

〈寄稿〉

## 今後の石油供給問題がエンジン技術に与える影響 (前編) —石油供給の将来予測—

株式会社テクノバ シニアアドバイザー 中田 雅彦

### 1. 内燃機関と石油の関わり

#### 1.1 内燃機関と石油の関わり

種々の説があるが、1859年に米国において世界で最初の機械掘りの油井から石油が生産されたと言われている。この頃の油井では、掘り当てれば地中にある石油は地圧により自噴した(図1)。流動性が良い高品質の在来型石油の典型的な特徴である。ほぼ同じ頃の1862年に内燃機関の一つであるオットー機関が発明された。現在広く用いられている火花点火エンジン(ガソリンエンジン)の原型である。当初はオットー機関にはアルコールが燃料として用いられていたが、そのうちに石油から精製されたガソリンが使われるようになった。オットー機関(ガソリンエンジン)と石油から作られたガソリンとは相性が良く、ガソリンエンジンからの要求に応じてガソリンの性状は改善され、これに伴いガソリンエンジンの諸性能も向上した。ガソリンエンジンを搭載した自動車が世界中に普及し、ガソリンの消費量も増大してきた。ガソリン無くしては、ガソリンエンジンは今のように普及しなかったであろうし、ガソリンエンジン無くしてガソリンは今のように大量に消費されなかったであろう。そして、ほとんど同じことがディーゼルエンジンと石油から精製された軽油に対しても言える。

ガソリンと軽油(石油系燃料ということにする)が自動車用燃料として消費が増大するにつれて、世界の石油の生産が増大し、自噴する在

来型石油の油田は次第に採掘し尽くされ、ポンプでくみ上げたり、油井の側方から水圧をかけたりして石油を絞り取るような生産へと移行してきた。さらに石油の消費が増大すると、地上での新油田の発見が困難になり、現在では新しい油井は多くが海底油田に移っている。この海底油田も当初の浅い近海における海底油田から、最近では深海さらには超深海油田に移っている。2000-3000mの海底からさらに2000-3000m地中深く採掘している例も多い。海面に浮いている橇上の油井の基地から、合計数千mの採掘作業であり、危険である上に一旦問題が発生すれば石油の漏洩、その結果としての環境汚染などの懸念が発生し、地上油井とは比較にならない困難な開発となる。当然開発費用も高額となる。2010年に発生したメキシコ湾におけるBP社の石油流出事故はまだ記憶にあるであろう。5500m

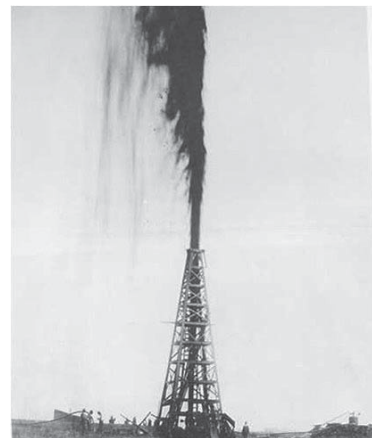


図1 自噴するテキサス州の油井<sup>1)</sup>

の掘削パイプが途中で折損したため大量の石油が流出し、掘削基地では火災が発生し多くの犠牲者が出た。最近ではこのような深海にしか新油田はないためにこのような危険を冒し、多額の開発コストを掛けざるを得ない状況である。

しかしながら、上述のような深海、超深海油田も今後10-20年も生産を続けると生産量が低下してくるであろうと予測されている。そのために、北極海周辺の油田や非在来型石油であるカナダのオイルサンド、ベネズエラのオリノコ重質油などが今後の石油資源として注目されるに至っている。このような非在来型石油の資源量は豊富にあるとされているが、流動性が低い（あるいは全くない）ことや、不純物が多いために、採掘と輸送、精製が高コストになる。安い石油が減少して高価格の石油の時代に入りつつあると言える。自動車用として最適であった石油系燃料を自動車が使いついで、地球にある安価な石油の大半を使い果たし、今後の自動車用燃料を確保するのが難しくなって来ているということを、すでに薄々感づいている方々もいるであろう。もちろん、石油系燃料を燃焼させる内燃機関であるから、CO<sub>2</sub>も発生する。残り少ない石油の節約、あるいはCO<sub>2</sub>の削減の観点から自動車用燃料を考え直さなければならない時期に来ている。

