

石油枯渇に関する第3回国際ワークショップに参加して —エネルギーの将来は—

大久保 泰邦¹⁾

1. はじめに

石油枯渇という多少センセーショナルな感がある。20世紀は石油の時代と言われていた。21世紀に入り、我々はいつかは枯渇すると思っていたが、石油の埋蔵量は一向に減少しないことから、「枯渇はどうも我々の世代以降の話で、早急に議論する必要は無い」と思い始めている。しかし石油は有限であり、それを消費すればいつかは枯渇するのであって、石油枯渇はごく当然のことである。ヨーロッパでは石油枯渇について真剣に議論されている。

この会合の英語名は「ASPO2004: 3rd International Workshop on Oil and Gas Depletion」である。ASPOとはAssociation for the Study of Peak Oilの略で、日本語に訳せば「石油ピークに関する研究連盟」である。このワークショップは、石油枯渇に関する最近のデータ解析に基づいて、石油生産のピークはいつ頃起こるのか、それに対して代替エネルギーはどうかを非公式に議論している。開催期間は2004年5月25-26日で、場所はドイツの首都ベルリンであった(<http://www.peakoil.net/iwood2004/pptBerlin/Proceeding.html>)。この会合はすでに第3回目を数え、過去2回はそれぞれ、2002年5月23-25日にスウェーデンのウプサラで、2003年5月26-27日にはパリで行われている。

ASPOのまとめ役が英国出身のColin J. Campbellである。彼の経歴は、地質学者として石油会社に勤め、南米で地質調査を行い、最後はノルウェーの会社の副社長であったとのことである。退職後、石油枯渇に関する4つの本を著し、講演やマスメディアを通して一般への啓蒙に努めている(<http://www.peakoil.net/>)。

石油は有限であることは間違いない。おそらく枯渇する前に別のエネルギーを利用することとなるであろうが、そのエネルギーは石油より高価なものとなる。その意味で「安い石油」はいつか枯渇する(石井, 2004)。それでは「安い石油」はいつ頃枯渇するのであろうか。ASPOは、我々が考えている以上に早く枯渇する可能性が高い、と警鐘を鳴らしている。

2. 「安い石油」時代(“Cheap oil” era)の流れ

1856年8月、アメリカ東部で世界で初めて機械を使って石油を掘り出すことに成功したことが、近代石油産業の始まりと言われている。その後、1870年、ロックフェラーがスタンダード石油を設立し、石油生産-精製-販売を統合し、石油時代の幕開けとなった。1970年頃まで、長い間、だいたいにおいて原油の供給過剰状態が続く。

1920年代は石油産業の拡大に伴って競争が激化したことから、石油会社同士で国際石油カルテルを結ぶようになった。1930年初頭にバーレーンで石油が発見され、それまで中東には大油田は無いとされていた見解は否定され、中東における大油田発見時代が始まり、本格的な「安い石油」時代が訪れた。中東石油は利権争いの中で国際石油カルテルに組み込まれていった。第二次世界大戦直後には国際石油カルテルの構成メンバーは7つの「メジャー」と呼ばれる国際石油会社となり、1973年のアラブ石油輸出国機構(OPEC)の対アラブ非友好国禁輸宣言まで世界の石油を支配した。

OPECは1960年に設立され、それ以降メジャーは石油公示価格を変更することができなくなって

1) 産総研 地質調査情報センター

キーワード: 石油枯渇, 安い石油時代, 石油ピーク, 石油生産量, 石油埋蔵量, 石油代替エネルギー

いった。OPECは豊富な埋蔵量を背景に、世界の生産量全体の調整を行う、スウィング・プロデューサー (swing producer) の役割を果たすことになる。OPECの石油は輸出入の世界市場の大部分を占めていたことから、OPEC価格がそのまま世界の石油価格となっていった。

