

安価な石油に依存する文明の終焉 ——縮小する世界の原油生産——

若林宏明

1. 序

1998年3月, Scientific American誌にエネルギーアナリストにとって衝撃的とも言える論文が発表された。著名な石油地質学者であり, 元OECD/IEA評価担当顧問Colin J. Campbellと石油探査技師のJean H. Laherrereの論文, 「安価な石油の終焉 (The End of Cheap Oil), Colin J. Campbell and Jean H. Laherrere : Scientific American, March 1998, 60-65., (以下 Campbell/98)」である。石油生産の将来に関する予測分析と, それにもとづく彼等の暗い世界経済の将来見通しが世界の注目を引いた。これを受け, 同年8月 Science誌にRichard A. Kerrが今後の石油生産に関する見通しについて, 論文「次期石油危機がぼんやりながら巨人のように現れ, 間近に居る (The Next Oil Crisis Looms Large—and Perhaps Close), Science, 21 Aug., 1998, pp. 1128-1131., (以下 Kerr/98)」において, 悲観論と楽観論の双方の見解を分析・整理した。さらに, これらを受けて, Science誌は「石油は枯渇しつつあるか? (Is Oil Running Out?), Science VOL. 282, 2 October 1998, pp. 47-48. (以下 Science/98)」と題して特集を組んだ。今それから丁度2年が経過した。この間, 代表的なアナリストRichard C. Duncanが2000年に, 「発見的手法による原油生産予測(Heuristic Oil Forecasting Method)」(<http://www.halcyon.com/duncanrc/text.htm>, 以下 Duncan/001)」のなかでDuncan予測#4を発表し, また, 「原油生産と価格: OPEC意思決定の見通し (Crude Oil Production and Prices: A Look Ahead at OPEC Decision Making Process), Duncan R.C., West Coast Petroleum Technology Transfer Council (PTTC) Workshop, Barksfield, California, 22 September 2000., (以下 Duncan/002)」のなかでDuncan予測#5を発表した。

本稿では2000年11月末時点できれら文献内容を見直し, 最近の原油高騰とあわせて最新の認識を整理するとともに, 今後, 原油生産の変化を通して, 世界がいずれの方向に

向かっていくかを分析する。

Cambell/98論文に対する評価は賛否が分かれた。一つには彼等の経歴が地質学者として、また実績のあるコンサルタントとして、論文の論拠が十分に説得力があると見えたことである。他の地質専門学者もこれに賛同した。事実、旧ソ連、米国をはじめとする石油生産国の生産量は彼等の予測に違わず、すでにピークを迎えたからである。しかし、彼等の意見は暗く、悲観論と呼ばれた。

これに対する楽観論の意見は、Cambell等の意見が予断に満ちたものであり、経済性や技術進歩といった原油生産条件の重要な諸要素や、代替エネルギーの開発やエネルギー消費と社会の関係といった技術と社会システムの多様な側面に触れておらず、かりにそれらを考慮するとそれほど心配する必要がないとするものであった。これは楽観論と呼ばれた。

しかし、双方の論拠そのものにそれぞれ限界があるとしても、今日石油文明の終焉がすでに緒についており石油文明から天然ガスとバイオマスなどの水素経済、自然エネルギーを含むソーラーエネルギー経済への移行期にあるという認識ではほぼ一致している。即ち、生産量見通しの予測要因をいずれの範囲まで考慮するかによる、理解と解釈の相違に過ぎないとも見られるのである。

本稿のテーマと関りの強いエネルギー源である石油資源がいつ枯渇するかという問題は興味深いものであり、過去にも研究がある。しかし、多くの不確定なデータが関係し、それらのいずれを採用するかでその結果が異なりがちであることは否めない（小山茂樹：石油はいつ無くなるのか、時事通信社、pp. 50-100, 1999）。したがって、本稿では、最新の Cambell/98 および Kerr/98 論文の見解と、それとは異なる手法を用いた分析、Duncan/001 および Duncan/002 をとりあげ対置分析する手法により、1999-2000においてみられる原油価格の高騰傾向を分析するとともに、今後の石油生産動向が世界経済に及ぼす影響を分析することにする。

2. 背景

世界の石油の創生にあたり、自然是 5 億年を要したが、人類はエネルギー浪費時代のほぼ 2 世紀余りの間に安い在来石油のすべてを消費することになる。商用の石油生産は 1850 年頃アゼルバイジャンのバクーで実際に始まったとされるが、現存する最も古い記録によると 1857 年ブカレストの近くで事実上の原油生産業が始まった。その後、米国では 1857 年エドワイン・ドレーク (Edwin L. Drake) がペンシルヴァニア州タイタスヴィル (Titusville PA.) で試掘をし、石油を発見した。しかし、アナリスト Duncan は 1857 年ルーマニアで始まった世界の原油生産は 2110 年中東で終わると予測する。もしそうだとすると、石油文明は地球の悠久の時の流れにあってごく一瞬に過ぎない 253 年間の劇一

幕ということになる。(Duncan/001, pp. 10-11)

言うまでも無いが、ここ暫くはなお石油文明の時代である。石油は安価な燃料としてのみならず、石油製品は構造材や、薬剤としてわれわれの生活を支えている。一方、石油は結果的に多様な環境汚染化学物質を派生する原物質でもある。化石燃料の中にあって、石油は地球温暖化物質を副産物として派生する。今日のところ、これら石油供給は在来通りであり環境問題を除くと展望が特に暗いという訳ではない。

アラビア湾岸の石油輸出国の主導する禁輸政策に端を発した1973年のオイルショック(石油危機)をかわきりに、その後1979年、1990年の禁輸を経験し、世界は先進工業国の文明が如何に石油に依存してきたかを再認識することとなった。カルテル組織である石油輸出国機構 OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries : 当初のメンバー国はアルジェリア、イラン、イラク、サウジアラビア、クウェート、ペネズエラ、カタール、インドネシア、リビア、アラブ首長国連邦、アルジェリア、ナイジェリア、エクアドル、ガボン13カ国、2000年現在は脱退したエクアドル、ガボンを除く11カ国) のうち、湾岸5カ国の禁輸により、1973年石油価格は約3倍となり、さらに1979年、イランの政変を機にさらに倍増し、世界経済は不況に陥った。これは、OPECが市場の36%を支配したために発生したのであって、石油資源の枯渇が原因ではなかった。事実、1980年代に入り、アラスカや北海よりの新規石油が市場に入ると需給が弛み、新しい石油資源の開発が成功すればOPECの一方的主導で石油供給や価格が決まるものでもないことが明らかとなった。80年代後半より90年代末の間OPECによる経済的締め付けは弛み、ショック時の価格は崩壊し、石油価格の下落退潮が続いた。この間1990年8月には湾岸戦争が起こりイラク、クウェートからの輸出が停止したがサウジアラビアなどが需給安定のため、供給補填し大事に至らなかった。

いま、第一次石油危機発生より27年を経過した。この間、石油資源の枯渇が遠からず起り、現代文明の崩壊につながるとの懸念のもとに、石油に替わる新エネルギーの開発とエネルギー利用効率向上・省エネルギー促進の努力が払われてきた。しかし原子力であれ、再生可能型新エネルギーであれ、開発・利用には数十年という長期間が必要であり、省エネルギー技術開発もまた技術的・経済的に容易でないことが明らかとなった。一方、途上国での人口増加にともないエネルギー需要の増大が続いている。

3. 1998年時点の認識

1998年時点の認識の一つは、以下のようなものである (kerr/98, p. 1128.)。

いくつかの推定によると、現在、既存の油田では1兆バレル(1,000Gbo: 単位、ギガバレルオイル)という夥しい常時生産可能状態の石油が確実に賦存する。高度な採油技術進歩のおかげで、これまで消費を上回る石油が発見され、確認埋蔵量が増えてきた。

従って、石油資源に关心を抱くエコノミストの多くは、90年代末生産が今後、約50年間は需要が満されており、石油代替選択肢開発に十分な時間があると見ていた。しかるに、主として地質学者達が、「これは間違った認識であり、慰めに過ぎない。」と主張し始めた。彼等は、ひょっとするとほんの10年以内に、遅くとも20年以内には確実に、世界が石油不足に陥ると予測した。1998年春、パリのOECD国際エネルギー機関（IEA）が世界石油生産のピークが見えたことを初めて警告すると、これら悲観論が力を得た。考えてみると、事実、実質ドルでみるとガソリンは合衆国のスタンド店頭で過去常に上昇を続けてきた。最新の技術進歩やカスピ海油田のようなフロンティアでの新油田の発見を考慮しても、2010～2020年の間に世界中の石油生産は80Mbo/日（一日当たり8,000万バレル＝約29Gbo/年）でピークを打ち、その後堅調に縮小するとの予測がある。その時点で起こる経済環境、すなわち、「来年入手可能な石油が今年より確実に少なくなる。」という状況にわれわれが直ぐには慣れることができないとすると、暫くは混乱が続くであろう。

石油供給不足は取りも直さず石油高騰を意味する。楽観論と悲観論とともに一致していることは1973年と1979年に石油危機を発生させたOPECが世界の石油生産ピーク到達まえに、再び世界石油市場を支配することが確実との認識である。生産のピーク直後、カナダのオイルサンドのような採油困難な石油など高価な資源や石炭合成油が話題に上がり始めると同時に石油は高騰する。国際エネルギー機関（OECD/IEA）の担当者の予測では、「転換期間の5～10年の間にはいくつかの極めて大幅な価格変動が起こるだろう。」「そして、法外と言えないまでも、より高水準の価格で安定するであろう。」という。すなわち、一時的には過去の石油禁輸時に見られたガソリンスタンドでの行列騒ぎなどが再現し、その後、恒久的に高価な石油文明時代が続くと考えられる。

4. OPECの動き

先ず最近のOPECの動向を整理する（Kerr/98, p. 1129.）。

1973年のアラブ-イスラエル戦争時、OPECは世界の石油の半分以上を生産し、OPECの中心メンバー国である中東のビッグファイブ（イラン・イラク・クウェート・サウジアラビア・アラブ首長国連邦）が世界原油の36%を生産していた。OPECのアラブメンバー国はイスラエル友好国に対し石油を禁輸し、中東石油の価格を4倍にした。石油消費国はいずれも無力で、原油が1バレル実質13ドル（1997年ドル）から33ドルまで急騰したにもかかわらず、生産を増大させる対抗策は取れなかった。1979年の第2次石油危機時にも、イラン革命の結果輸出停止したが、石油消費国はまたもOPECのなすがままであった。価格圧力のため、世界の石油需要が減るとともに、消費国への供給は1960年代に発見された北海油田など産油地域により賄われた。メキシコとアラスカの堅調な生産

安価な石油に依存する文明の終焉—縮小する世界の原油生産—

増加がなされたものの、OPEC 諸国は依然として世界石油の44%の生産を続けた。価格はバレルあたり53ドル（1997年ドル）に跳ね上がった。いずれ市場が OPEC より離れるとの推測もあった。事実、識者の意見は、「ここで賭けは、いつまで高い石油価格が持ちこたえるだろうか？」（Allen Hammond：Science 誌のニュース担当者、1974年春）というものであった。しかし、いずれの予言も、非 OPEC 石油の堅調な生産上昇の効果と、高値のもつ需要抑制効果の2つの効果を見落した。その結果、価格は1986年まで確実に下落し、バレル20ドルにもどり、OPEC の占有率が32%に落ち込んだ。

しかし、21世紀に入るや否や、非 OPEC 世界で石油が不足し始めると予測される。1998年春、IEA は中東 OPEC 以外の生産が1999年にピークを迎えると予測した。2009年までに、他が生産を縮小する一方、彼等が計画的増産をする結果、中東地域は世界の石油埋蔵量の64%を支配し、その生産は世界の50%に達する。その結果、1973年時点以上に中東諸国の支配に強い地位を与えることになる。2000年末現在、米国エネルギー省・エネルギー情報局（USDOE/Energy Information Administration=EIA）は2015年までに世界石油の約半分を生産するよう OPEC 全体に供給要請を続けている現実がある。これは1973年時点 OPEC が支配した割合である。OPEC に再び与えられたこの支配力を今後どう行使されるかが注目される。

過去の石油危機では消費国のみならず OPEC も又、多くの教訓を学んだ。高価な価格が需要を縮小したもの、たとえ高価でもより安定で信頼性の高い供給国に切り替える消費国もありうることである。そして、事実1986年、価格崩壊がもたらされた。OPEC 国家は経済利益を求めて5-10年後（2005-2010）に相応の価格上昇を決定するであろうと言われる。米国 EIA は2020年までに実質価格で約30%の価格上昇を見込んでいるに過ぎない。しかし、大方のエコノミストは「予期しない政治的あるいは経済状況下にあっては、価格の不安定な動きの再現が懸念される。」という点で EIA と一致している。すなわち、もし中東の供給が戦争または政治により停止されるならば、かってのガソリンスタンド行列騒ぎが再現するに違いない。石油危機時消費国を救ったのは、メキシコと北海油田の生産増大であった。しかし、21世紀初頭より始まる新しい石油ショックでは非 OPEC 地域の生産補填はもはや期待できず、むしろ縮小のままにとどまるであろう。

アナリスト Richard C. Duncan（7年間にわたり原油生産国サウジアラビアでアラブ人と寝食を共にした。）は言う：原油輸出国のリーダー達は、母なる自然から相続した自國の埋蔵原油が今後価値を増しつづける商品であることを間違いなく知っている。更に、彼等は新規生産に大量の先行投資をすれば、価格を下げる結果となり不利な投資になることも認識している。すなわち、高値安定させて、生産を引き伸ばそうとするに違いない。すなわち、OPEC 諸国は一歩退き、需要供給の力のバランスより漁夫の利を得るべく、むしろ慎重に目標の達成を狙うに違いない。しかし、これは彼等の固有の権利でもある。今後、需給支配力はさしあたり原油輸入国と OPEC はほぼ拮抗する。（Duncan/001,

pp. 10-11.)

