンの辞任の直接の契機となった、不明朗な融資事件であった。2012年1月、チェサピーク・エナジー社では経営危機に際して、同年末までに掘削費用を半分に減らし、生産地を絞って90億ドルの利益を稼ぎ出し、膨張しきった負債を減少させる経営方針を打ち出した。この経営方針には、買い集めたリース地を現金化するプロセスも含まれていた<sup>70)</sup>。会社はその巨額に上るリース地をEIGグローバル・エナジー・パートナーズ社という企業に売却する予定であった。ところが、マクレンドンの子会社とそのEIGグローバル・エナジー・パートナーズ社から10億ドルの融資を受けているのが明らかとなった。

チェサピーク・エナジー社には以前から同社のガス井の取得に際して、創業者であるマクレンドンらが、そのガス井に2.5%の投資をする権利を認めていた。創業者たちにガス井からの利益を与える特典なのであろう。この10億ドルは同社の新規ガス井へのマクレンドンの投資に使われる予定であった<sup>71)</sup>。チェサピーク・エナジー社が経営危機の際に、経営責任者のマクレンドンが利害関係者であるEIGグローバル・エナジー・パートナーズ社から融資を受けてまで個人の利益を確保しようとするのが公私混同と受け止められたのであろう。チェサピーク・エナジー社内外において、マクレンドンへの批判が一気に高まり、マクレンドンは2013年4月

に同社を去ることになった<sup>72)</sup>。

### (5) シェール・ガス・オイル鉦区の拡大

有力なシェール・ガス・オイル鉦区には、バーネット鉦区のほか、バーミアン鉦区、イーグル・フォード鉦区（ともにテキサス州）、ヘインズビル鉦区（テキサス州、アーカンソー州、ルイジアナ州）、ファイエットビル鉦区（アーカンソー州）などがある。シェール・ガス・オイルの生産は2004年以降テキサス州以外の主要な鉦区にも広がった<sup>73)</sup>。ここでは、主に石油のとれるバッケン鉦区とガスのとれるマーセラス鉦区を取り上げる。

ノースダコタ州とモンタナ州に跨るバッケン（Bakken）鉦区では、1951年に初めて油田が発見され、1970年代から小規模事業者が石油採掘を模索してきた。そのなかで鉄道会社から分離したバーリントン・リソースズ社が、1987年に初めて水平掘削を試みた。同社は1993年までに103油井を掘削したが、それほど生産量には達せず、その試みは長くは続かなかった<sup>74)</sup>。

オクラホマ州で石油事業を始めたコンチネンタル・リソースズ社（Continental Resources Inc.）は、同州ではチェサピーク・エナジー社などとの競争が激しく、大企業が軽視してきたノースダコタ州を目指すことにした。同社は当初、垂直掘削を行ったが、オリックス・エナジー社やチェサピーク・エナジー社の水平掘削の成功例から水平掘削に転じた。水平掘削は高コストだが、試みなければならぬと判断した。そこで、同社は1億5000万ドルの社債を発行し、1995年、ノースダコタ州セダーヒル鉦区に最初

<sup>68)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 290, 341-5.

<sup>69)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, p. 342-4.

<sup>70)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, p. 347.

<sup>71)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 347-8; R. Gold, *The Boom*, pp. 206-8.

<sup>72)</sup>R. Gold, *The Boom*, pp. 206-8.

<sup>73)</sup>David A. Wapless, *The Natural Gas Industry in Appalachia: A History from the First Discovery to the Tapping of the Marcellus Shale*, 2<sup>nd</sup> ed., McFarland Co., Inc., 2012, p. 229.

<sup>74)</sup>N. Darbonne, *The American Shales*, pp. 15-20; G. Zuckerman, *The Frackers*, p. 229.

の油井を掘削した。その後、セダーヒル鉱区では全面的に水平掘削が行われた<sup>75)</sup>。

2000年代初期、コンチネンタル・リソーシズ社の創業者ハロルド・ハム（Harold Hamm）はバッケン地層には石油が大量に埋蔵されており、その固い地層には水平掘削と水圧破碎が必要だと確信するようになった。固い地層では石油の微粒子はガスの微粒子より動かないのであり、水圧破碎の技術の改善によって動くように、つまり生産できるようになってきた。同社は2002-03年にモンタナ州東部や西部に10万エーカー以上のリース地を確保した。2004年にはノースダコタ州において最初の油井を「水平掘削」のち、水圧破碎を行い始めた<sup>76)</sup>。

コンチネンタル・リソーシズ社においてリース地の拡大、水平掘削、そして水圧破碎の費用は数百万ドルに達し、同社の経営を苦しめた。ハムはノースダコタ州の資産の半分を売却することさえ考えたが、売却先が見つからなかった。そのようなとき、バッケン鉱区に有力な競争者が現れた。1999年にエンロンから分離したEOGリソーシズ社であった。EOGリソーシズ社は2004年にノースダコタ州に3.5万エーカーのリース地を確保しただけであったが、2006年には14.4万エーカーを確保していた<sup>77)</sup>。