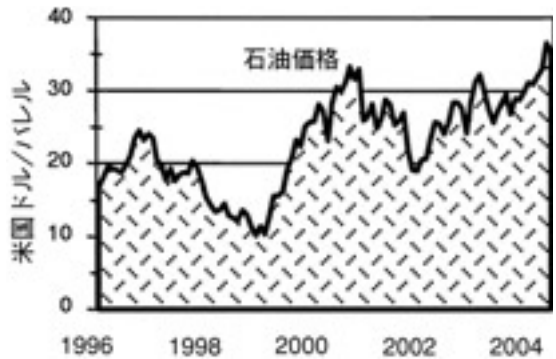
1973年10月、第4次中東戦争が勃発し、アラブ諸国は石油戦略を発動した。OPECは石油の減産・禁輸を行い、原油価格を一挙に4倍のバレル当たり(1バレル=169リットル)10ドル以上に引き上げた。これが第1次石油ショックである。さらに1979年にイラン革命が起こり、これを引き金に原油価格が急騰し、第2次石油ショックが発生した。石油価格は1980年代初頭には30ドルを超える高値となった。その後石油価格は下落し、10ドル台から20ドル台で推移する。

最近になると、2000年には石油価格は10ドル台から一気に30ドル台へととなった(第1図)。この上昇はイラク攻撃と関係しているとの見方が強い。しかしOPECがスウィング・プロデューサーの役割を充分果たせないためだとしたら、「安い石油」時代の終焉が間近に迫っていることを意味しているのではなかろうか。

3. ワークショップの内容

参加者は予稿集に掲載してある人だけで263名におよび、当日登録者を含めれば300名以上の参加があったと思われる。参加者の所属先を見ると、大学、国立研究機関、石油代替エネルギー関連の学協会・財団、議会、国際エネルギー財団(IEA)、シェルなどの石油会社、シュルンベルジェなどの石油探査会社、電力会社、BMWなどの自動車会社、ソーラーカー開発などのベンチャー企業、金融関係企業、コンサルタント会社、出版会社、マスコミと非常に広範囲であり、まさしく学際的である。国立研究所には、オランダ地質調査所、英国地質調査所、ドイツ連邦地質調査所も含まれている。

参加国は25カ国であり、圧倒的にヨーロッパが多い。ヨーロッパからはアイルランド、英国、イタリア、オーストリア、オランダ、クロアチア、スペイン、スイス、スコットランド、スウェーデン、デンマーク、ドイツ、ノルウェー、フィンランド、フランス、ベルギー、ポ



第1図 石油価格の推移 (Alekklett and Campbell, 2003)。

ルトガル、ロシアであり、中近東からはイラン、アラブ首長国連邦、北米から米国、カナダである。東・東南アジアからは日本と韓国であり、オーストラリアも参加している。

日本からの参加者は、石井吉徳富山国際大学教授(東大名誉教授)、茂木源人東京大学工学部助教授と私の3名であった。

プログラムは第1表の通りである。当日配布された予稿集はURL: <http://www.peakoil.net/iwood2004/pptBerlin/Proceeding.html>で見ることができる。

国際エネルギー連盟(IEA, 2002)やEuropean Commission, Directorate for Research Community Research (2003)が描く2030年のエネルギーのシナリオでは、エネルギー供給は一本調子で上昇を続け、化石燃料は依然として他のエネルギーを凌ぎ、発展途上国の消費量が先進国の消費量に迫る勢いで成長する、となっている(<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/weorepts.htm>)。しかしASPOの見解では、石油が枯渇するずっと以前に石油生産量は減少し、「安い石油」時代の終えんは我々が予測するよりもっと早く訪れるであろう、としている。この対立する見解は前者が楽観論、後者が悲観論と言える。ここでは楽観派と悲観派に分かれ、両者が真っ向から対決する形で会議は進められた。それぞれの意見を要約すると以下となる。

【楽観派】

- ・パイプライン網の設置などによって、豊富な天然ガスの価格は下がり、ここ数年のうちに世界で利用されるようになった。
- ・水素エネルギー利用の自動車は米国、日本などで積極的に開発され有望である。