(参考) Marianne Kah (Conoco の主任エコノミスト) によると OPEC メンバー国の多くが2000年時点すでにフル生産状況にあり、OPEC 全体が生産増加に同意することは極めて困難である。(Le Min L.,and Wisenthal. S., OPEC Unlikely to Boost Oil Output, Houston Chronicle, May 30, 2000, p. 1C and 5C)

(参考) 1999-2000の動き (2000/3/7 : 朝日)

1. 1997年のアジア経済危機で需要が激減したが、OPEC 産油国はシェア争いから減産をしなかった。1999年は経済危機が過ぎ、世界経済が活況を取り戻すとともに、原油価格は急騰し始めた。油田開発や天然ガス開発のプロジェクトも原油安のため縮小されてしまっており、直ぐには供給が追いつかない状況にある。今後、OPEC の石油市場支配傾向とそれに伴う潜在的なカオスの発生は不可避であると考えられる。つまり、石油危機が再来する可能性が高い。

2. 主要産油国の中サウジアラビア・ベネズエラなどは石油増産の認識で一致しているが、イラン、クエート、リビアが反対するなど産油国も一枚岩ではない。前者はハト派であり、後者はタカ派である。OPEC 諸国の財政事情はいずれも厳しい。前者は概ね生産能力に余裕があり、増産で多少価格が下がっても販売量の増加で最終的には収入が増える。一方後者は生産余力に乏しく、価格低下が減収に直結する。したがって生産調整のタガがゆるむと再び増産と価格低下のいたちごっこに逆戻りするおそれがある。IEA によると OPEC の増産合意達成率は減り、2000年1月では100万バレル未達成であった。これはすでに行われた実質的な増産を追認しためである。したがって、今後ほど大きな増産を打ち出さない限り市場へのインパクトは少ない。

5. 近年の原油高騰傾向

5.1 原油価格の高騰：概要

1986年より1998年までは原油価格は湾岸戦争の時点でバレル20ドルとやや高値となつたが、ほぼ平均15ドルという安値で推移した。言うまでもなく、今すぐに石油が姿を消す情勢にはない。にもかかわらず、Cambell/98, Kerr/98論文の発表後1年を待たずして原油価格は高騰し始めた。

(参考) 1999/6/24 (朝日、図1. 原油価格とガソリン価格の推移、1998年1月-1999年6月)

中東産ドバイ原油価格は99年2月底値のバレル10ドルから一直線に急上昇し、99年5

安価な石油に依存する文明の終焉一縮小する世界の原油生産－

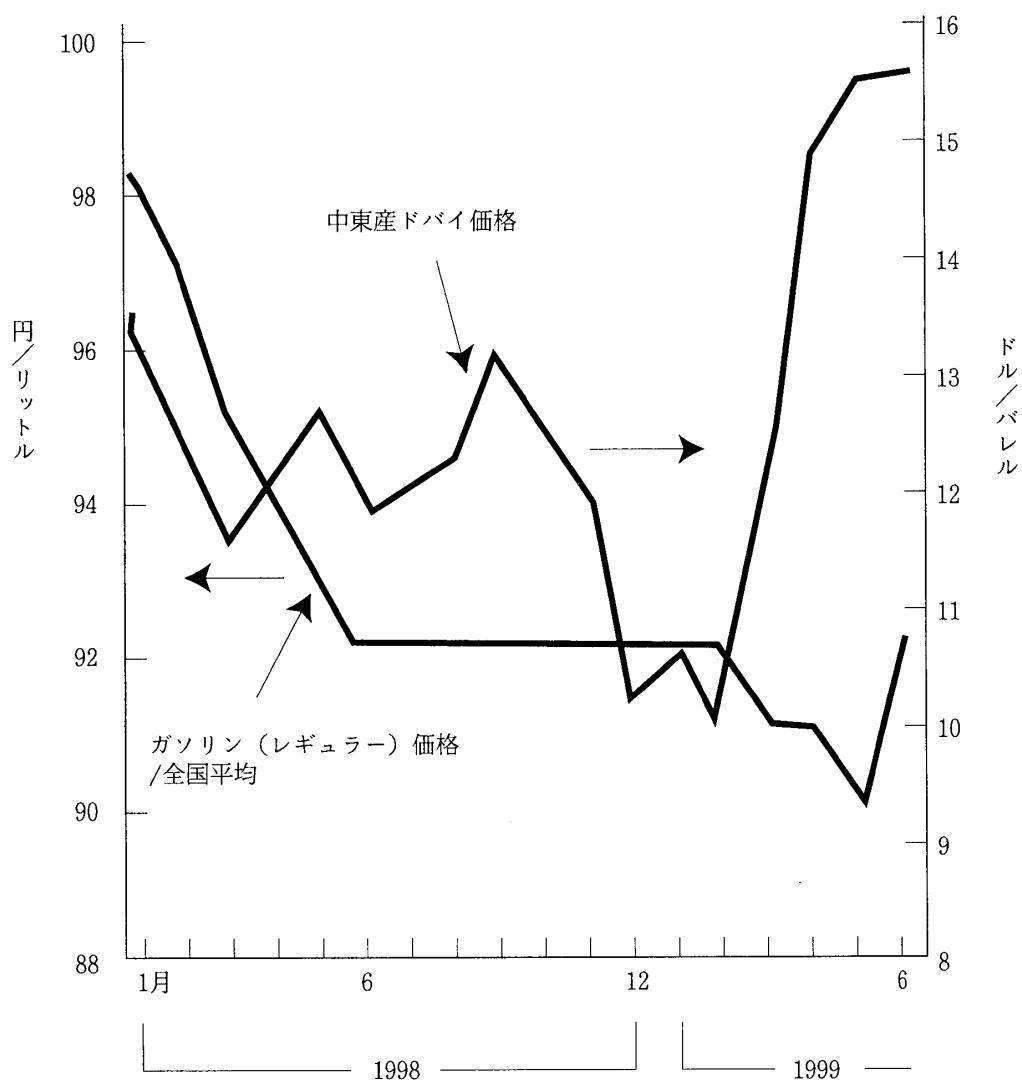


図1 原油価格とガソリン価格の推移、1998年1月-1999年6月（出典：1999/6/24, 朝日）

月には15ドルとなった。それ以後も若干の上下はあったが、経済の回復と共に需給が反転し、2000年9月、30ドルのレベルに達した。この結果、家庭用灯油、ガソリン価格も上昇した。

(参考) 2000/3/7 (朝日, 図2. 原油ガソリン価格, 消費者物価指数 (1998年12月-1999年4月))

OPECの減産政策に端を発した石油価格の高騰が世界経済の先行き不安要因となり、2000/3/27のOPEC総会に対する関心が集まっている。湾岸戦争以来9年ぶりのバレル32ドル(ニューヨーク石油先物価格)という水準に、産油国の一派には増産の動きも出ているが、一方では価格急落を恐れる声もあり先行きは不透明である。エネルギー全体

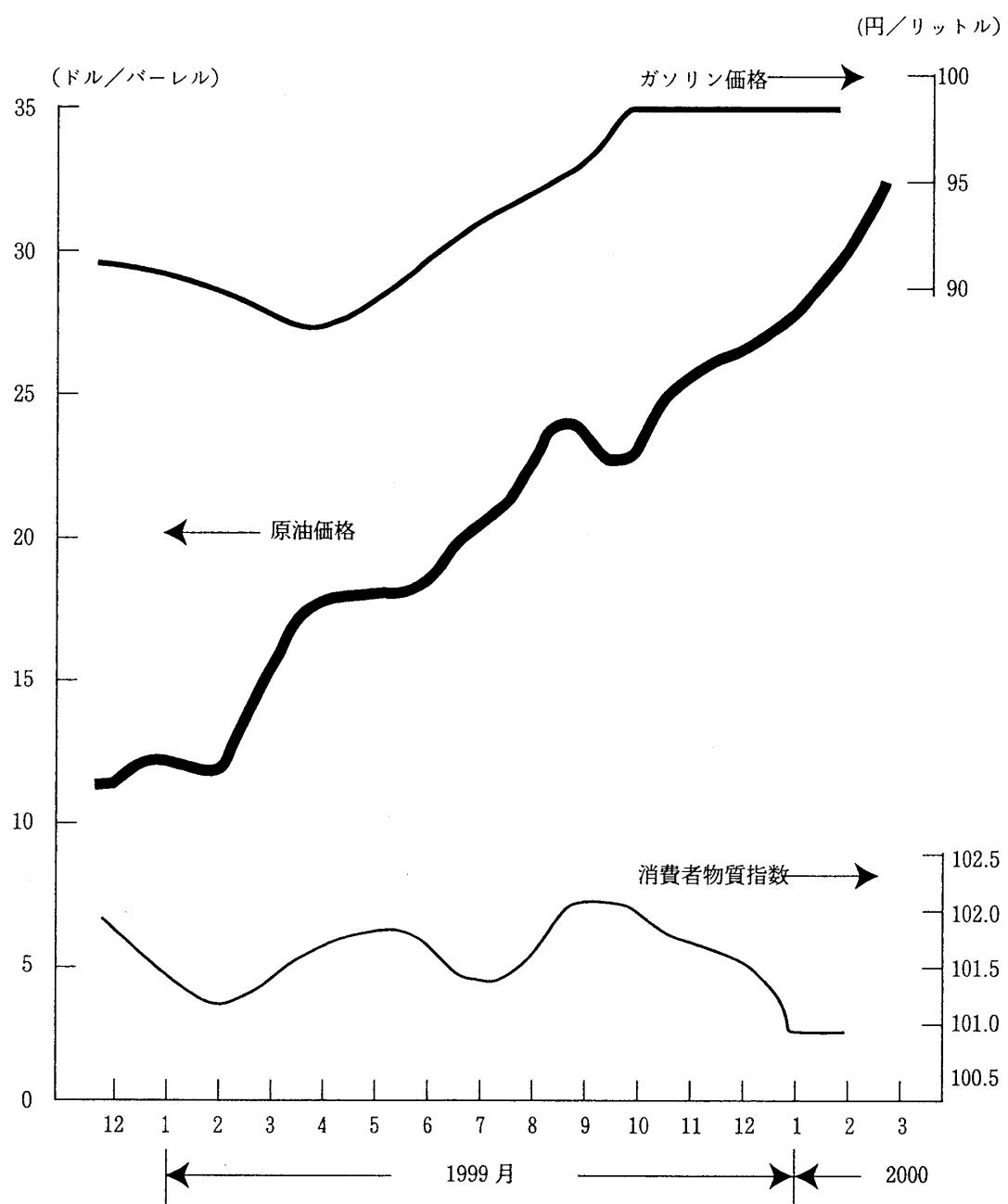


図2 原油ガソリン価格、消費者物価指数（1998年12月-1999年4月）, (出典：2000/3/7, 朝日)