コンチネンタル・リソーシズ社は資金不足からゆっくりとしたスピードで事業展開をすることを考えた。しかし、水圧破碎がうまくゆかなかった。そのとき、EOGリソーシズ社が水圧破碎の方法を革新し、水平掘削井を数セクションに分け、特定の部分だけを水圧破碎することで、石油の生産量を増やす「多段階水圧破碎（multistaged fracking）」を開発したのである。さらに同時期に、水平掘削井の長さを2マ

イル（3,218メートル）にする方法も成功し、これも石油生産量を増やすのに寄与した。コンチネンタル・リソーシズ社はこうした技術革新を取り入れ、2006年に2億5300万ドルの利益を上げるようになっていた<sup>78)</sup>。バッケン鉱区の事例では、シェール生産革命は石油にも及び、その技術的基盤が一層拡張されたことを示している。

他方、有力なガス生産地であるマーセラス（Marcellus）鉱区（ペンシルバニア州など）では本格的な開発が2005年から始まった。同鉱区が全米のシェール・ガスの半分以上を埋蔵していることは、20世紀中には地質学者には明らかになっていった。マーセラス地層の「フェアウェイ」（経済的に採掘できる地域）はペンシルバニア州、ウェストバージニア州、そしてオハイオ州東部であり、深さ8,500フィートで南西方向に走っている。南西部は「ウェット」（ガス液）であり、北東部は「ドライ」である<sup>79)</sup>。

マーセラス鉱区で本格的にシェール生産を行ったのは、レンジ・リソーシズ社（Range Resources Corp.）である。同社は1976年に創業され、1998年にレンジ・リソーシズ社と改称した。同社はマーセラス鉱区において2003年からシェール・ガス生産に取り組んだが、2004年10月に水圧破碎に成功し、在来型ガス井と比較して4倍の産出量をえた。同社は2007年10月に、5つの水平掘削井戸で成功したと公表した。リース契約時のボーナス支払いは1エーカー当たり5,000ドルに高騰したという<sup>80)</sup>。

ペンシルバニア州立大学の地質学者エンゲルダー教授らはマーセラス鉱区には500兆立方フィー

<sup>75)</sup> N. Darbonne, *The American Shales*, p. 89; G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 154, 163-9.

<sup>76)</sup> G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 203-4, 231.

<sup>77)</sup> N. Darbonne, *The American Shales*, p. 151; G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 232-3.

<sup>78)</sup> G. Zuckerman, *The Frackers*, pp. 250-3. 多段階水圧破碎を導入した油井は1基、800万ドルするとされたが、コンチネンタル社は石油の生産高も増大すると考えていた（G. Zuckerman, *The Frackers*, p. 252）。

<sup>79)</sup> D. A. Wapless, *The Natural Gas Industry in Appalachia*, pp. 230-1, 235.

<sup>80)</sup> D. A. Wapless, *The Natural Gas Industry in Appalachia*, p. 232.

トのガス埋蔵があるとの推計を公表し、大きな影響力をもった。世界で第2位のシェール・ガス田であるという。マーセラスの埋蔵はペンシルバニア州の北東部と南西部に集中している。1000立法フィート当たり4ドルという低い価格水準でも、各ガス井の生産費用が300万ドルから400万ドルなら、レインジ・リソース社のような企業にとっては60%の利益率になるという<sup>81)</sup>。

レインジ・リソース社はペンシルバニア州に100万エーカーのリース地を確保し、2011年中期には239ガス井を操業していた。同社に続いて、2009年には19社がリース地を確保し、2011年には数ダースの企業が進出してきた。チェサピーク・エナジー社は2005年に、コロンビア・ナチュラル・リソースを買収し、150万エーカーを確保し、マーセラス鉱区において最大のリース地所有者となった。2010年に終わる18か月間で、チェサピーク・エナジー社を首位とする上位5社は、マーセラス鉱区のガス生産の69%を占めたという。同社は2011年中期には、ペンシルバニア州だけで110のガス井を操業していたという<sup>82)</sup>。

チェサピーク・エナジー社に次ぐのが、カナダ系のタリスマン・エナジー社であり、80万エーカーのリース地を確保し、185のガス井を操業していた。マーセラス鉱区には、イギリス、ノルウェー、ロシア、そして日本の企業が押し寄せた。イギリスのBGグループがマーセラス鉱区に18.6万エーカーのリース地をもつダラスの会社に90億ドルの投資を行い、50%の持ち分をもった。インド最大の民間企業リアイアント・インダストリーズがマーセラス鉱区の10.4万エーカーをもつ米国企業に3.92億ドルを投資し、日

本の三井物産がアナダルコ石油会社に14億ドル投資し、第3位の投資家となっていた<sup>83)</sup>。

こうしてマーセラス鉱区はシェール・ガス井への許可が、2007年に71件から、2010年には3,314件に急増した。現在では、ユーチカ鉱区を含むマーセラス鉱区が、アメリカの天然ガス生産の29%を占め、最大の生産地になっており、他の鉱区にたいして独走状態にある<sup>84)</sup>。マーセラス鉱区はテキサス州以外での巨大なシェール・ガス埋蔵地であり、そのガス生産量は将来、全米の45%をも占めるようになると推定されている。