第1表 石油枯渇に関する第3回国際ワークショッププログラム

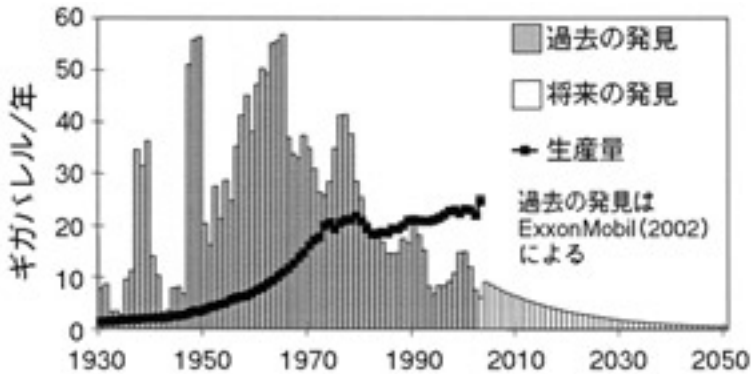
<p>● 5月25日午前-午後前半：天然ガスセッション 前回パリ会議以降の進展 ASPO 将来のエネルギー、ドイツ連邦地質調査所の貢献はいかに？ ドイツ連邦地質調査所 米国における需要と供給 Simmons & Company Int ヨーロッパにおける需要とガス供給 Ruhrgas Groninngenからの供給とオランダの小規模ガス田： 現在までの取り組みと今後 TNO 天然ガス、広域的ガス市場とOPECのガス フランスガス 天然ガス供給の将来 ASPO 将来のガスの潜在力：どこで、何が、どのくらい？ ドイツ連邦地球科学・天然資源研究所</p> <p>● 5月25日午後後半：石油セッション 石油埋蔵量成長の潜在力 英国石油 長期エネルギー見通し：エクソンモービルの解析 エクソンモービル 石油生産のダイナミック手法による解析 フランス石油研究所</p>	<p>● 5月26日午前：エネルギーと社会セッション ヨーロッパのエネルギーシナリオ 持続可能性と刷新のための研究所 ヨーロッパのエネルギー政策：現実かフィクションか？ ヨーロッパ議会会員 パネルディスカッション：将来のエネルギー制約をどう乗り越えるのか -ヨーロッパの見通し 調整役：Repower、パネラー：国立イラン石油会社、国際 エネルギー連盟(IEA)、ASPO、ハンブルグ太陽発電会社、 RWE電力会社、ドイツ経済・労働省</p> <p>● 5月26日午後：再生可能エネルギー/水素、何が期待できるか 経済成長と利息のシステム ベルリン経済大学 合成燃料：運輸分野での役割 フォルクスワーゲン ヨーロッパとドイツにおける代替燃料：どれが貢献できるのか ライプツヒエエネルギー環境研究所 水素：米国、日本、ヨーロッパの動向 LBST 結語 ドイツ連邦地球科学・天然資源研究所 終了あいさつ ASPO</p>
---	--

- ・ヨーロッパのエネルギー政策は、経済・環境・社会の持続性を可能にするものである。
- ・キューバはロシア崩壊とともに石油の輸入が制限され、経済不況が訪れた。しかし、都市から農業地域への移動、個人自動車から大量輸送手段へ、農薬や肥料を使わず、有機農法へ、トラクターから牛や馬へ、と社会システムを変えることによって、キューバは立ち直った。
- ・環境維持・持続的エネルギー開発は適切な政策によって実現できる。エネルギー政策には人々を動かすことが重要であるが、決して研究成果によって人々が動くわけではない。政治家が研究成果を理解して政策に反映させ、人々の理解を求めることによって可能になる。

【悲観派】

- ・石油埋蔵量が今後増加することは重要である。そのためさまざまな研究が行われている。しかし将来の埋蔵量予測については、データが十分に公開されていないことから確度が低く、今後どの程度埋蔵量が増加するかについてはよく理解できていない。
- ・天然ガスの埋蔵量は豊富であり、数十年の需要を賄えるであろう。またガスハイドレートと水溶性ガスを除いた非従来型天然ガスについても豊富