## 1.2 内燃機関と石油の関わりの今後

本稿では内燃機関として、乗用車のガソリンエンジンを対象として検討をすることとする。

先進国は言うまでもなく、最近では新興国においても、自動車用燃料の国家規格を制定している。自動車のエンジンから排出される排気ガスは燃料性状により、大きく影響を受けるので、排気ガス規制と燃料性状規制は組み合わせて規定されている。

石油業界は規格に合った石油系燃料を自らが保有する燃料供給インフラを用いて市場に提供する。石油系燃料の供給インフラは長い時間をかけて石油業界が構築してきた。現在では世界中に燃料インフラは存在する。

自動車業界は、その国の国家規格に合格する燃料が石油業界によって市場に提供されること

を前提に、その燃料性状に合ったエンジンを設計し、自動車に搭載して市場に提供する。いったんその自動車が市場に提供されれば、その自動車の市場における寿命（10-15年程度）の間は燃料性状を変えることはできない。この間石油業界は同じ性状の燃料を市場に提供し続けなければならない。その間に、自動車業界は次から次へとその燃料性状に合った自動車を製造して市場に提供する。従って、基本的には、余程のことがない限り市場の燃料性状を変える機会は発生しないことになる。

以上に述べてきたように、石油系燃料と内燃機関の関係は強固であり、簡単には無くならない。そして自動車業界と石油業界はお互いに相手の業界に依存する形でビジネスモデルを維持できている。しかしながら、石油は言うまでもなく有限な資源であり、先に述べたように、石油業界は新しい石油資源を探すのに苦労する時代になっている。石油の供給限界に近づいているように見える。いつかは石油系燃料から脱して新しい燃料あるいはエネルギーを用いた自動車に変えていかねばならない。その時期は一体いつごろなのか？

## 2. 石油供給の将来予測

石油の供給の将来予測に関しては、石油に関わる種々の組織や団体、産業界から、いくつかの見解が発表されている。これらは、各々の立場に基づく発言や見解を強く反映していると思われるものが多く、これらの予測をそのまま受け入れるのは危険であろう。

一方、特に海外において、将来の石油の安定的供給に懸念を指摘する声が頻繁に聞かれるようになっている。日本においては、この石油供給懸念に関する情報がほとんど報道されていない。そのために、国内では将来の石油供給に対して、楽観的に理解している場合が多いように思われる。そこで、ここでは石油関連組織以外からも公表されている海外情報も含めて分析し、今後の石油供給に関して筆者の見解を示してやることにする。

## 2.1 石油の可採埋蔵量に基づく将来予測

石油の統計値はBP社エネルギー統計から引用されることが多い。最新のBP社エネルギー統計<sup>2)</sup>によれば、可採埋蔵量は1.6兆バレル、可採年数54年となっている。この数値からは、当分の間石油供給に心配がないと多くの人が理解するであろう。そのように信じてよいかを吟味する。

### 2.1.1 OPEC 諸国の埋蔵量の数値に対する疑念

可採埋蔵量の約70%はOPEC(石油輸出国機構)諸国が保有している。統計に採用される諸数値は、生産国の自己申告値であり、OPEC諸国の申請値は査察がされておらずその数値の信頼度が低いことはIEA (International Energy Agency, 国際エネルギー機構) でさえも言及している。1986年頃に各OPEC諸国が一斉に30-50%ほど埋蔵量を増加させた<sup>3)</sup> ことはこの分野の専門家には良く知られている(図2参照)。1-2年の間に数ヶ国の埋蔵量が急激に増加することは一般的にはあり得ないことである。埋蔵量に比例してOPEC諸国の輸出量を定めるという方針がOPEC内で決められた直後の埋蔵量の急増である。この埋蔵量の急変の事実は、広く使われているBP社石油統計の可採埋蔵量に大きな疑問を投げかける。

