

# 1. エネルギー問題を考える

—オイルピークを主体として—

京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

教授 芦田 讓

## 1. はじめに

人類が生存していくにはエネルギーが必要である。人類は、歴史上、木材、石炭、石油とエネルギー源を変遷させながら利用することにより産業を発展させてきた。現在は一次エネルギーとして石油・天然ガスを中心とした化石エネルギーに依存している。したがって、人類が今後も存続していくには、化石エネルギーがなくなるまでに次のエネルギー源を見つけなければならない。石油から次のエネルギー源へのエネルギー革命がなければ、人類は成長の限界という壁にぶつかることになる。

ここでは最近話題になっているオイルピークについて述べる。

## 2. 世界のエネルギー事情

### 2.1 エネルギーを取り巻く状況

エネルギーを取り巻く状況を概観してみる（石井，1995）。エネルギー問題を考えるときの観点として、どこに、どういう形で、どの位の密度で存在するかが、コストに影響することから重要である。たとえば、海水中のウラン、金あるいは太陽エネルギーは膨大な量があるが密度は低い。したがって、それを濃縮するのにコストがかかる。一方、ウラン鉱床や金鉱床は濃縮という作用を地球が長年月かけてやっていることになる。

エネルギーを考えると、その評価基準として **Energy Profit Ratio(EPR)**が重要である。**EPR=出力のエネルギー/入力エネルギー**であり、要するに、出力のエネルギーを得るのにどれだけエネルギーを使うかという値であり、これが1なら損得なし、1以下ならエネルギー損失である。

日本の一次エネルギーの供給構成は資源エネルギー庁の総合エネルギー統計によると、石油・天然ガスは1999年において約64%を占めている。さらに、2010年においても約57%を占めるという予想がなされている。ここで留意すべきことは、石油・天然ガスは現在の主要な一次エネルギーであるばかりでなく、各種石油製品、医薬品、衣料などの工業用原料でもあることである。また、現在の日本の農業は、農薬、肥料および農機具等の燃料を石油・天然ガスに依存している。さらに、運輸・交通手段も石油・天然ガスに依存している。したがって、石油・天然ガスがなくなれば、これらの工業用原料の供給源も新たに考える必要がある上に、食糧問題および運輸・交通手段が大問題として持ち上がってくる。

ここで、主要なエネルギー資源の可採年数をみてみよう。可採年数とは、現在の確認可採埋蔵量を年生産量で割ったものである。今後新規の発見がなく、現在の状況で生産したとき、あと何年もつかを示す数値である。表1に2002年時点での石油、天然ガス、石炭、

ウランの可採年数を示す。石炭は 204 年と長いですが、その他はせいぜい数十年である。しかし、ここでいう石炭とは全ての品位のものを含んだものであり、実際にエネルギーとして利用できる高品位炭に限定すれば、200 年を切るともいわれている。

表 1 石油，天然ガス，石炭，ウランの可採年数

	石油	天然ガス	石炭	ウラン	
確認可採埋蔵量	1兆480億バレル	156兆m <sup>3</sup>	9,845億トン	393万トン	
地域別賦存状況	北米	3.6%	4.4%	26.1%	17.9%
	中南米 <sup>(注3)</sup>	10.6%	4.7%	2.3%	6.5%
	欧州	1.8%	3.8%	13.2%	3.5%
	旧ソ連	7.5%	35.4%	22.9%	30.6%
	中東	65.4%	36.0%	0.2%	0.0%
	アフリカ	7.4%	7.6%	5.6%	17.8%
	アジア	3.7%	8.1%	29.7%	23.8%
	・大洋州				
年生産量	270億バレル (73.9百万BD)	2.5兆m <sup>3</sup>	48.3億トン	3.7万トン	
可採年数	40.6年	60.7年	204年	61.1年 <sup>(注1)</sup>	

(注1) ウランは十分な在庫があることから年生産量は年需要量(6.2万トン)を下回る。

このためウランの可採年数は確認可採埋蔵量を年需要量で除した値。

(注2) ウランは2001年の数値。それ以外は2002年の数値。

(注3) 2002年版より中南米にメキシコを含めることとしたため、それ以前との比較の際は注意を要する。

(出所：総合エネルギー統計(平成14年度版)，経済産業省資源エネルギー庁)