- である。しかし原子力発電の代わりに担うとすれば、寿命は縮まるであろう。ガスハイドレートと水溶性ガスについては利用可能性について不確定要素が非常に強い。
- ・ある油田の埋蔵量は時間とともにさまざまな理由から上方修正される。このため世界全体の埋蔵量は増えつづけているように見える。しかし現在のその油田の埋蔵量を過去に発見された時点での埋蔵量に戻して埋蔵量の推移をプロットしてみると、埋蔵量は時間とともに増加傾向が緩くなり、そろそろピークがやって来るように見える。
- ・石油探鉱への投資額は年間2000億ドルである。油田発見率が落ちれば、探鉱への投資効果は薄れ、投資は激減する。年間2000億ドルが市場から消えた場合、ドル安が始まり、世界不況を招くであろう。
- ・自動車の燃料は安い石油から高価な燃料に変わるのであるから、歩く、自転車利用、公共輸送利用などによって、自動車の利用を少なくせざるをえない(<http://stcwa.org.au/negabarrels>)。しかし人々の意識を変えることは非常に難しい。
- ・生産量の将来予測を行う場合、スウィング・プロデューサーとなっているOPECの情報不足しており、予測を難しくしている。現在保有している



第2図
石油発見量と生産量の推移と発見量の将来予測 (Society of Danish Engineers, 2003).

データでシミュレーションを行った場合、2030年にピークが来る可能性もあるが、2010年にピークが来る可能性もあることを示した。

・バイオマスエネルギーはヨーロッパ等では量的に見て重要となろう。しかし、技術的課題だけでなく、価格の問題も抱えている。

4. 石油埋蔵量

埋蔵量は“reserve”の訳である。それに対して資源量“resource”という言葉がある。どう違うのかといえば、埋蔵量は現在の技術、価格で経済的に採取することができる量であり、資源量は技術や価格のことは度外視した場合の量である。そのため資源量は埋蔵量より大きい。

発見された資源量のうち、採取可能な部分を「可採埋蔵量（確認埋蔵量ともいう）」という。その比率は回収率と呼ばれる。可採埋蔵量から累積生産量を引いた量が、残存可採埋蔵量である。埋蔵量と言った場合通常は残存可採埋蔵量を指す。われわれの社会、経済活動に直接関係があるのはこの量である。

メタンハイドレートについては、数百年分あるといわれる。この場合は資源量のことである。しかし現在の技術や経済条件の下では、メタンハイドレートの商業的な採取の見通しが立っていないため、埋蔵量の観点からはゼロとなる。

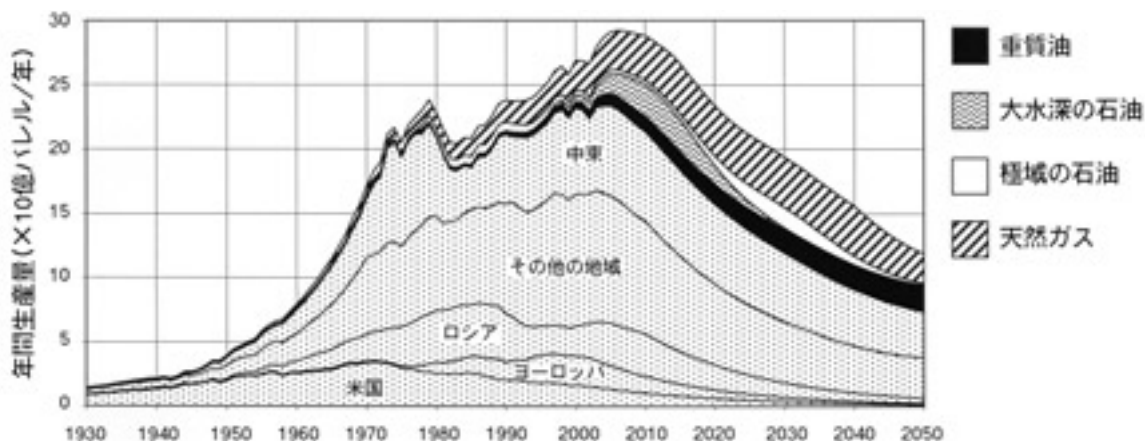
石油（残存可採）埋蔵量は年々増加する。これは消費よりも上回る発見量があるためである。埋蔵量が増加する理由には2つある。1つは新しい油田の発見であり、もう1つは既存の油田の周辺に新たな