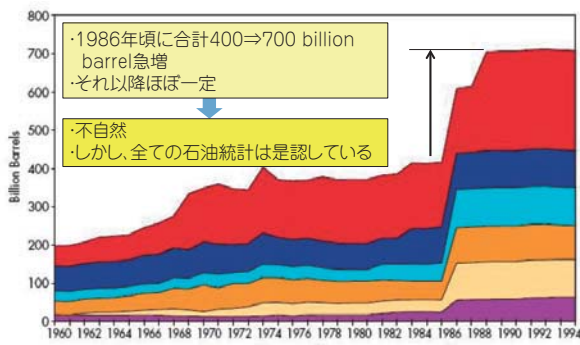


Figure 3: OPEC official proved oil reserves<sup>2)</sup>. Note: the dramatic simultaneous increase in reported oil reserve volumes by OPEC in the 1980's.

図2 OPEC主要国の確認埋蔵量の推移

### 2.1.2 可採埋蔵量トップ3カ国の石油生産量の長期見込み

埋蔵量のトップ3カ国は、ベネズエラ、サウジアラビア、カナダであり、統計上は世界の埋蔵量の45%を占める。これらの中でベネズエラと

カナダの埋蔵量は併せて30%弱に達するが、生産量は僅か8%弱であり埋蔵量の割には生産量が少ない。これら2国の石油のほとんどはいわゆる非在来型であり、エネルギー収支比が低く、採算性も低い。採掘技術の困難さのために2030年までの生産量増加は両国合わせても高々3mbd (million barrel per day) (世界生産の3%程度)程度と予測されており(IEA World Energy Outlook データより)、今後も世界の石油供給への貢献は小さい。このように統計上では可採埋蔵量が多くても、それが今後順調に増産され市場に提供される可能性が低いことがある。資源が「ある」ことと、その資源が「生産される」ことは別であることの認識が重要である。

以上の検討結果から、石油統計にある可採埋蔵量あるいは可採年数は誤解を与えやすいものであり、この数値で、将来の石油生産量を予測するのは適切でないと判断する。

## 2.2 種々の石油供給予測の検討

種々の組織から発表されている石油生産予測の代表的なものを図3にまとめて示す。この図において、石油会社のExxonMobil社とBP社、公的な中立組織と考えられるIEA、個人あるいは私的な研究機関として、Colin Campbell (地質学者、元BP社)、LBST (ドイツのシンクタンク)、The Greens (欧州議会の政治会派)の将来予測を示した。石油会社の将来予測によれば、2030年、2040年に向けて石油生産は順調に右肩上がり

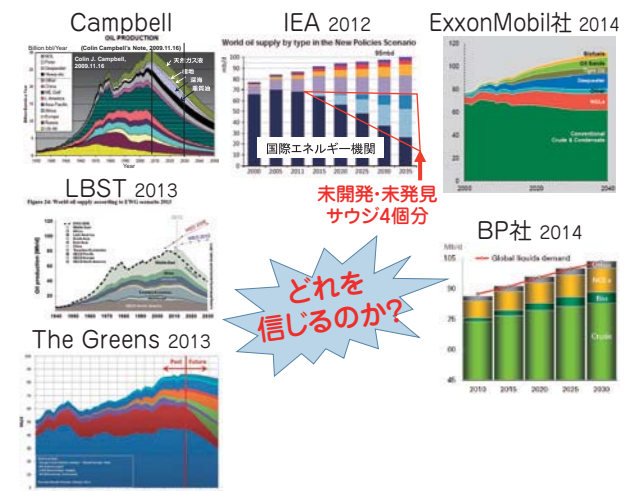


図3 世界石油生産予測の例



上昇している。一方、私的な研究者や機関からの予測では、2010 - 15年頃から生産が減少することが示されている。中立機関のIEAは未開発、未発見が順調に開発されれば、右肩上がりに増産されるとしている。一体我々はどれを信ずれば良いのであろうか？