現在と近い将来におけるエネルギーについて、用途、再生的か非再生的か、利用上の問題点をまとめたものを表2に示す。この表で注目すべきことは、化石エネルギー以外のエネルギー源の用途は、ほぼ発電に限定されることである。したがって、工業用原料としての安価な炭化水素をどのように供給するかが今後の課題である。とりあえずの方策としては、発電は化石エネルギー以外で賄い、工業用原料に化石エネルギーを振り向けることが考えられる。1973年の第1次オイルショック時には国をあげて、省エネルギー・節約が叫ばれていたが、最近あまり耳にしなくなった。これらについても一度考え直すべきであろう。というのは、これは我々がエネルギー問題に貢献できる即効的な施策であるからである。

表 2 現在と将来のエネルギー

項 目	用 途	再生・非再生	問 題 点
石油	発電、工業原料	非再生	地球温暖化
天然ガス	” ”	”	”
オイルシェール	” ”	”	”
オイルサンド	” ”	”	”
ガスハイドレート	” ”	”	”、低品位
メタノール	”	再 生	”
水素	”	非再生	
燃料電池	”		
石炭	発電、工業原料	非再生	地球温暖化
水力	”	再 生	水没
地熱	”	再生(?)	地域限定、小規模
原子力	”	非再生	放射性廃棄物
核融合	”	再 生	実証炉の段階
高温岩体	”	”	実験中、地域限定
マグマ	”	”	アイデアの段階、地域限定
風力	”	”	間欠性、地域限定
波浪	”	”	地域限定
海水温度差	”	”	地域限定、小規模
太陽光	”	”	間欠性
宇宙	”	”	アイデアの段階、地球環境破壊
圧縮電気	”	”	実験中

## 2.2 石油生産の将来予測

世界の石油発見のピークは数年前に過ぎ、さらに石油生産のピークは 2004 年に過ぎたという説もある。北海油田の減退が予想以上に激しいうえに、サウジアラビアの油田も水を圧入して生産する状況に至っている。他方、中国、インドの近代化によって急速に石油需要が伸びている。石油はまだ無くならないにしても生産量は減退していく。だから、需要と供給のバランスから石油価格の値上がりは避けられない。恒常的に 50 ドル/バレルを維持するだろうというのが大方の予想である。

現在までに、大油田はほとんど発見し尽くしたと言っても過言ではない。図 1 で見ると、世界の石油の可採年数は約 41 年である。41 年前も「後 41 年で石油が無くなる」と言われていた。それから 41 年たった今、また「41 年で無くなる」というのは敷衍して考えれば、「41 年たってもまだ 41 年あるじゃないか」という議論が立つ。しかし、これは明らかに間違いである。41 年前の石油探査技術は現在に比べれば大したことがなかったし、アクセスし易い所しか探査していなかった。今は高度に進んだ技術で深海からジャングルまで地球上のあらゆる所を探査している。手をつけてない所は南極ぐらいだろう。この状態の後 41 年というのはかなり厳しい状況になっている。