### Ⅲ. シェール・オイルとOPECの「価格戦争」

#### (1) シェール・オイルに対するOPECの対応

2008年、アメリカの石油消費量は国内石油生産量をおよそ日量1,300万バレル上回り、この不足分は国外から輸入された。シェール生産革命によって国内石油生産量が増えたので、この石油輸入量は2014年までに日量750万バレル以下に減少した。2008年から2014年にかけて、アメリカに石油を輸出していた国々では、その輸出量が大幅に減少し、サウジアラビアでさえ23%の減少を見た<sup>85)</sup>。そこで、石油輸出国ではシェール・オイルに対する警戒感が広がった。

2014年中期までには、石油需要は弱まっているのに、アメリカのシェール・オイル生産が急増しており、世界石油市場でその過剰供給が感じられるようになった。それまでには、シェール・オイルが、石油の供給と価格の予想によって決定的な要素になっていた。シェール・オイルは増産を続け、2014年中期には世界市場に日

<sup>81)</sup>D. A. Wapless, *The Natural Gas Industry in Appalachia*, pp. 232-3.

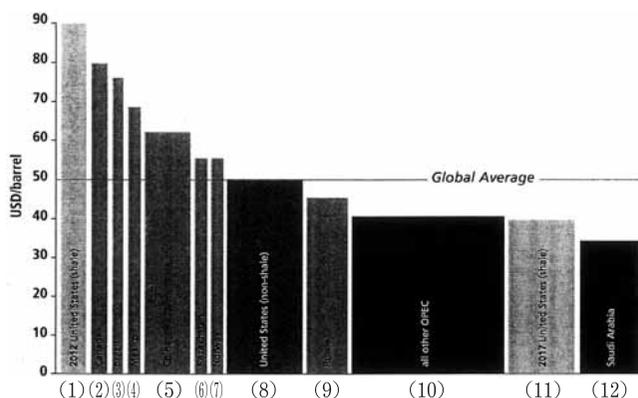
<sup>82)</sup>D. A. Wapless, *The Natural Gas Industry in Appalachia*, pp. 239-40.

<sup>83)</sup>D. A. Wapless, *The Natural Gas Industry in Appalachia*, pp. 240-1.

<sup>84)</sup>“Appalachia, Permian, Haynesville Drive U.S. Natural Gas Production,” U.S. DOE, EIA Today in Energy, Aug. 28. 2018.

<sup>85)</sup>Roberto F. Aguilera and Marion Radetzki, *The Price of Oil*, Cambridge University Press, 2016, pp. 89-90.

図4 各国産石油のブレイクイーブン・コスト比較



(1) 2012年のアメリカ・シェール、(2) カナダ、(3) ブラジル、(4) メキシコ、(5) 中国、(6) カザフスタン、(7) ノルウェー、(8) アメリカ・シェール以外、(9) ロシア、(10) サウジアラビアを除いたOPEC、(11) 2017年のアメリカ・シェール、(12) サウジアラビア

(出所) Peter Zeihan, *The Absent Superpower: The Shale Revolution and A World without America*, 2016, Zeihan on Geopolitics, p.46.

量100万バレル以上が追加供給される見通しとなった。2014年9月、石油価格はブレント原油価格指標によると1バレル100ドルを、10月には90ドルを割り、OPECによる石油供給の削減が要請され始めた<sup>86)</sup>。

ところが、2014年11月のOPEC総会において、サウジアラビアは生産制限の要請には応じられないと拒否したのだった。そこで、OPECも日量3,000万バレルを生産するというそれまでの方針を変えず、生産制限を受け入れるのを拒否した。石油価格が40ドルに近付いたときも、OPECは石油価格を防衛するのではなく、市場シェアを維持するという新政策を決定した。この新政策はOPECのそれまでの40年間の政策からの大転換を意味した。とくにサウジアラビア

は石油需要の減退期には、石油生産を削減し、石油価格を維持するという生産調整者 (swing producer) の役割を放棄したのである<sup>87)</sup>。

OPEC諸国は2013年までは、シェール・オイルは高コストなので石油需要の多いときには供給を補完してくれる限界生産者として歓迎していた。ところが、2014年中期までには、シェール・オイル生産は石油供給過剰をもたらし、石油価格を下落させる元凶であると考えようになった。2015年1月に石油価格は1バレル46.59ドルに下落し、ここに、OPECとアメリカのシェール・オイルとの「価格戦争」が勃発したのである。2016年1月には26.68ドルに下落した。サウジアラビアは石油価格が1バレル70-80ドルに下がれば、シェール・オイルの経営は成り立たず、市場から追い出せると考えていたのである<sup>88)</sup>。