に対する石油依存率は下がっているものの、高値が続ければ日米など主要国の経済にじわりとした影響がでることが避けられない。世界全体では2000年第2・3四半期では供給が需要を上まわっており、長期的には価格が下がる傾向にある。しかるに、OPECが2000年4月と7月に合計で日糧240万バレルの増産に踏み切ったにもかかわらず、米国での原油在庫不足感や灯油の在庫水準の低さから、同年8月中旬以降再び高騰した。

安価な石油に依存する文明の終焉一縮小する世界の原油生産—

(参考) 2000/10/14 (朝日)

1. 9月上旬米国が行った戦略備蓄の放出で一時軟化した原油油価格は10月に入り、中東情勢の緊迫化とともに原油価格バレル35ドルとともに戻った。湾岸戦争時の第3次石油危機以来、原油価格がバレル40ドルまで高騰すると、米国の景気が失速（ハードランディング）する危険性がある。

2. 1973年の第一時石油危機の時には、世界の原油生産に占める中東の役割は6割であったが、今日では4割に減っている。今回は供給が実際に減っているわけではないにかかわらず、先物相場が主導する価格決定となっている点が特徴である。

(参考) 2000/11/1 (朝日)

OPECが10月30日に今年4回目となる増産を発表した後も、原油価格が高値を続けている。OPECは7油種を平均したバスケット原油価格で目標価格帯であるバレル22-28ドルを20日営業日続けて上回った場合に日糧50万バレル増産する非公式な制度を設けている。だが、これまで基準に達しても自動適用せず、総会協議を待って増産を決めていた。今回、臨時総会を前に10月30日から日産50万バレルの増産に踏み切ったのは9月下旬に米国エネルギー省(DOE)長官がOPEC議長国であるベネズエラを訪ねて増産要請をするなど、原油高が大統領選の争点になっている米国の事情を配慮したためとの見方もある。しかし、この増産を発表した10月30日にも小幅ながら価格が上昇した。これは、OPECが自分たちで決めた生産枠をすでに日糧数十万バレル上回って生産しており、増産はその追認にすぎないとするためである（遠藤昌雄/中東経済研究所）。消費国からはさらなる増産圧力が予想されるが、増産余力をもつ加盟国が少なく、アラブ諸国にはイスラエルを支援する米国への抵抗もある。原油供給量は需要を上回り、大幅増産は価格急落を招きかねない（ロドリゲス議長）との懸念も強まっており、今後の見通しは不透明である。

5.2 ヨーロッパの状況（火がついた石油パニック：Newsweek(日本語版), 2000/9/27, pp.20-22）

2000/9/11イギリスではトラック運転手や農民が製油所入り口を封鎖した。この時期、ベルギー・ブリュッセルでの道路封鎖、スペインではバルセロナ高速道路封鎖、アイルランドとポーランドでは交通麻痺などが相次ぎドイツとベルギーの国境では封鎖措置などがとられた。

1973年、1979年、1990年と過去3回の石油危機はOPECのカルテルに原因があった。しかし、2000年のガソリン高騰の原因には、ひとつにはユーロ安がある。対ドルでは原油価格はバレル6ドル分も高くなる。また、ガソリンの場合、価格の大部分を占める税金がある。米国を除き、先進各国のガソリンには一般の付加価値税の他にガソリンその

ものに高額のエネルギー税をかけている。そのため原油高に比例して店頭価格が高くなっている。実力行使の原因には各国の政府の石油政策にもある。

表1 ガソリン(ハイオク)1リットル当たりの価格構成(単位:ドル)(Newsweek(日本語版), 2000/9/27, pp. 20)

国	課税前価格	税金	店頭価格	税金の割合
イギリス	0.27	0.86	1.13	76%
フランス	0.30	0.66	0.96	69
ドイツ	0.29	0.61	0.90	67
スウェーデン	0.35	0.67	1.02	66
オランダ	0.38	0.67	1.05	64
ベルギー	0.35	0.60	0.95	63
アイルランド	0.33	0.47	0.80	58
日本	0.50	0.59	1.09	54
アメリカ	0.36	0.10	0.46	22

(日本の店頭価格は平成12年8月現在、他は同年9月11日現在のデータ、
資料:米国エネルギー情報局(EIA), 石油情報センター)

表1にみられるようにガソリン税の割合は、工業先進国にあってアメリカでは22%で最低の部に属する。イギリスでは76%で最高である。これまでヨーロッパでは高い税金の割合のお陰で省エネルギー意識が高まった。しかし、環境目的税以外にも年金の財源(ドイツ)や準所得税(フランス)へと姿を変えている国もあり、ガソリン税は問題視される。結局、フランス政府はトラック運転手ならびに農民のグループに対し燃料税の1.9%を減税し、ドイツ政府は農民・低所得者層に対し、特別の救済策をとることにした。

2000年9月の段階でアナリストの中には、今後原油はバレル30ドルはおろか40ドルまで高騰すると予想する者もある。問題は公正価格と考えられるバレル25ドルの線の維持である。2年前にはバレル10ドルであったので2倍ないし3倍高騰したことになる。

消費国は原油価格の高騰原因をOPECに転嫁しているが、逆に、OPECは消費国の高い税率を問題にしている。世界市場での原油不足は無い。価格が上がれば精油業界は生産を減らすのでさらに価格が上がると言う悪循環に陥る。問題は消費国の精製部門にある。(サウド・ナシル・アル・サババ:クウェート石油相)

5.3 アメリカ合衆国の状況

アメリカ合衆国は見方によれば、大海に多くの都市が小島のように浮かんだ国である。夜間に旅客機の窓から下界をみているときらめく街の照明がこのことをよく示している。

安価な石油に依存する文明の終焉一縮小する世界の原油生産－

この国にあっては自動車は文字通り国民と産業の「足」であって、燃料としてのガソリンや軽油が欠かせない。灯油も同様で北部州の冬の寒さは厳しい。アメリカで消費される石油 1 日 20Mbo で世界の消費の約30%にも及ぶ。

(参考) 2000/3/7 (朝日)

過去10年にわたり、米国経済が好調に走り続けられたのはバレル10-20ドルという安い石油の潤滑油があったおかげである。しかし、2000年に入って原油価格高騰の影響が見られるようになった。とはいえる、差し当たり米国経済への影響は軽微に止まり深刻な打撃は受けないだろう。この見解は連邦準備制度理事会 (FRB) 幹部をはじめ、米国経済界の共通した見方である。経済における IT (情報技術) の役割が増加し、自動車燃費も改善してきているので米国は原油価格の影響を受けやすかった体質から脱皮しつつある。2000年米国の対 GDP エネルギー原単位は70年代のほぼ1/2に低下している。ガソリン小売価格はこの1年で約6割値上がりし、ガロン (約3.8リットル) 約1.4ドルで、ほぼ10年ぶりの高値となった。しかし、2000年1月の消費者物価指数増は約0.2%で前月と同じ水準にとどまった。競争の激しい航空・運輸繊維・コンピュータなどで料金・製品価格が低下し、石油高騰の緩衝役を果した。しかし、かりに産油国が増産に踏み切っても価格下落までに数ヶ月かかると見られ、4月以降、ガロン2ドルの大台突破が予想される。その結果、雇用は0.3%低下し、レジャー車売上が鈍化するであろう。ワシントンでは輸送業者のトラックデモが繰り広げられた。

(参考) 2000/10/4 (アメリカに「石油不況」の影 : Newsweek(日本語版)/2000, 10/4, pp.30-33.)

2000年9月末、原油価格はバレル37ドルの高値となった。(図3. 高騰する原油価格、参照) それを受け、90年代にいち早く電力の規制緩和済の州では皮肉にも電気料金が急騰した。しかし、ガロン当たりガソリン価格は1981年時点に比べて1ドル近く安い状況にある。今後、冬場を迎えて灯油は30%近く値上がりの可能性がある。ヨーロッパと同様、2000年9月末には自動車運転手の怒りが今期大統領選の争点になった。そこで、2000/9/22クリントン政権は戦略原油備蓄のうち30Mboを放出した。しかし、アメリカの消費は約20Mbo/日なので、これは1.5日分に過ぎない。

ここ数年、米国では経済成長1%あたり電力需要が4~6%のびた。これは主としてIT関連部門の需要である。米国航空会社の多くは国内線の往復運賃を一律20ドル値上げした。また、運輸業 FedEx は料金を4%引き上げたがコスト増をカバーしきれなかつた。IT企業ではサンマイクロシステムズ、シスコシステムズ、インテルなど電力多消費IT企業は電力不足を懸念して、照明・冷暖房を対象に節電プログラムを始動した。

しかし、3月期同様、視野の狭いエコノミストにはまだ危機感はない。原油価格の水

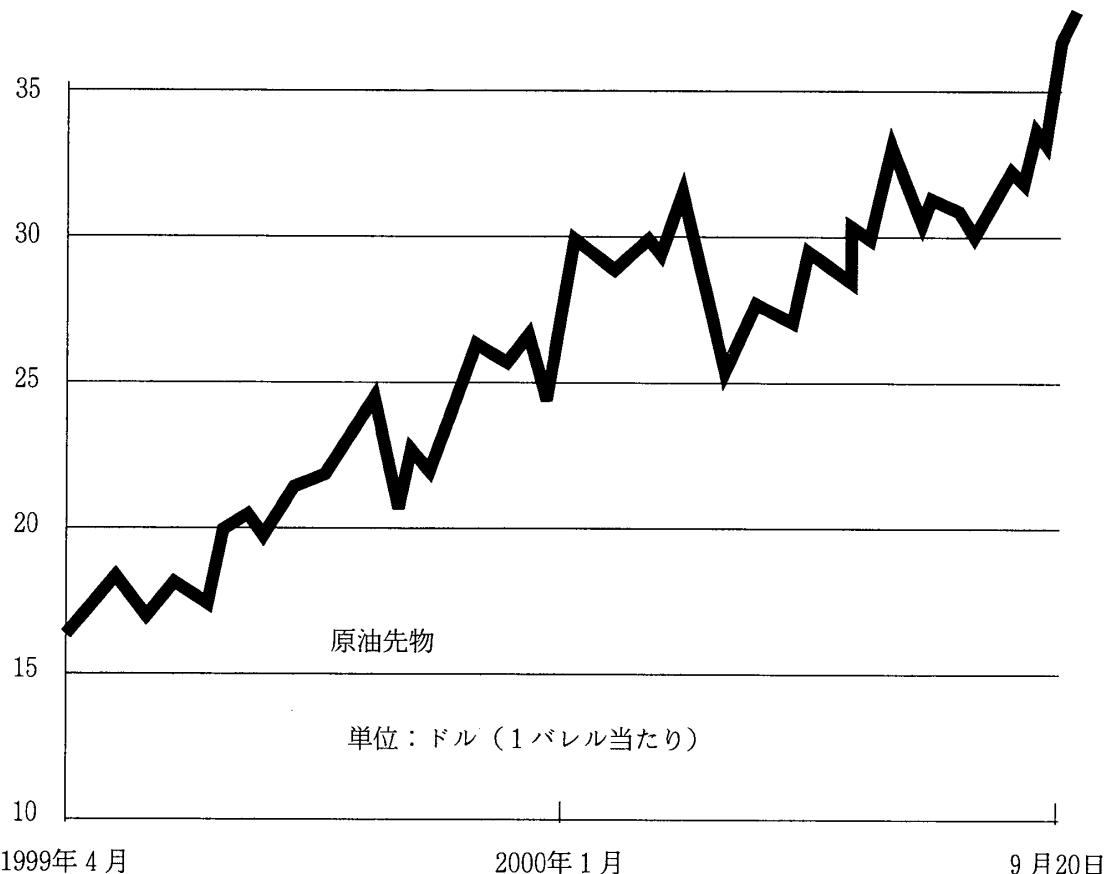


図3 高騰する原油価格（出典：Newsweek（日本語版）/2000.10/4, pp.30-33）

準がまだ石油危機時のレベルに至っていないので2001年の春には反転するとの見方である。OPECも各国が石油離れを起こす事態は避けたい筈であるとの考え方から、DOE（米国エネルギー省）は2001年に原油価格はOPECの増産と戦略原油備蓄の放出の結果バレル28ドルから下落して、バレル25ドルになると予想している。その結果、灯油は2000年の推定平均価格ガロン1.28ドルから下落して1.21ドルになり、ガソリンは2000年の推定平均価格ガロン1.46ドルから下落して1.36ドルになるとしている。したがって、車を買う消費者に危機感はない。大型のSUV（Sport Utility Vehicle）車の売上は今後10%増加する見込みである。今後ガソリン価格ガロン2ドルが長期に続かない限り消費者は問題にしない（自動車業界）。しかし、この見解は今年3月時点のものとは矛盾する。