な貯留層の発見と既存の油田からの回収率の上昇である。

油田に関するデータベースはIHSエネルギー (<http://www.ihsenergy.com/>) が作成したものが最も包括的なものである。このデータベースを基にさまざまなシミュレーションが行われている。

ある油田の埋蔵量の算出方法は、貯留層の状態、採取の条件、取得データの質・量などで異なる。そのため油田ごとに埋蔵量の算定基準が異なると言っても過言ではない。すなわち全世界の埋蔵量を統計的に処理しようとしても、データの質がまちまちであるため、答の信頼度は低くなる。また中東の油田に関するデータ量は他の地域に比べかなり少ない。そのため現在公開されている埋蔵量データから石油の枯渇時期を検討することは難しい。

究極埋蔵量とは、ある油田の生産開始から終了までに採取された総量である。埋蔵量は「現在の技術、価格で経済的に採取することができる量」と定義されているのであるから、技術発展や価格変動で変動する。そのため究極埋蔵量も時間とともに変動する。米国地質調査所は2000年において、2025年における世界全体の究極埋蔵量を3兆バレルと予測した。しかし第2図に示すとおり、1970年あたりから発見量は単調に減少している。これにより2000年以降を外挿して究極埋蔵量を算出すると、2兆バレル程度になる (Laherrere, 2002; Campbell, 2002)。この違いは後者が地質学的検討がなされていること (Alekklett and Campbell, 2003) や、技術発展、価格変動の見方の差による。



第3図 生産量の推移と将来予測 (Alekklett and Campbell, 2003).

5. 石油生産予測

石油埋蔵量 (R) と年間生産量 (P) の比 (R/P) は現在約40年である。この数字の意味することは、もし新しい油田の発見がなされず、年間生産量が現在のままであれば、40年後に石油は枯渇する、ということである。実際は毎年新しい油田は発見され、年間生産量も変動する。しかしASPOで強調していることは、「石油が枯渇するずっと以前に石油生産量は減少する」ということである。現在の市場主義経済においては、石油が安ければ安いほど、石油生産量は増え続け、その寿命はますます短くなるであろう。

石油生産量は石油埋蔵量と深く関わっているはずである。「石油生産量はいつ減少し始めるか」を議論することは、不確かなデータに基づく埋蔵量議論より意義深いと思われる。また、石油はエネルギーとして利用され、さらにエネルギーの中で大きな割合を占めているため、埋蔵量がどうであれ生産量の増減は直接全体のエネルギー生産に影響を与える。その意味でも石油生産量の推移を議論することは、エネルギー全体を議論するための最も重要な論点となる。

第3図はAlekklett and Campbell (2003) の予測に基づく石油生産量の推移である。これは先ほど述べた究極埋蔵量を2兆バレルとし、毎年1.2%の需要増を見込んで求めている。生産ピークは2010年に訪れ、その後急激に減少する。

地域別に見ると、米国のピークは1970年過ぎで

あり、ヨーロッパが2000年過ぎ、ロシアは1990年に一度ピークになった後、2010年過ぎにピークとなる。中東は2010年以降もほぼ一定の生産量となっている。また2000年以降では大水深油田と天然ガスが増加分の担い手となっている。

米国エネルギー省の報告では、毎年2%の需要増が2016年まで維持するケースと、2037年まで維持するケースのシナリオを作成している (EIA, 2000)。それは、2016年まで維持するケースでは、2016年以降、石油生産量は比較的緩やかに下降するのに対し、2037年まで維持するケースでは、2037年以降、生産量はほぼ垂直に下降する、というものである。生産ピークという点では2016年も2037年もあり得るということになる。Campbellの予測との違いはCampbellの予測が究極埋蔵量を2兆バレルとしているのに対し、EIAは3兆バレルとしている点である。