図4に、2012年当時の各国産石油のブレイク

<sup>86)</sup> Robert McNally, *Crude Volatility: The History and The Future of Boom-Bust Oil Prices*, New York, Columbia University Press, 2017, pp. 205, 209-11. この文献の第10章は、アメリカでシェール・オイルが台頭するとWTI (ウェスト・テキサス・インターメディアイト) 価格指標は世界石油市場とややかけ離れてきたので、2015年までの記述にはヨーロッパのブレント原油価格指標を用いることにした、と説明されている (R. McNally, *Crude Volatility*, p. 274)。

<sup>87)</sup> R. McNally, *Crude Volatility*, pp. 211-3; Mohamed Ramady and Wael Mahdi, *OPEC in a Shale Oil World: What to Next?* Springer, 2015, p. 3.

<sup>88)</sup> R. McNally, *Crude Volatility*, pp. 216-7; M. Ramady and W. Mahdi, *OPEC*, p. 119.

イーブン・コスト (損益分岐点コスト) が示されているが、一番左の棒グラフが2012年当時のアメリカのシェール・オイルであり、1バレル90ドルであった。一番右の棒グラフがサウジアラビア産であるが30ドル強、右から3番目がサウジアラビア以外のOPEC諸国産で40ドルであった。「価格戦争」ではサウジアラビアやOPECが勝利するはずであった。ただし、2017年になると、アメリカのシェール・オイルは右から2番目に移動し、サウジアラビア以外のOPEC諸国産石油より低く、サウジアラビア産に接近しているのである。

## (2) シェール・オイルの苦境と回復

サウジアラビア、OPECの生産制限の拒否、そして、それによる石油価格の急激な下落は、アメリカのシェール・オイル生産に大きな打撃を与えた。在来型の石油生産は、操業コストが低いので、石油価格が1バレル5-30ドル以下にならないと停止しない。しかし、シェール・オイル生産は、生産開始後1年目は生産量を増加させるが、2-3年目には生産量を大いに減少させるという特徴がある。生産量を維持するのであれば、常に、新規油井に開発投資をしなければならず、新規油井の水圧破砕のために高コストを負担しなければならない。だから、石油価格が下がれば、新規油井の掘削は緩慢化するか、あるいは停止する。石油価格がシェール油井への投資のブレイクイーブン水準以下に落ちると、シェール・オイル生産企業の供給量はすぐに減少する。サウジアラビアはこのブレイクイーブン水準を1バレル70-80ドルと見なしていた。問題はこの見方が現実と一致しているのか、ということである<sup>89)</sup>。

石油価格は2015年1月には1バレル46.59ドルへ、2016年1月には26.68ドルに下落したの

で、このブレイクイーブン水準をはるかに下回ったことになった。油井・ガス井開発のための投資は2014年の1,580億ドルから、2015年に1,000億ドル程度に減少している<sup>90)</sup>。次に、稼働しているリグ (掘削装置) 数は、ピークの2014年末の約1,309基から、2015年に急減し、2016年には約400基にまで激減している<sup>91)</sup>。リグは、採掘の前段階において必要な掘削装置であり、高コストのリグが解体され撤去されたと推定できる。

稼働しているリグ数の急減に伴い、2014年10月に53.8万人いた石油・ガス産業の労働者は、2016年5月末までに14.2万人減少し、39.6万人となった<sup>92)</sup>。原油生産量については、影響はやや軽微で2014年12月から日量16万バレル減少し、2015年12月に930万バレルとなった<sup>93)</sup>。2014年からの石油価格の暴落は、石油・ガス産業の開発投資額、稼働しているリグ数の急減、そして労働者の減少をもたらしたが、生産量の下落が軽微なのは、生産性のより高い油井に生産が集中されたからだと推定される。

こうして、2015年にはシェール・オイル敗北の懸念があったが、そうはならなかった<sup>94)</sup>。シェール・オイル産業は生き残りのために、開発投資を縮小し、稼働リグ数を激減させ、労働者を解雇し、支出を絞り込んだ<sup>95)</sup>。さらに、第1に、リグ立地について地理的に集中が行われていることである。価格が急落したので、高コストの

<sup>90)</sup> "Sustained Low Oil Prices Could Reduce Exploration and Production," U.S. DOE, EIA, Today in Energy, Sept. 24, 2015.

<sup>91)</sup> "Initial Production Rates in Tight Formations Continue to Rise," U.S. DOE, EIA, Today in Energy, Feb. 11, 2016.

<sup>92)</sup> "Oil and Gas Production Jobs in May were 26% Lower than October 2014," U.S. DOE, EIA, Today in Energy, Aug. 5, 2016.

<sup>93)</sup> "U.S. Oil Production Continues to Decline, and is Now Below its Year-ago Level," U.S. DOE, EIA, Today in Energy, March 9, 2016.

<sup>94)</sup> P. Zeihan, *The Absent SuperPower*, p. 26.

<sup>95)</sup> D. Dicker, *Shale Boom Shale Bust*, p. 82.