いずれにせよ、原油高騰の心理的影響は無視できない。すでにホンダやトヨタの低燃費車が売れ始めている。また、州によっても認識が異なる。事実、バーモント州では薪ストーブが飛ぶように売れている。

5.4 日本の状況

(参考) 1999/6/24 (朝日 : 図1参照)

バレル約10ドルまで下落が続いてきた原油価格が99年1月反転・急騰してバレル約16ドルになった。2年半ぶりである。それを受けた約4ヶ月ぶりにガソリン価格も反転した。これまで96年の輸入自由化以来値引き競争に走ってきたガソリンスタンドも値上げに踏み切らざるをえなくなった。これからは上昇基調になると予想される。

(参考) 2000/3/7 (朝日 : 図2参照)

日本でもガソリン価格や電気ガス代などが徐々に値上がりしてきた。しかしエネルギー業界にあっては競争劇化の下で値下げ圧力も強いうえ、原子力利用の拡大など石油依存率の低下もあって市民生活には大きな影響は出でていない。日本が多くを依存する中東産の原油は最近一年間で2.5倍に上昇し、2000年1月の日本への到着時の価格はリットル16.8円となり前年の2.1倍になった。これに伴いガソリンの小売価格も上昇したが、2月時点の全国平均はリットル98円と平成11年5月時点にくらべ、8円の上昇に止まっている。電力・ガスも平成11年10月から、平成12年6月までの値上げ幅は標準世帯で2%程度と見込んでいる。国内の一次エネルギー供給に占める石油の割合は、1973年の77%から98年は52%と依存度を減らしているので消費者物価全体には、これまでのところ大きな影響は出でていない。経済企画庁の98年の調査では原油価格が2割上昇するとGDPを0.03%押し下げる。産油国も原油が高すぎると感じており、今後ある程度下方修正されるとみられる。問題は値下げ幅である。低水準にある在庫の積み上げに時間がかかるので市場の強い基調は続くが一方、一気に投機資金が逃げれば急落する可能性もある。(業界関係者)

6. 原油埋蔵量と原油生産量の将来

6.1 概要

原油（地下より地表に現れたばかりの石油）の採油・生産量の単位は普通 Gbo (10億(ギガ、ビリオン)・バレル・オイル) で表示される。原油生産が始まる前の時点より地下に存在すると推定される原油埋蔵量（原始埋蔵量：In-place）は6,000-7,000Gbo 程度と見られるが、そのうち経済的・技術的に採油できる推定究極可採埋蔵量（Expected Ultimate Reserves=EUR）は技術条件に幅があって2,200Gbo (高度の技術利用の資本が無い場合) ~3,100Gbo (水などを注入して二次回収する資本が有る場合) とされる。（新田義孝・内山洋司：破局からの脱出、電力新報社、p.51, 1993）

ところで、EURとして2,200を取ると、これまでの消費分を除くと、未確認ながら残存が期待できる（可採原油の推定）埋蔵量（Reserves=R）は約1,200Gbo と言える。

石油があと何年間利用可能か？という設問はだれにとっても興味深い設問である。この問題は関連する埋蔵量データ、技術データ、経済データなど各種データを整理し、多面的な分析をして始めて決まるものである。しかし、データに不確定性が伴うので最終結果もその影響を受ける。また、消耗消費財の価格が高騰すると消費は抑制されるものの、代替手法も開発されて拮抗するので、当該消費財の利用期間は延長する。したがって、よく見られる指標として、現存すると考えられる埋蔵量(R)を現在の年間生産量(P)で割り算して年数を算出する、いわゆる可採年数(R/P 値)は全く初步的な目安指標であるに過ぎない。これが、過去50年近く、常に石油の時代が漠然と、あと30～40年と言われ続けてきた理由である。後述するように1997年末現在、既に約800Gboが生産・消費済みであり、1998時点でのCambellの推測では、確実に残る原油埋蔵量である(可採原油の)確認埋蔵量(Proved Reserves=PR)は900Gboである。しかし、問題はこれらの数値の精度である。事実、Cambellのこの数値は他のアナリストに比べ厳しい数値であるが、彼が豊富なデータが利用できるという他にくらべ有利な立場にあったことに留意すべきである。

石油を中心とするエネルギー経済の分析専門家や政府の担当者の多くは、必ずしも十分に根拠のあるデータに依拠することなく、毎年、針小棒大な主観的報告データを基に分析してきた。たとえば、オイルショックの起こる数年前すでにアラスカノーススロープや、ヨーロッパ沿岸に近い大西洋北海において巨大規模の石油が発見されており、既存技術で採掘可能な究極埋蔵量のわずか13%が消費済であったに過ぎなかった。すなわち、良く知られているように、先の石油危機は資源枯渇が原因ではなかった。

評価上の問題点としては：

- ・埋蔵量評価が当事者の都合により歪曲されたもので信頼がおけない。
- ・産油量が一定不变との前提をおいている。(産油量は埋蔵量とともに変化する。)
- ・残余原油も初期原油と同じ流量で採取できるとの前提をおいている。(実際は油井の残余原油がほぼ半分のところまでは油井数の増加に伴い、回収量は増加するが以後は圧力の低下とともに減少する。)

したがって、経済的見地からは何時石油が無くなるかという設問は無意味であって、むしろ産油量がピークを打つ時点が重要である。それ以降は需要が減少しないかぎり価格は上昇するので、たとえ石油は存在しても生産量は減り、石油経済は縮小する。(Cambell/98, p.60)

産油量予測を定量的に行うには、つぎの3つの基本データが必要になる。

- (1) 評価時点における既回収量すなわち、累積生産量； Q
- (2) 石油会社が経済優位性をみとめ、産油を計画する量である確認埋蔵量：PR
- (3) 推定開発可能量：YtfR (yet-to-find-Reserves)

これらを加算したものが(可採)推定究極埋蔵量(Expected Ultimate Reserves=

安価な石油に依存する文明の終焉—縮小する世界の原油生産—

EUR) であって、産油生産開始時より停止時までの全回収可能量に対応する。したがって。これらの数値の間には概念的に以下の式が成り立つ。すなわち、EUR は過去生産開始時点よりある時点 t までの累積生産量 $Q(t)$ とその時点での(可採)埋蔵量 $R(t)$ の和である。

6.2 推定究極埋蔵量の評価の問題点 (Cambell/98, pp.61-62.)

(可採) 推定究極埋蔵量 EUR を決める数値のうち、過去の生産量の合計である累積生産量 Q は石油会社の産油記録が整っているかぎり、容易であり問題がないはずである。しかし、実は必ずしもそうではない。たとえば湾岸戦争時(1991年)、イラクの攻撃によりクウェート油田の原油 2 Gbo が焼失したと評価されているが、1991年の公式記録には含まれていない。いずれにせよ、過去の記録が残っている限り、個別の評価・修正は可能である。それを含めると、専門家の意見は1997年末時点の累積生産量はほぼ800Gbo で一致している。しかし、埋蔵量 R については推測評価を要するため原理的に入手が困難である。公開データはほとんど 2 つの業界専門誌 “Oil and Gas Journal 誌” と “World Oil 誌”によるものである。例年、これらの業界誌は世界中の石油会社と各国政府に向けてアンケートを送り、返送された累積産油量 Q と埋蔵量 R をそのまま出版しており、複数の情報源によりデータの認証は行われていない。その結果、たとえデータに系統的な誤りが紛れ込んでいても、それがそのまま採用されるので報告値のなかには非現実的な矛盾も起こる。

元来、埋蔵量データは確率的なばらつきを持っている。たとえば、ノールウェーのOseberg油田の埋蔵量は確率90%で0.7Gboであり、10%では2.5Gboであるとされるが、この下位の数字はP90推定値とよばれ確認埋蔵量PRに対応する。上位の数値がP10推定値と呼ばれる。この場合、一般に石油会社はこの範囲のうち、自分達にとって有利である都合の好い数字をPRとして報告しがちである。たとえば、過大評価値が、自社の株価の上昇につながることを期待してP10推定値を報告するといったことが起こる。

これらの現状を背景に Cambell は問題点を以下のように整理している。

1. OPEC 産油国の場合、埋蔵量に応じて、輸出割当量が増えるので、さらに過大評価する傾向が強い。OPEC 企業は国有公社であり、自国の総埋蔵量が分かってしまうことを忌避するため、個別油田の詳細値は報告しない。輸出割当量を増やすため、1980年代後半 OPEC に属する11ヶ国の中でも6ヶ国が42-197%の数値操作を行ったとみられる。それ以前は、各企業の P90 値が政府機関の操作を受けることなく控えめな数値としてそのまま正直に報告されていたので、小幅であれば上方修正の余裕が容認された。しかし、

特に新しい油井の発見や技術開発の無いときに287Gboと法外な埋蔵量が追加されたことがある。非OPECの石油輸出国の場合はこのような、言わばでっち上げをする必要が無かった。1997年非OPEC59ヶ国の報告数値は前年と同一であった。埋蔵量は新しい発見があると増加し、生産と共に減少するので、同一というのも不自然である。いずれにしても報告値の信憑性は低い。

2. 埋蔵量の定義が国ごとに違っていることも問題である。たとえば、米国では安全保障・貿易委員会 (Securities and Exchange Commission) の指導により、確認埋蔵量 PR は油井が既存の油井の近傍にあり、既存の回収技術のみかつ現在の石油価格で、余裕のある確率で採算がとれることを条件としている。すなわち、米国における確認埋蔵量 PR は事実上 P90値である。米国以外の産油国の多くでは、原油の確認埋蔵量の定義は規制に含まれていない。かつて、旧ソ連圏産油国の場合には機会あるごとに、例外無く危険サイドの P10値を報告し続けてきたことは周知の事実である。にも拘わらず、アナリストの多くはそれをもって確認埋蔵量 PR であるとしてきた。その結果、1996年旧ソ連の埋蔵量 R の報告値が190Gbo (World Oil 誌) と 57Gbo (Oil and Gas Journal 誌) と異常に相違する事態が発生した。この極端な食い違いをみても、正確な確認埋蔵量 PR の入手困難性が伺える。

一方、正確な確認埋蔵量 PR の収集に努力しても、国によって定義が異なる以上、国レベルであれ、世界レベルであれ、油井の単純加算で確認埋蔵量の最確値が得られるわけではなく、むしろ、過小評価となる。より合理的な評価法は平均値の加算である。すなわち、各油井の評価値の平均をとることである。実際には、評価値の中央値(メジアン)である“確認かつ蓋然 (proved and probable) 値” P50は価格変動が大きくなとの前提が成り立つ場合、油井寿命期間における回収期待量がそのまわりに同じ確率で分布するので、同じ規模の油井については加算により誤差が相殺し精度が向上する傾向にあるという特徴がある。したがって、PR としての P50は一般性があり、かつ実用的であるといえる。

Campbell が属するスイス国ジュネーブの Petroconsultants 社には1988年時点過去40年間の多様な入手可能情報として、18,000に及ぶ油井の膨大な統計データが保存されている。その中には同社のみが所有する報告書も含まれており、それらデータに基づき信頼性の低い既存データの除外・修正が行われた結果、同社の PR 評価値 (P50推定値) は1996年末値で850Gbo である。この値はより安全側の数字とみられる “Oil and Gas Journal” の1,019Gbo に比べ15%下方値であり、World Oil 誌の1,160Gbo に比べ20%下方値となっている。かりに、両誌の安全側確認値が過大評価であったとすると、21世紀初頭の世界経済の予測にとってその影響は重大であり無視できない。

6.3 埋蔵量の下方修正 (Campbell/98, pp. 62-63.)