ここで重要なことは、どちらのシナリオが正しいかの結論を出すのは、信頼できるデータが十分でない以上、難しいということである。すなわち現時点ではどちらのシナリオもあり得ると言わざるを得ないのである。

6. 石油代替エネルギーの将来

IEAの見解では、石油生産ピークは2030年以降に訪れ、生産ピーク以降は、石油からのエネルギー供給の減少分について石油代替エネルギーで賄うというシナリオになっている。その減少分を補う

エネルギー源として、原子力、石炭、太陽・風力・地熱・水力などの自然エネルギー、バイオマスエネルギーが考えられる。エネルギー利用効率化や節約による需要そのものの減少効果や、水素エネルギーの様な媒体変換を行うことによって、今まで利用できなかったエネルギーを利用することも考えられる。

しかし現在のさまざまな情勢を見ると、これらのエネルギー源が石油の減少分を十分に補う能力があるのか、またその能力があるにしても技術開発は2030年までに完成するのか、さらに地球環境に対するケアという点で十分な保証があるのか、など疑問が残る。輸送・食糧生産は石油に大きく依存しているため、石油の枯渇は、人々の意識改革までも含めた社会システム全体の変更が伴う。こう考えると、「もし仮に2010年に石油生産のピークが訪れた場合、社会はどうなるか」というシミュレーションも必要になってくるであろう。

7. 多角的視点からのエネルギー・資源・環境論

今回のASPOのワークショップで気が付く点は、研究者だけでなく、経済学者、政治家など多方面から参加し、多角的に議論をしていることである。石油は自動車の燃料、発電のエネルギー源として社会に欠かせない物となっており、石油抜きでは現代は成立しない。石油が枯渇した場合、否応無しに石油抜きの社会となる。例えば、ガソリン燃料の自動車といった便利な道具を失うことが起こることである。その意味で、石油の枯渇を科学的に分析するだけに留まらず、代替エネルギーの環境への影響度や社会システムへの取り入れ方、省エネの手段など多角的に検討する必要がある。また人々のエネルギーに対する意識を高め、変化に対応できる心構えをしておくことも重要となる。

年々、世界情勢が変わり、石油埋蔵量や生産量のデータも更新され、また石油代替エネルギー技術開発の進捗も公開され、地球環境の変動の研究も進んでいる時代であるから、常にこれらの情報をウォッチし、分析して、長期エネルギー政策の評価を行い、さらにはその更新を行い、それらの情報を一般に分かりやすく公開する、という広い視野に立った行動がこれから必要となる。

謝辞：石井吉徳富山国際大学教授から石油枯渇を含めた資源エネルギー全般に関する多くのことをご教授いただいた。さらに今後の資源エネルギーに関する研究の指針についてもご指導いただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- Aleklett, K. and Campbell, C.J. (2003) : The peak and decline of world oil and gas production, *Minerals & Energy*, 18, 5-20
- Campbell, C. J. (2002) : *Forecasting Global Oil Supply*.
- Energy Information Administration (EIA) (2000) : *Long Term World Oil Supply*, 2000.
- European Commission, Directorate for Research Community Research (2003) : *World energy, technology and climate policy outlook 2030*, <http://europa.eu.int/comm/research/>
- International Energy Agency (IEA) (2002) : *World Energy Outlook 2002*, 630p.
- 石井吉徳 (2004) : エネルギーと地球環境との調和 石油ピークが過ぎた21世紀に考えるべきこと, *ILLUME*, no.31, 41-56.
- Laherrere, J. (2002) : *Modeling future liquids production from extrapolation of the past and from ultimates*, International Workshop on Oil Depletion, Uppsala, Sweden, May 23-24th, 2002.
- Society of Danish Engineers (2003) : *Oil-based Technology and Economy Prospects for the Future, Oil Demand, Conference of Production and Cost -Prospects for the Future*, Copenhagen December 10 2003, 89p.

OKUBO Yasukuni (2004) : *Introduction of 3rd International Workshop On Oil & Gas Depletion-How is the future energy?-*.

<受付：2004年8月16日>