<sup>89)</sup> R. McNally, *Crude Volatility*, pp. 216-7.

シェール事業は閉鎖され、事業者はインフラの整った低コストのシェール地帯に転じたであろう。事実、生産活動は多くの油田地帯から、「ビッグフォー」（4大シェール地帯）、つまり、パーミアン、イーグル・フォード、バッケン、そしてマーセラス鉦区に集中した<sup>96)</sup>。シェール・オイルでは生産活動はとくにパーミアン鉦区に<sup>97)</sup>、シェール・ガスではマーセラス鉦区などアパラチア地域に集中した<sup>98)</sup>。

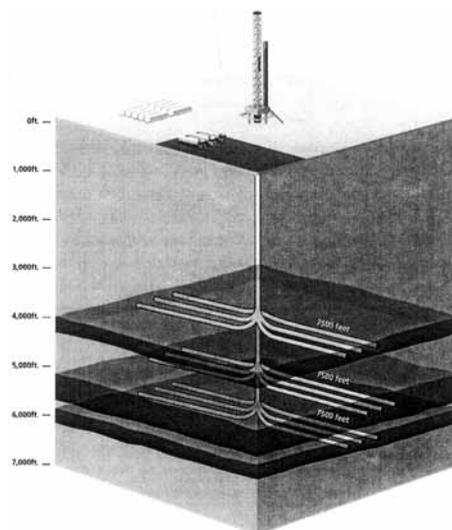
第2に、価格暴落の中で、シェール生産が生き残るために、技術導入が行われたことである。水平掘削技術が改善され、2005年には水平井は約600フィートだったが、2016年には、最長の水平井（longest laterals）は約7,500フィートに、現在の記録は18,544フィート（5,652メートル）となった<sup>99)</sup>。

また、非常に効果的だったのは、図5に示す「マルチラテラル坑井掘削（multilateral drilling）」の開発であった。これは1本の垂直井戸から深さの異なる多数の地層に水平掘削井戸を何本も掘削し、1本の垂直井戸からできるだけ多くのシェール・ガス・オイルを回収しようとするものである。パーミアン鉦区では10層にもわたる貯留層があり、それぞれの貯留層から石油を取り出すことができたという<sup>100)</sup>。

第3に、こうした技術革新の進展によって、コスト削減が実現できたことである。表1に示すように、2012年当時のアメリカのシェール・オイルのブレイクイーブン・コストは1バレル

90ドルであった。サウジアラビアが「価格戦争」を仕掛けた2014年末には、シェール・オイルのコストは約75ドルであった。特定の鉦区への集中、新技術の導入によって、ビッグフォー油田地帯でのコストは50ドルとなり、2016年には40

図5 マルチラテラル坑井掘削：2016年中期



(出所) Peter Zeihan, *The Absent Superpower: The Shale Revolution and A World without America*, Zeihan on Geopolitics, 2016, p.41.

表1 シェール・オイルのブレイクイーブン・コスト（単位：1バレル）

2012年	90ドル <sup>1)</sup>	
2014年12月	75ドル <sup>1)</sup>	2014年2月 60ドル <sup>2)</sup>
2015年8月	50ドル <sup>1)</sup>	2015年1月 50-60ドル <sup>3)</sup>
2016年11月	40ドル <sup>1)</sup>	2016年2月 50ドル以下 <sup>4)</sup>
2017年		2017年 30-50ドル <sup>5)</sup>
2018年		2018年 44ドル <sup>6)</sup>
2019年	25ドル(推計) <sup>1)</sup>	

(出所) 1) Peter Zeihan, *The Absent Superpower: The Shale Revolution and A World Without America*, Zeihan Geopolitics, 2016, p.47; 2) “The Break Even Cost for Shale Oil,” Feb.29, 2016; 3) “The Shale Oil Revolution is in Danger” *Fortune*, Jan. 9, 2015; 4) “The Current Costs for Drilling a Shale Well,” April 7, 2016; 5) “This is What the End of Shale will Look Like,” Aug.11, 2017; 6) “2018 Oil & Gas Projects to Break Even \$44,” April 5, 2018.

<sup>96)</sup> P. Zeihan, *The Absent Superpower*, pp. 28-9.

<sup>97)</sup> “U.S. Oil Drilling Increasingly Focused in Permian Basin,” U.S. DOE, EIA, *Today in Energy*, Nov. 15, 2016.

<sup>98)</sup> E. Russell Brazier, *The Domino Effect: How the Shale Revolution is Transforming Energy Markets, Industries, and Economies*, NTA Press, 2016, pp. 235-44; “Marcellus, Utica Provide 85% of U.S. Shale Gas Production Growth Since Start of 2012,” U.S. DOE, EIA, *Today in Energy*, July 28, 2015.

<sup>99)</sup> P. Zeihan, *The Absent Superpower*, pp. 30,4.

<sup>100)</sup> P. Zeihan, *The Absent Superpower*, pp. 37-42.