2.2.1 各将来予測の吟味

図4にBP社が2030年の供給予測をする過程が示されている。まず、2010年の生産量（実績値）を基に世界の経済成長や効率化などを考慮して、2030年時点の需要量を予測する。次に、この需要量を産油国に割り振っている。これらの産油国の過去の実績などは考慮されているとは考えられるが、供給能力の検討結果は明示されていない。世界の需要を産油国が供給してくれるであろうという期待に基づいているのであって、供給が保証されているとは考えにくい。ExxonMobil社の場合もBP社と同じ手法である。図3のBP社およびExxonMobil社の予測は、世界が現状のまま経済発展した場合（Business as Usual）の石油需要が予測されていると理解すべきであろう。

図3に示したIEAの予測の詳細図を図5に示す。この図において“New Policies Scenario”という政策に基づく予測と明記してあるから、この場合もBP社やExxonMobil社と同様に需要の予測値であることは明らかである。2035年時点ではNGL（天然ガス液）やオイルサンドやタイトオイル（シェールオイル）などの非在来型石油の増産が期待されるが、これだけでは需要を

満たすことは出来なく、在来型石油の新規の増産すなわち「未開発、未発見」と表現されている部分の増産が新たに必要であると主張されている。IEAの予測がExxonMobil社、BP社と異なる点は、図中に示されているように、「未開発、未発見」という未確定の部分を示している点である。IEAのこの表示は石油事情に疎い読者には親切であるといえる。IEAは2035年時点でこの「未開発、未発見」の量はサウジアラビアの現在の石油生産量（世界の約10%）のほぼ4倍に相当すると言っている。石油会社が世界中で新しい油田開発事業を必死で探している現状から考えて、サウジ4個分の新規開発がなされる可能性はほとんどないと言っているのに等しい。もし、この「未開発、未発見」が十分になされなかったとすると、IEAの予測は、図3の左側に示す私的な研究者や機関からの予測結果に近づくことになる。この中立機関であるIEAの予測とBP社やExxonMobil社の予測を比較するだけでも、BP社やExxonMobil社の予測をそのまま受け入れるべきでないことが分る。

また、ExxonMobil社やBP社に次ぐ大手石油会社のTOTAL社（フランス国営石油会社）は、「98mbdが生産の最大値であり（つまり生産ピーク値）、このピークに達した後は徐々に生産は減退する」と発言<sup>4)</sup>しており、私企業であるBP社やExxonMobil社とは一線を画した表現をしている。