過去20年間にわたり、報告値の加算による世界の埋蔵量は堅調に増加した。この傾向は2020年まで続き、さらに60%の増加が見込まれるとするものである (USIEA)。しかし、Campbell 等はこの予測が幻想に違いないとする。その理由は、現在の産油量の80%は1973年以前に発見された油田の産油活動として途切れなく続いているが、すでにほとんどの油田において産油量は縮小段階にある。1990年台の新規開発率は年間平均 7Gbo であったが⁹、生産は1998年時点では約 3 倍の 23Gbo のであった。その結果埋蔵量は年間 16Gbo 以上低下する筈にもかかわらず、公式発表ではむしろ、+11Gb の埋蔵量増加を公表したのである。政治的影響力を維持し、他国よりの借款確保力を強化する必要上、2 桁によぶ石油輸出国が埋蔵量値低下の報告を忌避した経緯がある。産油国は、データ修正の機会を与えられると、多くの油田の数値をむしろプラス修正した。その結果、埋蔵量の将来予測が歪む結果となった。将来の修正値を再度客観的に推定評価するために、産油開始以来の修正すべきデータの調査が行われた。その結果判明したことは、世界の新規埋蔵量発見率は1960年代初期にはすでにピークを迎えており、爾後、堅調に低下してきたことである。この傾向を外挿して生産が零になる時点を決定する方法が埋蔵量 R の一推定法である。

その他にも複数の分析方法を援用し、分析した結果、1998年現在安価な在来原油の埋蔵量 R は 1,000Gbo に止まるとみられる。この値は1998年時点で累積生産量 Q : 800Gbo の 2 割増に過ぎないレベルであった。

6.4 生産量ピーク時点の決定 (Campbell/98, pp. 63-64.), (Kerr/98, p.1128.)

安価な石油時代の終焉時点であり、産油量の上昇が弱まりピークを打つ時点の決定法は、各油田における精度の高い未産油埋蔵量の推定評価能力に依存する。

議論は、まさに地質学と採油技術の競合にかかっている。地下に膨大な石油が現存する事実は地質学者と技術畠エコノミストが等しく認めるものの、限られた原価で地質学者がそれを発見し、かつ技術者が抽出できるかということになると議論がある。石油の抽出実績に着目する地質学者は、固定された粗い予測埋蔵量を評価し、生産ピークを早めに設定する傾向にある。最良の将来予測は過去のデータであるとする彼等の主張は、合衆国の石油生産のピーク予測に成功した実績に依拠している。すなわち、将来の石油生産予測にあたって、多くの地質学者は M. King Hubbert が 1956 年開拓した経験則にもとづく Hubbert 曲線に高い信頼を置いている。これは原油生産における Hubbert 経験則と呼ばれ、大規模油田で有限な原油の自由な採掘が続く場合、約半分の資源が無くなった時点で生産量はピークを打ち、時間的にはほぼ左右対称のベルの型になるというものである。

Hubbert は限定された資源とその利用を規制する原則をシナリオの前提とすると、生

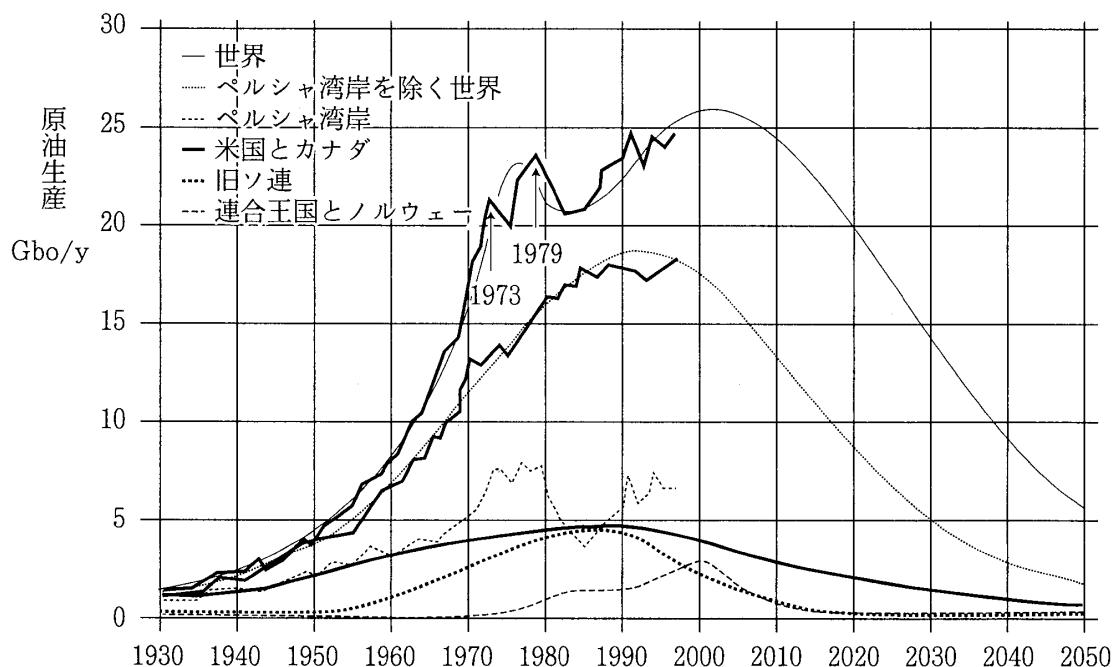
産は先ず上昇し、次第に減速してピークをうち、その後ベル形になる曲線で下落すると推測した。すなわち、まず石油の抽出がゆっくり始まり、それに引き続く探査により石油の大部分を保持する大型油田が順々に発見されたという歴史に注目すると、これは彼のベル形曲線の上昇側に相当する。急激な生産開始後を経て生産が低迷するがその時点までの探査はほとんど発見の容易な大型油田に集中する。より小さい油田は数的にはより多いが、それらよりの抽出は困難であり、かつ量的にも大型油田に比肩できない。埋蔵石油の状態は表面がスポンジ状の容器に入っているようなイメージである。油井は当初高速自噴するが、後刻流量は減り、最後には滴状となる。したがって、大油田からの産出もいずれ低下する。石油発見率が低下し、初期の大型油井からの生産低下が相俟つて、累積生産量が推定究極埋蔵量 EUR の約1/2になると全体の生産がピークを打つ。その後、生産は上昇時と対称的に下落する。結果的にベル形の曲線になる。Hubbert は Shell Oil Co. の社員であった1956年、過去の累積生産量と各年の生産量に基づき、今まで毎年のように急速に増大し続けていた米国48州の産出高が1965から1970までにピークに達し、それ以降は確実に縮小する趣旨の予測論文を発表した。そして、予測通り1969年に生産はピークを打ち、1970年以降減少した。

過去の原油生産を一部複合的な Hubbert 曲線をベースに当てはめ、将来の予測をすると、図4（世界の原油生産と将来予測）のように2005年前後でピークを打つ。「米国の石油生産ピークに関する結論に対する初期の反応は、仮にそうだとしても、人間はクレージーで何とかするに違いない！」という猜疑心であった。」と後刻、Hubbert は回顧した。Hubbert 曲線を世界石油生産に適用すると、図4のように比較的厳しい将来が見通される。すでに、米国とカナダの石油生産は1972年にピークを打った。旧ソ連の生産高は、1987年以来45%減少している。ペルシャ湾以外での原油生産ピークを打つ時点が緊迫している。1979年の石油危機の機会に、Hubbert 自身も世界ピークを1999-2000年の間と概算をした。1979年当時地質学者は石油埋蔵量を過小評価しがちであったが、Hubbert の予測も実態以上にあまりにも暗いものであった。（なお、Hubbert 曲線に関する異なる見解については付録I参照）

最近になって、Hubbert 流の見積りが5ケース行われた。それらによると、一部を除き、世界石油生産が2010年前後でピークを打っている（表2）。この中で最も悲観的なものが本稿でとり上げた Colin Campbell と Jean Laherrere (Campbell/98, p.60) によるものである。一般に地質学者は安い在来石油は、既に世界埋蔵量の半分が採油されたので、今将に枯渇開始が見えはじめたと指摘する。

未来の最高の予言者は過去であるとして、米国の主要48州のデータを基に、石油生産のピーク年の予測がされた。(Kerr/98, p.1128) しかし、実は48州のピークにとどまらず、他の主要3産油国でもすでにピークを打っている。米国ではアラスカを含め49州（1970年）、北米（米国、カナダ、メキシコ）（1984年）、旧ソ連（1987年）である。仮に、

安価な石油に依存する文明の終焉—縮小する世界の原油生産—



注：石油生産は1973年と1979年に低下した後回復した。一部複合的な Hubbert 曲線に基づく当 cambell のモデルによれば10年に満たないところで恒常的低下が発生している。米国とカナダの石油は1972年にピークを迎えた。旧ソビエト連邦の生産高は、1987年以来45%減少した。ペルシア湾領域外での原油生産のピークが1998現在、緊迫していることが分かる。

図4 世界の原油価格と将来予測（出典：Colin J. Campbell and Jean H. Laherrere : Scientific American, March 1998, 60-65）

技術が埋蔵量を顕著に押し上げ得るならば、米国の生産曲線は少なくとも安定するはずである、一方、それらの悲観論が正しいならば、生産は降下し始める。事実、データは米国の生産傾向をみると暫くまえより急な下り坂にあった。実は、1991年から1997年まで生産は年平均マイナス2%で減少した。（Science/88, p. 49, Richard C. Duncan and

表2 世界石油生産の予測されたピーク時点存在期間

(kerr/98, p. 1128)

研究者	ピーク時点存在期間
F. Bernabe, ENI Spa. (1998)	2000-2010
C. Campbell, J. Laherrere (Petroconsultants 社) (1998)	2000-2010
J. MacKenzie. Word Resources Institute (1996)	2007-2014
International Energy Agency (OECD)	2010-2020
J. Edwards, University Colorado, Boulder (1997) Energy Information Administration (USDOE) (1998)	>2020

Walter Youngquist)

図4に見られるように、Hubbert理論は、旧ソ連、非中東産油国の総計データも見事に説明するが、世界合計については必ずしもそうではない。1970年代他国が最大限の産油をするなかにあって、中東のOPECメンバー国が意図的に産油調節をしたためHubbert経験則の前提が崩れる事態が発生したためである。ノールウエーと連合王国を含め、最大規模の産油国が大幅な産油削減調整に入らない限り、2000年前後に各油田が生産ピークにはいるとみられる。2002年までは、中東の湾岸5カ国ビッグファイブの生産が需給ギャップを埋めざるを得ない。しかし、世界の累積生産量が900Gboのレベルに到達すると、生産は下降し始めるであろう。そして、世界的な不況を回避しようとするため、生産がピークを打つ時点が早まり、2010年を待つことなく訪れるであろう。(Campbell/98, p.63.)

7. 新規探査・採掘技術の進歩の見通し

7.1 新規油田の探査・油井の採掘可能性 (Campbell/98, pp.64-65.)