ドルに低下した。2019年には25ドルになっているだろうという推定さえある<sup>101)</sup>。

また、2015年には1975年以降、石油・ガスの輸出が禁止されてきたが、それが解除された。石油・ガスの輸出の再開は、価格戦争で苦境にあったシェール・オイル産業にとって非常に助かるものであった。2016年11月には、OPECが2014年11月の立場を変更し、2017年1月から日量120万バレルの生産制限に転じることになり、石油価格の上昇が見込まれるようになった<sup>102)</sup>。

そこで、2016年第4四半期に、石油・ガス産業(44社)における資本支出は2015年第4四半期より72%増加し、リグ稼働数も2016年中期に300基の底を打ち始め、2017年3月には662基になった<sup>103)</sup>。2014年以来、低落し、2016年9月に日量855万バレルという低さに達した石油生産は、2017年11月に日量1,007万バレルとなった。これは過去のピーク、1970年の960万バレルを上回り、2018年には1,070万バレル、2019年には1,130万バレルとなることが予想されている。このなかで、石油生産の復活にもっとも貢献したのがテキサス州パーミアン鉦区であった<sup>104)</sup>。

なお、2014-15年の石油価格の暴落は、シェール・オイルとは異なり、シェール・ガスにはほとんど影響を与えなかった。事実、天然ガスの生産量は2008年から急増し続けている。天然ガス総生産(gross withdrawal)という指標で測ると、2017年に日量967億立方フィートとなり、史上最高値に達した。パイプラインでの輸出、あるいは液化天然ガス(LNG)という形

態での輸出も増えており、アメリカは2017年になって、ここ60年間で初めて天然ガスの純輸出国となった<sup>105)</sup>。天然ガスの増産が続く中、それにもっとも寄与しているのが、ペンシルバニア州、そしてオハイオ州である。ペンシルバニア州では2017年に天然ガス総販売額が日量150億立方フィートに達し、テキサス州に次いで全米第2位となった。そのほとんどが、マーセラス鉦区からのものである。パイプラインの建設も盛んで、ニューイングランド地方へのパイプラインも2016年に稼働した<sup>106)</sup>。

#### IV. シェール生産革命の発展史と到達点

この節では、シェール生産革命の発展史と到達点を要約する。シェール・ガス・オイルの開発・生産においては、独立系企業の主導的役割が目立っている。国際メジャーは第2次大戦後、中東など海外巨大油田の発見に関心を注いできたが、それはアメリカ国内には大油田は残っていないと考えたからであった<sup>107)</sup>。それにたいして、一部の独立系企業は国内の石油・ガス資源に関心を寄せ、その採掘方法の改善を目指すことになった。たとえば、ミッチェル氏は1950年代から水圧破碎技術に関心を持っており、テキサス州北部バーネット鉦区で水圧破碎を試みていた<sup>108)</sup>。

石油危機の1970年代は、石油・ガスの高価格によって同業界が沸き立った。高価格のチャンスをものにしようと、テキサス州などのいくつもの独立系企業が旗揚げした。テキサス州は独立系企業の集積する地域であり、もっとも多く埋蔵地リース契約や採掘事業が盛り上がった。

<sup>101)</sup>P. Zeihan, *The Absent Superpower*, p. 47.

<sup>102)</sup>“Recent OPEC Agreement Reflected in EIA Forecast Issued Earlier This Week,” U.S. DOE, EIA, Today in Energy, Dec.9, 2016.

<sup>103)</sup>“U.S. Oil Producers Increased Investment in Fourth Quarter of 2016,” U.S. DOE, EIA, Today in Energy, April 3, 2017.

<sup>104)</sup>“U.S. Production of Crude Oil Grew 5% in 2017, Likely Leading to Record 2018 Production,” U.S. DOE, EIA, Today in Energy, April 4, 2018.

<sup>105)</sup>“By Some Measures, U.S. Natural Gas Production Set a Record in 2017,” U.S. DOE, EIA, Today in Energy, April 10, 2018.

<sup>106)</sup>“Pennsylvania’s Natural Gas Production Continues to Increase,” U.S. DOE, EIA, Today in Energy, April 23, 2018.

<sup>107)</sup>G. Zuckerman, *The Frackers*, p. 59.

<sup>108)</sup>D. D. Hinton, *Shale Boom*, p. 34.

ミッチェル・エナジー社もチャンスとばかりにガス関連事業を拡張した<sup>109)</sup>。

こうした動きとほぼ同時に、連邦政府は石油危機に対処すべく1976年から新たなエネルギー源を求めて、非在来型ガス開発のための政府・産業共同R&Dプログラムを開始した。1978年には、連邦政府は当時、高コストであった非在来型ガスに高価格で販売することを許可した。1980年には、非在来型ガスの生産にたいしてかなり有利な税額控除、たとえば、シェール・ガスに約50%もの税額控除を認めた。こうして、連邦政府は非在来型ガスの生産のため、支援政策を展開した。これらは、ミッチェル・エナジー社など独立系企業が非在来型ガス採掘に着手する大いなる促進策となった<sup>110)</sup>。