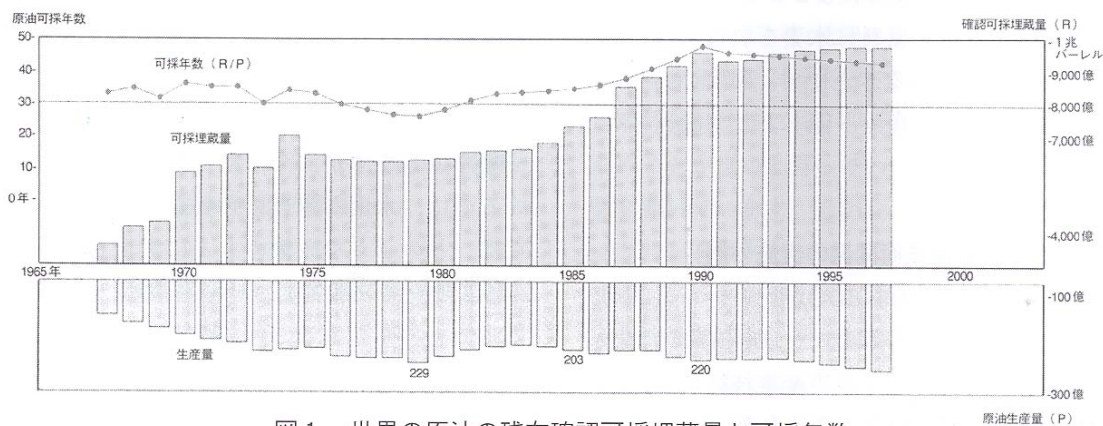


図1 世界の原油の残存確認可採埋蔵量と可採年数

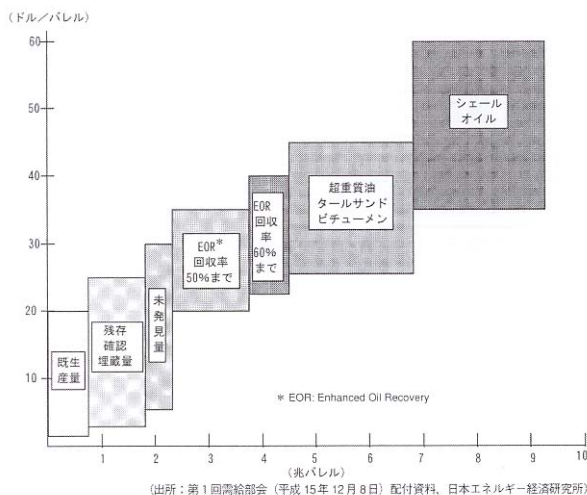


図2 2030年をみこした在来・非在来資源の開発と埋蔵量

図2は「経済産業省総合資源エネルギー調査会需給部会」で配付された資料である。問題は、オイルサンド、オイルシェールが入っていることである。オイルサンド、オイルシェールが何時になれば技術的に実用化されるかというタイムスケールが欠けている。今、原油価格は50ドル/バレルであるが、オイルサンドやオイルシェールの開発はコスト的に見合わず、現実的ではない。オイルシェールとは、石油ができてそのまま移動しないで泥岩の中に染み込んでいる状態のものである。地下1,000~2,000mの地下にあるオイルシェールを採り出すのは、石炭や金属鉱山開発と同じくらいコストがかかる。これは50ドル/バレルで開発することはできない。

石油代替エネルギーは何か。石油の用途として、発電と工業原料がある。発電については太陽光やバイオマス、風力、原子力などで代替すれば良い。しかし、工業原料としての炭化水素を安価にどこから持ってくるかと言うと、これは残念ながら化石エネルギーしか

ない。だから、我々の方策としては、「発電は他のもので賄い、化石エネルギーしか使えないものはそれを有効に長く使おうじゃないか」という方針になる。

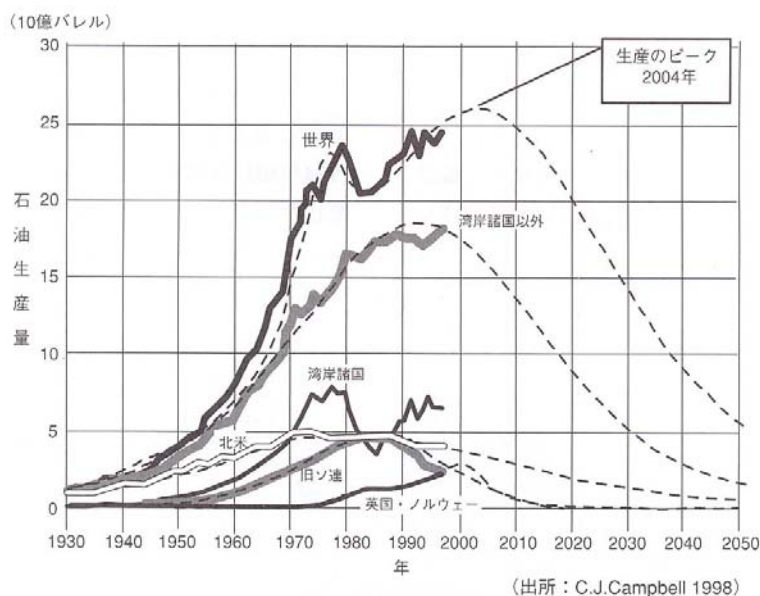


図 3 世界の石油生産量の将来予測

図 3 は Campbell (1997) による石油生産量とハバート・カーブ (Deffeyes,2001) による将来予測である。この予測には

- ① 石油生産量は生産のピークの年を対称にした正規分布を示す。
- ② Enhancement of Recovery (EOR) による石油の増産は考慮しない。

という前提がある。Campbell は将来予測に対しては悲観的な考えであるとされている。一方、これに対し、楽観論者といわれる人々は図 4 の資源ピラミッドモデルを提唱している。これは頂点の最も条件の良い部分は既に生産されたもの、それにつぐ範囲が確認可採埋蔵量である。すなわち、既に発見され採り出さうる埋蔵量である。この可採埋蔵量は探鉱投資、インフラの整備状況、石油価格／契約の財務条件、油層からの回収率などで変動するが、基本的には時間の進展とともに増加するとされている。