1980年初期、原油の高騰が続いていたとき、探査・採掘企業は最新の技術をもって世界中を隈無く新油田の発見の努力を続けた。しかし、新規発見低下の傾向に歯止めがかからず、新規発見量は限られた。すなわち、今後の新規開発投資の効果は薄いとみられている。しかも、現在、世界の原油の90%はすでに主要石油企業の手中にある。探査を残している地域は深海・極地であるが、地質学的知見によると、新発見の期待性は薄く、ほとんど絶望的である。また、最近話題になっているカスピ海油田の資源量は、確かに、2010年まで産油増加が見込めるものの、全資源量は高々北海油田規模の50Gbo程度であって、一時言われたれた規模186Gboは一桁大き過ぎることが判明した。(Kerr/98, p.1130) また、日本に近いロシア樺太近海油井Sakhalin I~VIは大規模の天然ガスを埋蔵するが、原油のみでみると、一油井あたり1Gbo程度であって規模はさらに小さい。(Dinty Miller et al. Sakhalin Oil and Gas Status and Prospect, Oct., 1998, <http://russia.shaps.hawaii.edu/energy/sakhalinog981001.html>)

新技术により油田当たり回収率向上に期待がもてるのだろうか？1960年代、石油採掘企業は大略30%が回収率であるとしていたが、最近では40~50%は大丈夫であるとしている。しかし、この数値の適用は油井所持者が実際に回収率向上を目論むためであったり、P90値の評価値を上方修正報告に使うためであったりする。いずれにしても世界最大規模である中東内陸の油田は今のところ自噴しており該当しない。

また、エネルギー経済の専門家は原油価格が上昇すると、シェール油等原油以外の石油に経済的価値が生れると主張する。たとえばベネズエラのオリノコ油田帯には1.2Tbo(兆(テラ)バarel)の重油を含むオイルシェール(油母頁岩)がある。また、カナダと

安価な石油に依存する文明の終焉一縮小する世界の原油生産－

旧ソ連には300Gbo相当のオイルサンド（油砂）とオイルシェールがある。しかし、遠い将来はともかく、差し当って石油企業にはこれら開発の資金的余裕はない。しかも、開発には法外な環境コストがかかる。したがって、一試算では今後60年間に700Gboの産油にとどまるといわれる。しかし、すでに原油高騰を見こんでカナダでは最近オイルサンドの試掘技術開発が続いている。（より詳しくは、Richard L. George, Scientific American/March98, p. 67, を見よ。）

7.2 埋蔵量の大幅増加の見通し：技術が救世主？（Kerr/98, pp.1130-1131.）

いま直ぐと言わないまでも、石油がいずれ尽きるであろうことを否定する者はいない。しかし、地質学者とエコノミストの中には技術に信頼を置く者も少なくない。

- ・「我々は、ピーク前30～40年前のところに居る。」（石油地質学者 William Fisher, University of Texas, Austin の米国エネルギー省情報局（DOE/EIA）の発行する最近の世界エネルギー展望（World Energy Outlook）が支持）。
- ・「我々は、生産のピークの発生を当該展望の限界（2020年）後になるまで見ないであろう。思うに、技術開発と中東の生産力増強により、石油は供給され続けるであろう。」（Linda Doman, EIA）

- ・「技術による新しい資源の発見により回収費用過増が相殺し、既に使われている3大技術が埋蔵量増大に役立つ。」（Douglas Bohi : Charles River Associates, Washington, D.C.）すなわち：

1. 最近、探査専門家は対象の地質構造を確認し潜在的な石油埋蔵の精度の高い画像表示にスーパーコンピュータを利用する3次元探査法の利用が可能になった。
2. 新しい採掘方式の採用。最初に垂直試錐をし、その後横孔を掘ることにより、必要な井戸数と経費が1/10に減少している。
3. 深度数百メートル海底での油井操業技術の適用。メキシコ湾、西アフリカ洋上、北海で新しい油田が操業している。

（新しい石油回収技術の詳細については、は、R. N. Anderson, Scientific American/March 98, pp.69-73. を見よ。）

これら楽観論者の意見では、莫大な新規油田の発見が仮に今後ゼロであるとしても必ずしも問題ではない。問題は、石油産業が既存の油田と発見され易いその周辺油田での抽出量である。彼等の言うところでは、たとえ世界が26Gbo/年を消費するとしても、埋蔵量も急速に増大している。また、OPEC産油国の大部分の埋蔵量増加は確実であり、非OPEC産油国でも埋蔵量が増加している。それは新規油田発見ではなく、既存の油田の活性化によるものである。したがって、技術開発こそがポイントである。技術により既存油田の生産量の倍増も可能である。これらの新技术が相俟って Hubbert が古い油田を対象に宿命的生産低下と見なしたものと見なしたものを減速、もしくは延命し得ると楽観論者達は主

張する。事実、そのような新技術が1990年代中期に米国の石油生産縮小阻止に寄与した例もある。

しかし、悲観論者も再反論する。技術の大部分は生産効率向上を目指してきたが埋蔵量増加に寄与していない。事実、石油産業は19世紀に始まって以来、新技術は埋蔵量増加に役立つ技術は全て利用してきた。最新式の採掘設備と3次元地震探査技術の開発は極端に革新的なものではなく、むしろ逐次的改良である。従って、すでに当初より Hubbert曲線を押し上げてきた。すなわち、悲観論者の主張は、曲線の形は安定した技術開発を既に織りこみ済みであり、それら今日の科学技術の進歩は曲線をわずか変化させるに過ぎないというものである。

- ・「エコノミスト達が指摘する油田開発努力は、いずれも曲線をごくわずか上下振動させるに過ぎない。開発に骨を折ることによって、米国の曲線に幾つかの突起をつくることはできる。しかし、全体の傾向が下がっていくことには変わりがない。」(Albert Bartlett: コロラド大学 Boulder 校、世界ピークを2004年と計算した物理学者)

事実、石油が1980年代初頭バレル40ドルまで高騰したとき、米国の生産曲線は狂乱的試錐に反応して、一時的に横這いになったが、すぐに元通り下降した。更に、悲観論者は高い原価で生産を増加した場合、採油された石油はもはや安い石油ではないと指摘する。

- ・「1970年代末と80年代初頭の高価格が引き起こした狂乱的試錐が石油産業の歴史で最も高価な石油生産であったことが分かった。」(Cutler Cleveland: ボストン大学エコノミスト)

しかし、このような生産状況の発生は安い石油が支えた黄金時代が終り、高価な石油の過渡的段階に入ったことの証明以外の何物でもない。

1998年より数年間に両立場の議論がテストされることになる。技術が埋蔵量を顕著に押し上げ得るならば、米国の生産曲線は少なくとも安定するであろうが、一方、悲観論者が正しいならば、すぐにも急激に下降するであろう。今後、北海油田の生産傾向をみるとにより、壮年期の石油地域の運命がいかなるものか明らかになる。悲観論者は北海油田が2000年代初頭にもピークになると予測する。

8. 世界の原油生産予測

8.1 新しい原油生産予測手法

終に世界が差し迫った石油不足に入るのか、あるいはさらに数十年は貰えるのかを知るには、世界生産曲線データをより詳細に予測・分析する必要がある。もちろん、石油予測は外れることのある仕事である。しかし一方、信頼性のあるデータを描いて将来の予測に拠り所が無いことも自明である。そこで、殊なる予断を持つ事なく、過去と現在

安価な石油に依存する文明の終焉一縮小する世界の原油生産—の経験のみを加味する知識発見的原油生産予測法（ヒューリスティック）の適用により地球の石油生産の余命について重要な知見が明らかになると考える。

Duncan が用いたヒューリスティックは Hubbert 曲線を前提にはしない新しい予測手法で、国・地域・特別なカテゴリー分類・世界を対象に石油生産を予測する。この方法は、従来の紙と鉛筆のスケッチでイメージを描く曲線当てはめ法に代るものである。世界石油生産を大小を問わず42の石油生産国に分け、1998年時点以来の98%以上の世界生産を予測できる。Duncan の予測法は、原油生産モデルの組み立てに当たり、過去の原油生産データ、発見的知識、並びに数量的バランスがとれるよう幅広く対話型計算を行う方式である。まず、米国・カナダ・イランの他、上位39の原油生産国に適用し、さらに世界と、主要地域の原油生産予測を得るために、これら42カ国の予測を加算して北アメリカ、OPEC、非 OPEC、全世界の生産予測値を求めるものである。（Duncan001, pp. 2-4.）

Duncan はこの手法をもとに、古いデータを最新データに入れ替え、また新しく追加し、1996-2000年にわたり、予測を進めてきた（Duncan 予測#1-5）。実は、いずれも世界ピークは2005-2007年、ピーク生産量は29-32Gbo/年、の狭い範囲に入っている。（表3.）

表3 世界の石油生産がピークを打つ年と生産量予測
(Duncan/001, p. 10 : Duncan/002, p. 2.)

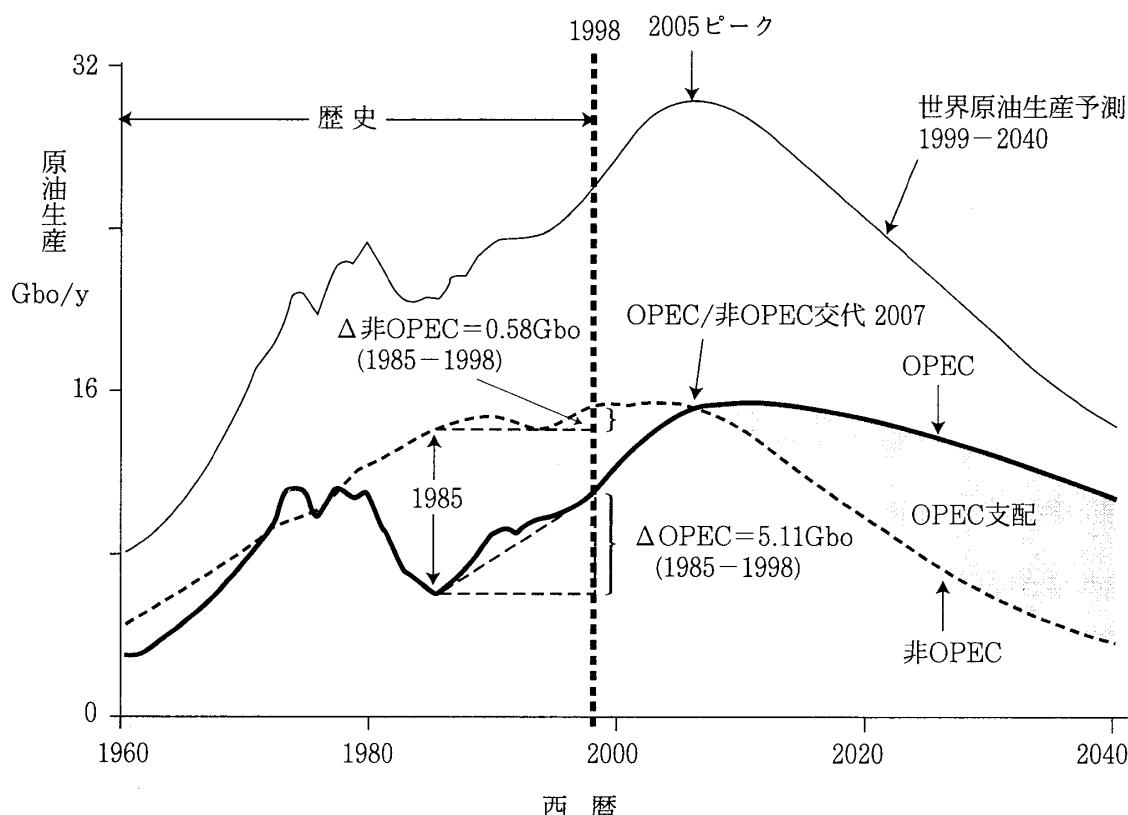
予測名	予測年	予測ピーク年	ピーク生産量 (Gbo/年)
Duncan 予測#1	1996	2005	29.0
Duncan 予測#2	1997	2007	30.6
Duncan 予測#3	1998	2006	31.6
Duncan 予測#4	1999	2005	30.5
Duncan 予測#5	2000	2006	30.0

注：Duncan 予測#1-#3の文献については、Duncan/001を参照のこと。

Duncan 予測ソフトは誰でも無料で使えるようになっている。今後とも、毎年データ整理と予測がなされ、世界石油生産の全過程の重要事象が必然的に明らかになることが期待される。次に、最新の Duncan 予測#4, #5 をもとに、石油生産を通して今後の世界を分析する。

8.2 Duncan 予測#4 (Duncan/001, pp.14-17.)

1999年 Duncan は原油を生産する最後の国がサウジアラビアであり、2110年に終了すると予測した。



注：(1)世界石油生産は、2006年にピークを打ち、OPEC/非OPEC交代は2008年に発生する。(2)歴史的データをより、1985年から1998年までOPECの石油生産率が非-OPEC国の8.8倍増加したことを見出す $[8.8 = (5.11\%)/(0.58\%)]$ 。

図5 世界、OPEC、非OPECの原油生産（出典：Richard C. Duncan, Heuristic Oil Forecasting Method）(<http://www.halcyon.com/duncanrc/text.htm2000>)

図5（世界、OPEC、非OPECの原油生産）に主要結果の一部を示す。1960-1998年までの世界の原油生産データと1999-2040年までの予測結果である。1860年から1973年まで世界石油生産成長率が120年間近く指数的に増加したことを再認識するべきである。殊に、1960-1973年の世界の原油生産が平均7.0%/年で急成長した。この時代はいわばのどかな時代で、米国・ヨーロッパ・日本等の消費国は安い石油の生産増加を当然と受けとめていた。しかし、残念ながらそれは突如として1973年に終焉した。1860-1973年と同じ石油生産の時代が再現することはない。その後、1973~1983年の間、世界の原油生産の成長率はほとんどゼロであったが、1983-1998年の15年間は平均1.7%/年ながら成長が回復した。