ミッチェル・エナジー社がシェール・ガス採掘に乗り出すには、特別の幸運もあった。それは、1957年から始まった大手パイプライン会社への長期ガス販売契約であり、1995年までの長きにわたり、ミッチェル・エナジー社に安定的利益を与え続けてきた。そのパイプライン会社が1981年に、同社の主力ガス田、バーネット鉦区のガス資源について枯渇の懸念を表明したのだった。そこで、同年、ミッチェル・エナジー社はバーネット鉦区より深いシェール地層からの採掘に乗り出すことになった<sup>111)</sup>。

さらに、独立系企業でもシェール資源開発を主導できたのは、多くの石油・ガス生産者がテキサス州などに集積しており、それら企業同士の「情報のシェアリング」があったからである。つまり、経営者やエンジニア同士の会話などによって重要な情報が交換され、競合他社からのエンジニアの転職などによって技術が移転することもあった。たとえば、ミッチェル・エナジー

社のエンジニアが、ユニオン・パシフィック・リソーシズ社のエンジニアたちと1996年秋に会い、潤滑水（slickwater）を使用するよう助言されている。また、シェブロン社がシェール採掘事業から撤退したため、1998年2月、ミッチェル・エナジー社はシェブロン社のエンジニアを雇用し、シェブロン社の知見を取り入れることができた。このように、テキサス州などでは、独立系企業でも高度の情報や技術を入手できたのである<sup>112)</sup>。

また、石油・ガス産業においては、会社は石油・ガスを採掘するのに、さまざまに特化したサービス会社、ハリバートン社やシュレムバーガー社のような多国籍企業から技術支援を受けることができた。だから、独立系企業でも高度な技術を利用して、採掘活動を展開することができたのである。しかし、裏を返せば、サービス会社にはいろいろな情報が入ってくるのであり、サービス会社から情報が漏れだすことにもなるのである<sup>113)</sup>。

このように情報の移転は阻止しがたいが、生産者は前もって土地と鉦業権を購入することによって、模倣者がいても、その土地と鉦業権の価値を高めることが可能である。たとえば、ミッチェル・エナジー社は広大なリース地を契約していたので、2002年に、デボン・エナジー社に総額35億ドルという高価格で売却できた。のちに、チェサピーク・エナジー社のように独立系企業であっても、大規模なリース契約を梃子にして、ウォール街から資金調達ができれば、大企業に成り上がることができた。このようにいくつもの要因が重なって、シェール・ガス・オ

<sup>109)</sup>D. D. Hinton, *Shale Boom*, pp. 37-9.

<sup>110)</sup>Z. Wang and A. Krupnick, "A Retrospective Review," pp. 6-15.

<sup>111)</sup>D. D. Hinton, *Shale Boom*, pp. 40-1; Z. Wang and A. Krupnick, "A Retrospective Review," pp. 16-7.

<sup>112)</sup>J. M. Golden and H. J. Wiseman, "The Fracking Revolution," pp. 1003-10. ほとんどの北アメリカでは、石油ガス生産者は6か月以内に水圧破壊と生産の成果を明らかにしなければならないという規制があったという (J. M. Golden and H. J. Wiseman, "The Fracking Revolution," pp. 1007-8.)

<sup>113)</sup>J. M. Golden and H. J. Wiseman, "The Fracking Revolution," pp. 1009-10.

イルの開発において、独立系企業が主導的な役割を演じることができたのである<sup>114)</sup>。

次いで、シェール生産についての技術革新とコスト削減がどこまで進んでいるか、について要約しよう。シェール生産の第1期は1981年から1998年までの時期である。ミッチェル・エナジー社は1981年から水圧破砕によるシェール・ガス生産を模索し、1998年にその商業生産に成功した。シェール生産の第2期は1999-2007年の期間であり、デボン・エナジー社などによって水圧破砕法が水平掘削井に導入され、ガスの生産量が著しく増大し、2000年代中期までにシェール生産が利益の上がるものになったという<sup>115)</sup>。2000年代中期に、テキサス州のシェール・ブームは、全国の鉦区に普及・拡大した。ノースダコタ州などのバッケン鉦区では石油採掘に水圧破砕・水平掘削が適用され、高コストの同鉦区では生産量を増加させる「多段階水圧破砕」が開発された。また、ペンシルバニア州などのマーセラス鉦区はシェール・ガスが採掘され、全米一のガス生産地になってゆくのである<sup>116)</sup>。

シェール生産の第3期は、生産量が急激に拡大した2008-14年の時期である。2008年に稼働しているリグ数は約300基であったが、2012年にはそれは約1,400基に激増している。2012年以降、稼働リグ数はそれほど増加しないが、生産量は2008年の日量300万バレルから2015年には700万バレル以上になり、生産性が上昇して