Shell社は2030年時点での石油生産量については明確な数値は示していない。“Shell energy

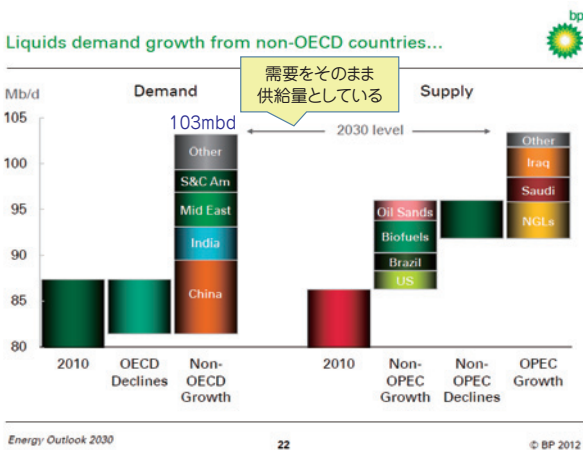


図4 BP社の石油需要予測と供給の関係

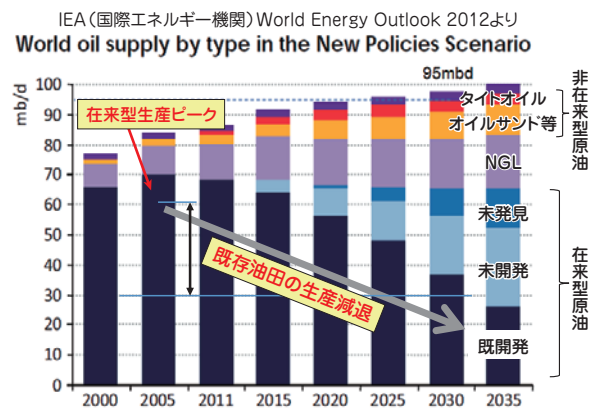


図5 IEAの石油生産予測（IEA WEO 2012より）

scenarios to 2050”においては「安い石油の時代は終わった」、「今後は石油奪い合いの“Scramble Scenario”に突入するのは避け難い。」と記している。Shell社もBP社やExxonMobil社の右肩上がりの増産予測とは異なり慎重な見解を示している。

### 2.2.2 将来の石油供給に関する懸念発言の例

この数年間、海外においては将来の石油供給不安に関する政府関係者や公の国際組織からの発信、警告などが増加してきている。それらの一部を以下に紹介する。日本国内では、この種の報道はほとんどないために、この問題に対する認識レベルが低いおそれがある。

#### (1) IEA関係者の発言

IEAはそのレポートであるWEO (World Energy Outlook) において、あからさまに石油供給不足の懸念を明記はしていない。しかしながら、下記のように石油生産ピークの発生が間もないことをIEA関係者自身がWEOとは別の場で発信している。

- ・「2015年後まもなく石油生産は減少する」、2012. 1. 5, 元IEA職員 Olivier Rech
- ・「安い石油の時代は終わった」、2011. 4. 11, IEA (当時) 田中事務局長
- ・「おそらく2020年までに石油生産のピークが

発生する」、2009. 8. 3, IEA Chief Economist, Fatih Birol

#### (2) 海外の官公庁からの発信

海外では官公庁からも石油供給懸念に関する発信が多い。その例を表1に示す。

- ・OECD内の主要国は、何らかの形で石油供給懸念に関する発信、発言などを行っていることが分かる。そして、それらは2015年頃の供給不足あるいは生産ピークに関わる懸念である。
- ・米国統合軍、ドイツ国軍、カナダ国軍が石油供給問題を取り上げている。2010 - 2015年頃に石油供給不足が発生し、石油をめぐる紛争が発生することを警告している。現在の軍事的活動には石油が不可欠であることから、石油供給問題には敏感である。
- ・中国の情報は把握できていないが、石油供給問題を強く認識した政策を取っていることは最近の政治的活動からみて明らかである。

### 2.2.3 その他の懸念事項

石油生産国は自国内石油消費増加により、輸出量が減少している。サウジアラビアの例を図6に示す。この図に示すように、サウジアラビアは人口増加や国民の生活レベル向上などの理由

表1 石油供給不足を懸念する情報例 (世界の官公庁)

NO.	時期	発信者	報道内容
1	2011.5.4	EurActiv network	「直ちにピークオイルに対する行動をとらなければ、自動車が動かなくなる」とECが警告
2	2011.4.9	Le Monde	フランス首相が石油の生産ピークは過ぎていると発言
3	2011.4.17	Postmedia News	カナダ国軍が警告:「石油供給不足と環境悪化により世界は窮地に陥るであろう」
4	2010.11.10	The Reuters	EUエネルギーチーフが「世界の石油の入手性はピークを超えた」と発言
5	2011.4	IMF	2000年代の中頃から世界の石油生産は停滞している。石油依存の高い製品を生産する業種や石油を直接用いる業種は石油価格の強い影響を受ける。
6	2010.9	シュピーゲル紙	ドイツ国軍の研究結果:2010年前後にピークオイルが発生。ピークオイル後の世界では市場取引が後退し、二国間取引が中心になる。民主主義が後退し、「全面的システム崩壊」、「紛争」などの劇的なシナリオが起こりうると警告している。
7	2010.4	New Zealand Parliam entary	「2012年後まもなく、増加する需要と不十分な生産能力により、供給不足が発生する」と警告
8	2010.4	The JOE Report 2010 (米国統合軍)	「2010年までに余剰生産能力は完全に消え去り、2015年には深刻な供給不足に陥り、これが世界の政治経済に打撃を与える」と警告
9	2010.3	Guardian	企業グループの要請を受けて、英国政府は、石油供給の減少を討議する会議体を設置
10	2009.4	米国DOE内部資料	「投資がされなければ、2011 - 2015年の間に、石油生産は減退を始めるであろう」