生産率は1998年より2001年まで急速に増加するものの、その後突如ゼロに向けて減速する。世界の原油生産は2005年にピークを打ち、2040年まで世界原油生産は53%下がると予測される。そして、この35年間は平均2.1%/年の低下率となる（Duncan予測#4,

表4)。

計算機シミュレーション結果をみると世界原油生産のピークが比較的不動であることより、Duncan モデルで採用した42カ国の中の最近の生産傾向が支配的である(表4)。しかし、世界原油生産ピーク以上に重要なことは、おそらく、2007年に発生すると予測されるOPEC/非OPECの生産主役の交代時点である。この時点より(或いは、その思惑のみでも)世界が余剰の原油を持つ地域・国と埋蔵量ゼロの地域・国の二極化に入ると懸念される。

図5より分かるごとく、1985年から1998年までOPEC生産高は平均4.54%/年で急成長し、5.11Gbo増産したが、非OPEC生産高はこの期間1桁小さな0.30%/年で推移し、0.58Gbo増産したに過ぎない。すなわち、前者が8.8倍大きな伸びを示している。OPEC/非OPEC交代事象は2007年に発生し、2040年までにOPECが世界石油の75%保有する。OPECと非OPEC国の生産は、2011年にOPECがピーク後いずれも急激に低下する。

Duncan予測#4によると：

- (1) 2007年のOPEC/非OPEC交代事象は歴史的生産傾向のみからもほぼ明白であり、2007年より世界原油輸出のほぼ100%をOPECが支配する。
- (2) OPEC支配の確実性は、過去の世界原油確認埋蔵量評価により明らかである。例えば、データベースによると、全世界原油の76%がOPECの保有する確認埋蔵量である。

表4に1960年から1998年までの世界原油生産と1999年から2040年までの最新の予測の要約を示す。1998年末時点の世界原油埋蔵量は1,341Gbo(=2,213-872)であったが2040年末では313Gboになる。

表4は世界7地域と全世界の予測結果である。北アメリカでは1985年に、旧ソ連では1987年すでにピークを打ったことが分かる。他の地域も遠からずピークを打つと予測される。すなわち、2001年のヨーロッパ、2003年の太平洋岸のアジア、2004年のアフリカ、2006年の中央・南アメリカである。生産がピークになる最後の地域は2011年の中東である。

問題は、日本を含む太平洋岸のアジア人口が世界人口の少なくとも60%を占めているが、この地域の埋蔵量は全世界の6.6%に過ぎないことである。一方、中東の原油生産国の人口は、世界人口のわずか4%に過ぎないにかかわらず、世界確認埋蔵量の54.9%を所有していることである。

Duncan予測#4の予測方式はHubbert曲線を前提にしていない。しかし、世界原油生産のピークは、世界の累積生産量が1,087Gboに達するとき、すなわち2005年に発生すると見られる。また、42カ国EURは2,169Gbo(表4)と予測される。すなわち、累積生産が42カ国EURの50.1% $[(1,087)/(2,169)]$ に達するとき、世界原油生産がピークに達する。Hubbertピーク則から大幅にはずれる国(例えはイラン)があるにもかかわ

表4 世界原油生産量予測 (Duncan 予測#4, Duncan/001)

地域	地域名	石油生産量			累積石油生産量			2040時点での生産低下率	埋蔵量 (R)	地域埋蔵量比 R(42カ国対象)	
		ピーク年	生産ピーク値	1998	2040	1998	2040				
#	名称	年	Gbo/年	Gbo/年	Gbo/年	Gbo	Gbo	ピーク比 (%)	Gbo	%	
1	北アメリカ	1985	5.6	5.2	0.9	252.4	372.5	380.4	84	128	9.7
2	中央・南アメリカ	2006	2.7	2.4	1.2	76.6	165.6	177.3	56	101	7.7
3	ヨーロッパ	2001	2.4	2.4	0.3	35.4	91.7	93.3	88	58	4.4
4	旧ソ連	1987	4.6	2.7	1.3	134.8	246.2	262.4	72	128	9.7
5	中東	2011	12.2	8.3	9.1	223.9	684.8	945.9	25	722	54.9
6	アフリカ	2004	3.2	2.7	0.8	71	158.9	162.6	75	92	7
7	アジア太平洋	2003	2.8	2.7	0.7	60.9	143.3	147.3	75	86	6.6
42カ国		2005	30.5	26.4	14.3	855	1,863	2,169	53	1,315	100
全世界		2005	31.1	26.9	14.5	872	1,900	2,213	53	1,340	100

(人口は2000年の Famighetti, The World Almanac and Book of Facts 2000, World Almanac Books, Mahwah, NJ, P. 1024., 原油は BP Amoco (1968-1999), BP Amoco Statistical Review of World Energy. BP Amoco p.l.c. London. の1999年データ)

らず、この結果は驚くべきものである。これは全42カ国の原油生産曲線を加算すると、揺らぎが相殺するため、世界生産曲線は滑らかとなり、ピーク前後で生産がほぼバランスするためである。Duncan 生産量曲線はほぼ完全に Hubbert 曲線を確証するものとなっている。すなわち、いずれにせよ、世界の原油生産のピークは、世界の累積原油生産の中間点近傍で発生する可能性が高いことが判明した。

Duncan 予測#4 の結果より、更に2つの生産主役の交代事象が重要である。

第1の主役交代事象は中東/非中東の交代である。ここで、中東地域とはアラビア半島を中心とする9原油生産国、イラン、イラク、クウェート、オマーン、カタール、サウジアラビア、シリア、アラブ首長国連邦、及びイエメンを指す。中東/非中東の原油生産主役交代は2023年に発生する。そして、2040年までにこれら9ヶ国が世界の原油の63.6%を生産する [表4データより、 $(9.1)/(14.3) = 63.6\%$]。

第2の主役交代事象はイスラム/非イスラム諸国の交代である。イスラム圏の情報はタブーが多いものの、確かにことは、今日、世界のイスラム国が対地域的問題と世界にまたがる複雑な問題についてかってないほど連帶していることである。イスラムの石油生

安価な石油に依存する文明の終焉—縮小する世界の原油生産—

産国としては中東地域と北アフリカの4国家、インドネシア、カスピ海地域の国と西アフリカの原油生産国的一部が含まれる。イスラム/非イスラムの原油生産交代は2001年に[sic:原文のまま]発生する。それ以降、イスラム国の原油生産は2010年まで増加して全世界の55.6%になる。これは、2020年に61.0%，2030年に67.5%，2040年に73.0%まで増加する。21世紀に入り、今後イスラムが世界で大きな発言権をもつであろう。

8.3 Duncan 予測#5 (Duncan/002)

生産の平均成長率をみると、Duncan 予測#4 とほぼ同様1973-1985年までほとんどゼロであったが、1985-1999年までの成長は14年間では平均1.52%/年に回復した。

ここで、Duncan 予測#4, #5 の特徴のうち、主要な項目を比較して表5に示す。

表5 Duncan 予測#4と予測#5の比較 (Duncan/001, 002)

	Duncan 予測#4	Duncan 予測#5	備考
・世界生産/ピーク年 ・その後、2040年まで	2005年 53%下落、-2.1%/年	2006年 58.8%下落、-2.4%/年	石油の高騰 2040年以後、より厳しい下落傾向
・イスラム/非イスラム交代時点 ・2040年イスラム確認埋蔵量占有率	2001年(原文のまま sic) 73%		21世紀におけるイスラム諸国の台頭
・OPEC/非OPEC交代時点 ・OPEC 生産占有率 ・同輸出占有率 ・OPEC 確認埋蔵量 ・ピークより2040年の間	2007年 100%近い 76%	2008年 50% 100%近い 77.6% OPECの生産は25.6%下落、非OPECの生産は93.6%下落。2040年時点OPECは世界の石油92%を生産、非OPEC国は8%の生産。	OPEC/諸国の台頭 世界の2極化
・中東/非中東の交代時点 ・2040年の世界の原油生産量	2023年 63.6%		中東原油生産9カ国 国の石油支配：イラン、イラク、クウェート、オマーン、カタール、サウジアラビア、シリア、アラブ首長国連邦、及びイエメン

Duncan 予測#5では、Duncan 予測#4にくらべ、世界の石油生産は1年遅れて2006年にゼロになりピークを打つ。その後、2040年まで、世界石油生産は58.8%下落する。この34年間の平均低下率は2.4%/年で、予測#4の2.1%/年より厳しい下落傾向となっている。

世界石油生産ピーク以上に重要な時点は、やはりOPEC/非OPEC主役交代点であり、2008年（Duncan 予測#4では2007年）に発生が予測される。この交代事象により世界が2極化する。余剰の石油を持つ地域と不足する地域である。

Duncan 予測#5のシナリオの特徴は以下の通りである。

- (1) 2008年の初め以降、OPEC 産油国が世界の石油の50%以上を生産する。
- (2) やはりそれ以後、OPEC が世界石油輸出のほぼ100%を支配する。
- (3) OPEC 支配の確実性は、全ての主要なデータベース(BP Amoco 社・IEA(国際エネルギー機関)・USGS(米国地質調査所)・USDOE(米国エネルギー省))により裏付けられる。例えば、BP Amoco(2000年)によると、OPEC が全世界の確認埋蔵量の中77.6%（予測#4の1.6%増し）を保有する。規模のばらつきはあるものの、データベースの全てでOPEC の確認埋蔵量が支配的である。
- (4) OPEC/非OPECの交代が近づきつつあることは、予測#4同様、歴史的な石油生産傾向のみから明白である。事実、1985年から1999年までのOPEC 生産高が平均3.46%/年（1998年までは平均4.54%/年）の高率で増加した。一方、非OPEC の生産高は、まさにこの14年間、0.37%/年（1998年までは平均0.3%/年）の低率成長にとどまった。殊に、OPEC と非OPEC 共に、石油生産は2008年以降2040年を超えて低下し続ける中にあって、OPEC の生産は2008年から2040年まで25.6%低下にとどまるが、非OPEC の生産は93.6%まで落ち込む。そして、2040年時点、OPEC が世界の石油の92%を生産し、非OPEC 国が8%を生産する。

表6にDuncan 予測#5より、確認埋蔵量、PR/P比、人口、PR/人口比、確認埋蔵量(US\$換算)に関するOPEC11ヶ国/非OPEC国/世界全体データの要約する。表6より分かることは、世界人口のわずか8.4%のOPEC が世界の確認埋蔵量の77.6%を所有している現実より、2008年を待たずとも、2000年現在、すでに世界石油輸出市場でOPEC が主導権をもっている事実がある。いづれにせよ、今後、OPEC の支配がますます強まることが懸念される。

9. 石油需給と国際関係

1998年時点世界の石油需要成長は2%/年であった。85年時点と比べる98年時点は南米で+30%，アフリカで+40%，アジアで50%の伸びであった。米国DOEエネルギー情報局(EIA)の予測によると2020年までに石油需要は60%増加し、40Gbo/年になるとみら

安価な石油に依存する文明の終焉一縮小する世界の原油生産—

表6 OPEC・非-OPEC・世界石油埋蔵量・人口・換算価値データ

(Duncan 予測#5, Duncan/002)

OPEC 加盟国	PR (Gbo)	全世 界比 (%)	PR/P 比(年)	人口(百万) 1999年6月	世界人 口比 (%)	PR/人 (バレル/人)	人口当たり 価値(\$/人) (バレル34 ドル換算)	全価値(10億 米ドル) (バレル34 ドル換算)
1. Saudi Arabia	263.5	25.5	87.5	21.5	0.36	12,253	416,601	8,959
2. Iran	112.5	10.9	119.5	22.4	0.37	5,016	170,553	3,825
3. UAE	97.8	9.4	107.0	2.3	0.04	41,724	1,418,601	3,325
4. Kuwait	96.5	9.3	130.6	2.0	0.03	48,468	1,647,916	3,281
5. Iran	89.7	8.7	69.9	65.2	1.09	1,376	46,790	3,050
6. Venezuela	72.6	7.0	65.2	23.2	0.39	3,129	106,383	2,468
7. Libya	29.5	2.9	57.4	5.0	0.08	5,908	200,881	1,003
8. Nigeria	22.5	2.2	30.6	113.8	1.90	198	6,721	765
9. Algeria	9.2	1.2	20.6	31.1	0.52	296	10,047	313
10. Indonesia	5.0	0.5	9.7	216.1	3.60	23	787	170
11. Qatar	3.7	0.4	14.7	0.7	0.01	5,110	173,757	128
OPEC	802.5	77.6	77.4	503.4	8.40	1,594	54,197	27,285
非OPEC	231.3	22.4	14.9	5,492.8	91.6	42	1,432	7,864
全世界	1,033.8	100.0	41.0	5,996.2	100	172	5,862	35,149

注：(1) P：生産量/年、PR：確認埋蔵量、(2) 1999年の石油データ (BP amocoalive: Statistical Review of World Energy (1968-2000), BP Amoco p.l.c. London.)、1999年の人口データ：Turner B., The Stateman's Yearbook: Cultures and Economies of the World, Macmillan, London, p. 2024.