いるのがわかる<sup>117)</sup>。2008年以降、シェール生産は本格的な発展期に入ったといえよう。

このシェール生産は、2014年には国際的にも注目を浴びる第4期を迎えた。シェール生産が急拡張したため、アメリカのOPECからの輸入が減少し、ダブついた石油のために世界市場価格が下落するようになった。2014年末に、OPECは石油減産を拒否し、アメリカのシェール・オイルを相手とする「価格戦争」を仕掛けた。OPECは価格暴落によって高コストのシェール・オイルを駆逐できるかもしれないと考えたのである。こうしてシェール・オイルはOPECから注目され、恐れられる石油市場の主役に成長したのである。国際的価格（ブレント原油価格）は2016年1月、1バレル26.01ドルまで下落した。アメリカの石油生産者はシェール・オイルを含めて生産プロジェクトを縮小し、15万人の従業員を解雇したのである<sup>118)</sup>。

この「価格戦争」中、アメリカのシェール生産者は高コストの生産地帯から、より生産性の高い生産地帯に移動し、また、「マルチラテラル坑井掘削」などの新技術を開発し、シェール・オイルの生産性は著しく上昇した<sup>119)</sup>。2015年から2016年にかけて、稼働リグ数は激減したが、生産量はほとんど変化しなかった<sup>120)</sup>。シェール・オイルのコストは、表1に示したように2012年に1バレル90ドルであったが、2016年までに40-50ドルに低落したという。OPECは2017年1月、生産制限を再び行い、国際的石油価格は60ドルほどに回復した。アメリカのシェール・オイルはOPECとの「価格戦争」を耐え抜いたのである。2018年12月、エネルギー省エネルギー情報

<sup>114)</sup> 石油・ガス産業の新段階といえるシェール資源時代において、独立系が主導的役割を演じたことは、アメリカ石油産業史における強大な独占的支配というこれまでの理解とどのように関係するのか、新たな考察が必要になってくるであろう。その糸口となった研究は、「19世紀アメリカ、オイル・リージョンにおける油田経営」『経営史学』39巻2号、2004年、を初めとする豊田太郎氏の一連の論文である。

<sup>115)</sup> Jonathan M. Fisk, *The Fracking Debate: Intergovernmental Politics of the Oil and Gas Renaissance*, Routledge Taylor & Francis Group, 2018, p. 18.

<sup>116)</sup> G. Zuckerman, *The Frackers*, p.252; Clark D. Richardson, ed., *The Marcellus Shale Gas Resources: Development And Water Issues*, New York, NOVA Science Publishers, 2013, p.6.

<sup>117)</sup> Ed Crooks, "Boom Times for US Shale Oil Producers," *Financial Times*, March 4, 2018.

<sup>118)</sup> D. D. Hinton, *Shale Boom*, pp. 159, 163; R. McNally, *Crude Volatility*, p. 219.

<sup>119)</sup> P. Zeihan, *The Absent Superpower*, p. 41.

<sup>120)</sup> Ed Crooks, "Boom Times for US Shale Oil Producers."

局は、アメリカの石油生産量は2018年に日量1,090万バレルに、2019年には過去最高の日量1,210万バレルに達するだろうと推定している<sup>121)</sup>。

#### 結びに代えて—環境破壊の懸念—

シェール・ガス・オイル産業は技術面でも大いに進展し、コスト面でも競争力を増してきており、産業として確立しつつあると思われる。したがって、今後、シェール・ガス・オイルの生産が急激に減少し、崩壊してしまうとは考えられない。しかしながら、これまでのような急成長が今後、長期的に続くかどうかは疑問である。

というのは、シェール・ガス・オイルは、深い地層に含まれるガスや石油を採掘するのに、大量の水に高圧をかけて井戸の中に送り出し、頁岩を砕くという水圧破碎技術を用いており、この採掘方法が環境破壊を引き起こしている可能性が高い。水圧破碎の平均的井戸は440万ガロンもの水を必要とし、水圧破碎の効果を高めるために化学物質が添加されており、この化学物質が近隣住民の健康被害をもたらしている可能性もある。また、ガス井ではメタンがガス井と地層のすき間を通して、地下水を飲用水としている近隣住民の井戸爆発を引き起こし、あるいは健康被害をもたらしているのではないかという懸念が広がっている。

2011年の時点で、マーセラス鉦区のシェール資源開発が進行していた時、近隣の北東部の多くの州が、水圧破碎に反対する立法を検討していたという。加えて、ガス採掘事業者への提訴も行われた<sup>122)</sup>。したがって、シェール・ガス・オイル採掘の環境破壊の実態は正確に調査され

ねばならない。また、連邦政府や州政府などの環境保護規制はどうなっているのか、また、どうあるべきか、についても研究されねばならない。これらが次の課題である。

〔付記〕この研究ノートは、東京経済大学2018年度国内研究員として研究助成を受けた研究成果の一部である。

<sup>121)</sup>US DOE, EIA, This Week in Petroleum, Dec. 12, 2018.

<sup>122)</sup>J. F. Hilyard, *The Oil & Gas Industry*, p.97. なお、シェール・ガス・オイルの生産が主流になったので、在来型、非在来型という用語は将来なくなるであろう。