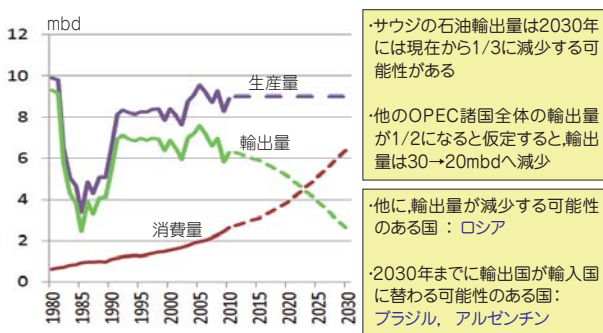


図6 サウジアラビアの石油輸出能力

により、国内の石油消費が増加している。このまま進めば、2030年には輸出量が現在の1/3程度まで減少する可能性がある<sup>5,6)</sup>と報告されている。中東の他の産油国においても同様な状況であると考えられる。中東以外にもロシアやブラジルでも国内消費が増加傾向にあり、輸出能力の減少が懸念される。

### 2.3 石油供給の将来予測のまとめ

今まで紹介してきた諸情報や分析結果などを総合すると、2020年前後から世界の石油供給能力は減少してくると考えるのがリスク管理という観点から妥当であろう。

後述する石油の高価格が経済に悪影響を与える結果として、石油開発に投資が進まないことも将来の石油供給量を押し下げることとなる。

なお、最近米国を中心にシェールオイル（タイトオイル）が話題になっているが、報道されている資源量の数値に疑問があるうえに、世界の石油事情に大きな影響を与えるほどの生産量ではないと判断して、ここでは言及しなかった。

## 引用・参考文献

- 1) <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%86%E3%82%AD%E3%82%B5%E3%82%B9%E5%B7%9E%E3%81%AE%E7%9F%B3%E6%B2%B9%E3%83%96%E3%83%BC%E3%83%A0> (2014年6月16日引用)
- 2) BP Statistical Review of World Energy, June 2013.
- 3) "PEAK ENERGY, CLIMATE CHANGE, AND THE COLLAPSE OF GLOBAL CIVILIZATION, The Current Peak Oil Crisis", October 2010, TARIEL MORRIGAN, University of California, Santa Barbara. [www.global.ucsb.edu/climateproject](http://www.global.ucsb.edu/climateproject)
- 4) Total: Oil Production to Peak at 98M Barrels per Day, 11 Dec 2012. <http://www.odac-info.org/node/19230>
- 5) "Saudi Arabia global oil exports to wane post-2010", Lianna Brinded, Energy Risk, 27 Apr 2010. <http://www.risk.net/energy-risk/news/1602907/saudi-arabia-global-oil-exports-wane-post-2010>
- 6) EIA, Countries/Saudi Arabia/Consumption, <http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=SA> — Khalid al-Falih warned that domestic liquids demand was on a pace to reach over 8 million bbl/d (oil equivalent) by 2030 if there were no improvements in energy efficiency.

## 筆者紹介



### 中田 雅彦

株式会社テクノバ シニアアドバイザー  
トヨタ自動車に入社後、定年退職まで一貫してエンジン開発に従事  
トヨタ自動車 第3エンジン技術部 部長、同第1エンジン技術部 シニアスタッフエンジニアなどを歴任  
(株)トヨタテクノサービス主任研究員、アート金属株式会社技術顧問を経て現職博士（工学）

今後、石油供給量の増加が見込めなければ、世界はどうなるのでしょうか？後編では、石油と経済の関わり、さらには自動車エンジンの技術動向について言及します。次号にご期待ください。