れる。需給ギャップが国際的に政治・経済上のギャップを生み出すことは疑いがない(表3よりギャップは約10Gbo/年に及ぶと考えられる)。したがって、早急に代替石油資源への転換を図らない限り、中東のOPEC産油国の市場占有率が再び上昇し、第4次石油危機発生のおそれが高い。2000年までにこれら産油国の市場占有率が30%を超え、1970代のオイルショック時のレベルとなる。そして、2010年を待たずして、市場占有率が50%に達する可能性が極めて高い。その結果、需要は抑制され、産油もほぼ10年間にわたり落ち込むこととなろう。1979年のオイルショック時、需要は10%縮小し、回復に17年間を要したのである。しかし、2010年までにこれら産油国も産油のピークを過ぎており、世界の産油は下降期に入っている。したがって、この度の第4次石油ショックは最後となるが終わりは無い。(Cambell 予測：Cambell/98, p.65)

2000年に入り、原油高騰を受けて、米国政府のエネルギー外交の動きも急である。た

とえば、2000年3月、当時のエネルギー担当大統領補佐官は、リヤド、クウェート市、アブダビに急遽出張旅行をした。彼は、ウィーンで開かれた2000/3/27のOPEC総会の機会を逃さず、原油生産増加を働きかけるため、自ら直接OPEC代表と面会し個別交渉をした。これは、現在の米国エネルギー政策が事実上の「原油瀬戸際作戦」に入ったことを意味する。(Duncan/001, p.10.)

米国政府が生産増加をOPECに働きかけているところを見ても分かるように、米国はOPEC世界石油輸出支配を容認している。2008年と予測されるOPEC/非OPEC交代時点以降の重要性と包括的な米国のエネルギー外交の必要性が明白である。(Duncan/002, p.3.)

10. 21世紀の世界

石油に限らないがエネルギー需要予測は世界の開発と密接な関係がある。ことに人口増加との関係が著しい。例えば、人口が減少すれば需要が減り、原油生産も当然減少して差し支えない。しかし、今日の人口増加の状況にあって、資源と技術の制約から原油生産が低下すると世界は不安定化する。したがって、エネルギーを使わないと世界を安定化する技術と経済の開発に着手すべき時がきたといえる。それには逞しい構想力とその実践が求められる。

仮に、原油埋蔵量の推定Campbell等悲観論が次期の石油危機は本物で、1998年より2010年を待たずして、石油供給がひっ迫し、需給ギャップを生ずるとすると、10年というこの短期間に有効な代替エネルギー開発は限られ、原子力を除くと、基本的には、徹底した省エネルギー社会システムへの移行、再生可能自然エネルギー利用促進、石油代替としての天然ガス利用への転換などが残される。今後とも、石油代替エネルギーの開発が必須であり、中でも再生可能自然エネルギー利用やITを活用した細やかな省エネルギー技術の活用などが文字通り重要である。この見地からの意見の一つとして付録II.にAmory B. Lovins (Rocky Mountain Institute, Snowmass, Co 81654-9199, USA) の意見をまとめておく。さしあたり今後起るであろうことは、石油価格が高騰を続け、それを抑えるべく石油代替燃料の導入、ことに天然ガス経済文明への転換であると考えられる。

しかし、21世紀において石油を当てにできない経済が前提になるとすると、それ以上に大切なことは、国際経済や社会の認識が大幅な変更を要するので、エネルギー危機意識をともなう厳しい経済社会にあって、企業体であれ、個人であれ、地球の未来を守る責任感とそれをみたす貢献への参加を日常生活や職業生活のなかで具体的に実践し、率先して協力する意思ではなかろうか。あらゆる他のシステムと同様、地球システムもそれを具体的に支える必死の力と協力がなければ自立できない。

11. 結論

本稿では2000年11月末時点で極最近の主要な文献内容を見直し、今後、石油生産を通して、世界がいずれの方向に向かっているかを分析した。

現在、原油埋蔵量は1,000Gbo程度あり、言うまでも無く今すぐに石油が姿を消す情勢にはない。にもかかわらず原油価格の高騰が続いている。その要因の一つに原油生産見通しがある。今後の生産量を予測するに当たり、要因をいずれの範囲まで考慮するかによって、原油生産可能性について比較的厳しい悲観論と技術開発に期待がもてるとする楽観論がある。新しい予測法(Duncan 予測#1-5)によると、いずれも世界ピークは2005-2007年、ピーク生産量は29-32Gbo/年の狭い範囲に入っている。かりにこれが正しいとすると、それ以後需給バランスが崩れ、世界経済への影響が大きい。

原油生産のピーク予測に、10年内外の違いはあるものの、今日すでに、安価な石油を燃料とする文明の終焉がすでに目に見えており、石油文明から天然ガス文明へ、さらにバイオマス、自然エネルギーを含むソーラー文明への移行期にあるという認識が定着しつつある。したがって、できるだけ石油エネルギーを使わないで世界を安定化する技術と経済の開発に着手すべき時がきたといえる。それには逞しい構想力とその実践力が求められる。

付録

- I. Kerr/98への反論1：Hubbert曲線に関する見解 (Science/98, pp. 47-48. Michael Toman Joel Darmstadter Senior Fellows, Resources for the Future, 1616 P Street, NW, Washington, DC 20036, USA)

石油枯渇に関する地質学的な議論には重要な漏れがある。その点を考慮するとはるかに楽観的展望も主張できる。

Campbell等の論文は確認埋蔵量(proved reserves: P90)と推定埋蔵量(probable reserves: P10)の標準的な定義を説明している。この定義を前提にすると、報告データにもとづく蔵量評価は報告時点の石油価格と技術レベルに依存せざるをえない。すなわち、Hubbert曲線が囲む面積が測定誤差を含む地質学的データ以外の経済・社会的条件含むべきものである。Campbell等が主張するように、埋蔵量が国際政治上の理由で聊か過大評価になるとしても、仮に技術の向上やエネルギー価格上昇があると推定埋蔵量が増加する点も劣らず重要である。

埋蔵量概念は、元来過去のデータより未来を予測する手法であり、それ自体後ろ向き概念であり保守的な見解である。したがって、過去の生産歴よりHubbert曲線を決める

統計的外挿法も埋蔵量概念と同様、後ろ向きでありかつ保守的であると言える。

石油生産がピークを打つ前にエネルギー価格の上昇と技術進歩があると回収が増加し得るので時間的余裕が生ずると主張する多くの楽観論の論拠は短刀直入であり間違ってはいない。たしかに古い油田を温存し、また開発努力により、たとえ小さくても経済性の残る油田の新規発見の可能性が増加することは間違いない。にもかかわらず悲観論ではそのような経済的・科学技術的影響を無視できないことを認めつつも、石油不足に永久に先手を打つことは不可能であると結論する。この問題について、より楽観的な研究者の意見は石油の物理的不足と経済・科学技術的適応の競合問題は、いはば成り行きにより決まるものであり、答えのない問題でもあるので、Hubbert曲線分析では本来解決出来ない問題である。したがって、石油が枯渇可能であることは論を待たないものの、その物理量的不足、あるいは枯渇の脅威のもつ重要性とは別問題である。

II. Kerr/98への反論 2 : (Science/98, pp. 48-49., Amory B. Lovins, Rocky Mountain Institute, Snowmass, Co 81654-9199, USA)

石油枯渇に関する地質学データ上の議論はエネルギーの効率的使用と供給代替により決まる需要面を無視している。以下、幾つかの視点を述べる。

(1) 天然ガス/新エネルギー経済への移行

天然ガスは地球上各地域で豊富で、石炭・石油にくらべ環境に関し保全的である。埋蔵量も原油と同じ程度と言われる。今日コンバインドサイクルの天然ガス（メタン： CH_4 ）火力発電所が最新型発電所である。しかし米国では発電所建設は伸びず、消費地における熱電併給（コージェネレーション）で置き換えられ始めている。これは暖房給湯用熱供給と同時に1/2～1/10も安い電気を供給する。

参考：米国ニューヨーク州 White Plains の Trigen Energy Corporation 社は多くの高効率熱電併給システムを全国的に運営している。オクラホマ州 Tulsa とペンシルベニア州 Philadelphia にプラントがある。また、Tulsa では政府機関・ホテル・住宅・オフィスを含む31棟のビルに地域冷暖房を提供している。システムは89%の変換効率、年あたり燃料費66万ドルの節約と1.6万トン以上の二酸化炭素削減を達成した。(J.J. Romm, Trigen Energy Corporation, Book of "Cool Companies", Island Press, pp. 121-123, 1999.)

参考：90%以上のシステム効率によってヨーロッパで最も成長著しいエネルギー源として再生可能燃料がますます競争力をつけており2050年までに世界の全エネルギーの半分を占める可能性が高い。(Shell International Petroleum Co., London, 1994).

安価な石油に依存する文明の終焉一縮小する世界の原油生産—

(2) 超高効率の技術開発 (A B. Lovins と L. H Lovins, Rocky Mountain Institute (RMI), Snowmass, CO, の見解, 1998)

最終需要における技術進歩は極めて著しい。超軽量ハイブリッド自動車（ハイパーカー www.hypercar.com）は、性能を犠牲にせず、しかも経済競争力をもつ企業の参加が見こめる数10億ドル規模の産業として市場性がある。これにより、今日のOPECの販売量と究極的に同程度の石油が節約される。また、水素を燃料とする燃料電池が最も熱効率が高い。現在商業化が可能で、石油、石炭、原子力を水力、天然ガス、ソーラー発電、バイオマスに有利に置き換えられる。

仮に、石油生産が縮小するなら、原油価格は上昇するのでこれら選択肢採用が加速するであろう。事実、これら石油代替技術の多くが今日すでに競争力を持つつある。最終需要の他にも、効率の高い優れたサービス提供性、再生可能エネルギーと燃料電池の持つ分散性の長所などが評価されれば益々採用されるであろう。

(3) 新しい資本主義経済 (P. Hawken, A. B. Lovins, L H. Lovins, *Natural Capitalism*, Little Brown, New York, 1999).

重要なことは、10年前（1988年）バレル約13ドルの時、最終需要熱効率の向上努力があれば、米国の石油消費の4/5が節約されたであろう。しかし、これら省エネルギー技術の大部分が市場で不利なままに置かれ、市場の失敗の好例となった。現在では時代が変わり、規制障壁が取り払われるとビジネスチャンス生れると理解されるようになった。すなわち、革新技術と障壁破壊の結果、条件によっては、安価の石油でさえ競争力が失われつつある。今後、石油が高騰すればなおさら、石油利用の魅力が失われるであろう。地球環境保全の観点からみると、かつてのウランのように、また石炭ではなお更のこと、石油でさえ、もはや生産価値のある燃料とは言えない。しかし、この豊饒の角（ギリシャ神話のゼウス神に授乳したヤギ Amalthea の角 Cornucopia は花、果物、穀物を豊かに産する）の点火には電動スイッチによる自動起動ではなく、かつて半世紀前、我々が経験したように、手でクランクを回さなければならないという特徴がある。しかし、最先端企業の中には、既に将来を見越して、これを経営慣行とし始めた企業が少なくない。

以上