図 5 は石油の究極推定可採埋蔵量の推移を示したものである。1945 年頃は 5000 億バレル前後、1950 年代 1 兆バレル、1970 年代 2 兆バレルと評価をあげてきた。2000 年現在、最も楽観的な米国地質調査所は 3 兆バレル、悲観的な Campbell & Laherrere の推定値は 1.8 兆バレルである。可採埋蔵量を 1.8 兆バレルとし、その時の可採年数を 41 年とした時、可採埋蔵量が 3 兆バレルの場合の可採年数を単純に比例計算すると約 68 年になる。楽観論であれ、石油が有限であることには変わりはない。

表 3 は石油発見量の推移と現在の消費量を示したものである。1990～1999 年の年平均の発見量は 60 億バレルで、その間の年平均の消費量は 250 億バレルである。可採年数が減少するのは当然の帰結である。ここで、本題から少しそれるが、参考までに各種の金属資

源の可採年数を図 6 に示す。ほとんどの金属の可採年数が 50 年を切っている。一部の稀少金属は 50 年を越えるものがあるが、それらはそれ独自の鉱山から採掘されるのではなく、金、銀、銅、鉄鉱山等の付随物として産出することが問題である。

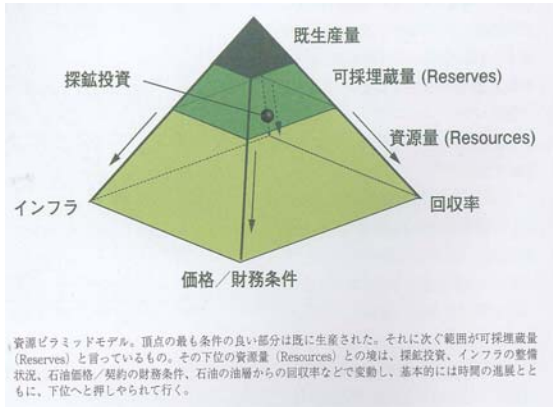


図 4 資源ピラミッドモデル

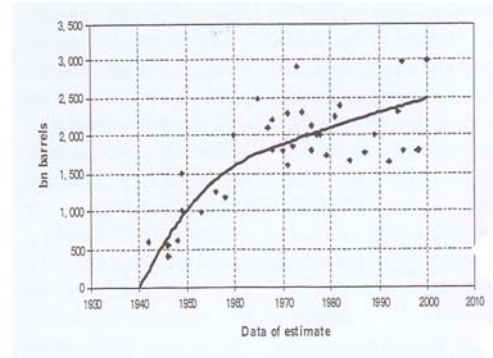


図 5 石油の究極推定可採埋蔵量

表 3 石油発見量の歴史と現在の消費量

時 期	年平均石油発見量 (10億バーレル)
1945～1960	35
1970～1990	23
1990～1999	6
1990～1999	年平均石油消費量:25

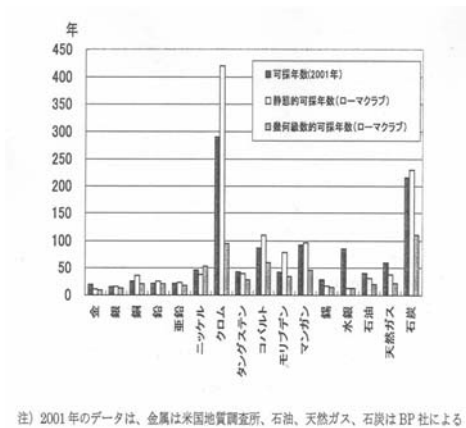


図 6 鉱物及びエネルギー資源の可採年数

### 3. おわりに

資源問題は人類にとって存亡の危機に関する重要事項である。この問題は一国家だけでは対処しきれぬ問題ではなく、人類共通の問題としてとらえるべきである。脱石油のエネルギー構築には長いリードタイムが必要である。オイルピークを見据えて国家戦略として石油代替エネルギー問題に係わる人口問題、食糧問題、地球環境破壊問題を総合的に考え脱石油文明のあるべき姿を模索すべきである。

参考文献

Campbell, C. J. (1997) : Better understanding urged for rapidly depleting reserves, Oil and Gas Jour., Apr. 7, 51-54.

Deffeyes, K. S. (2001) : Hubbert's peak, Princeton University Press

石井吉徳(1995) : エネルギーと地球環境問題、愛智出版

松本 良・奥田義久・青木 豊(1993) : メタンハイドレート、日経サイエンス

S.E.G. (2001) : The Leading Edge, Vol. 31, No. 1

天然ガス鉱業会(1999) : 日本の石油と天然ガス