

# 石油資源の将来

石和田 靖 章<sup>1)</sup>

## 1. まえがき

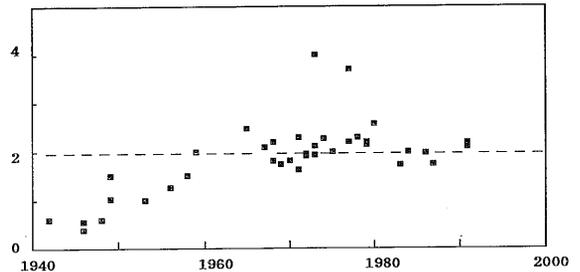
第四次中東戦争に端を発した第一次オイルショック(1973)の際, 石油資源の有限・枯渇性が盛んに唱えられたが, その一方石油産業は“30年産業”という揶揄に近い意見も聞こえてきた。この意見は以前から内外で囁かれていたもので, 一応の理由はある。たとえば年末の原油確認埋蔵量をその年の産油量で割った値, すなわち“可採年数”(通常R/Pと表す)は1950年代前半までは20前後以下であったが, 1955年以降ほぼ30以上であり1989年末には43.6 (World Oil, BP統計による)に達している。当然のことであるが, 緩急はあっても石油会社の新規地域及び既発見油・ガス田の周辺に対する探鉱は続けられており, その成果がR/Pの維持・増大となって現れているのである。

しかし非再生資源であれば, 石油でなくとも何時かは無くなるのは理の当然で, 我々の経済・文化を維持するためには余裕のあるうちに対策を考えて置く必要がある。

さて確認埋蔵量は生産により減少していくが, ある時点の確認埋蔵量にそれまでの累計生産量を加え, さらに地質学的に存在が予想される未発見資源量を合算したものが究極可採資源量となる。

原油の究極資源量は1942年以来多くの地質学者または機関によって発表されているが, 1960年代に入ってから2兆バレル(bbl)<sup>2)</sup>強でほぼ横ばいになっている(第1図)。時代により, また人により計算方法は全く異なるのに, また個々の国の資源評価がかなりの不一致を見せているのに, 最終的な集計値が大体同じ数字に収斂するのは面白い現象である。石油資源の将来を考えるにはこの資源量が出発点であるが, 一次エネルギー中に占める石油のシェアの変化, 一次エネルギーとGNPの関係, さらにエネルギー消費効率(弾性値)の国際的動向予想, 油田における回収技術改良の見通し, 石油代替エネルギー開発の将来動向など考慮すべきことが誠に多い。そして現実には世界の政治・外交も関わってくるので資源需給

兆バレル



第1図 世界の原油究極資源量推定値の推移。

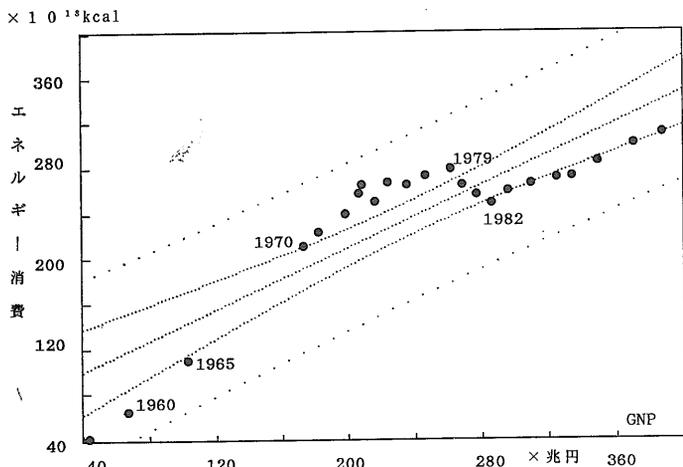
の見通しを立てるのは容易なことではない。

我国の1955年以降の経済成長と最終エネルギー消費との関係を見ると(第2図), 1976年位まで著しい経済成長とそれに伴うエネルギー消費の急増が読み取れるが, 1973年秋に起こったオイルショックを契機とする官民を挙げての省エネルギー促進の成果として1979年以後エネルギー弾性値は急速に下がり, 1982年以降は0.8程度で推移している。世界最大のエネルギー消費国である米国も同じ期間に同じ経過を辿っている。しかしここで注意を要するのは経済水準の上昇と人口の増加は大なり小なりエネルギー消費を増大させるから, 多くの開発途上国が工業化を目指している今日, エネルギーの分配と環境保全の深刻な問題に先進工業国はいずれ直面せざるを得ない。1987年の国内総生産(GDP)が2000億ドル以上の国の一次エネルギー消費とGDPの関係を見ると(第3図), 米国が飛び抜けて両者とも大きく, 世界のエネルギー問題を考える時米国の挙動は他の国々に直接影響を与えることが自ずと理解される。

我国で石油・ガス資源の将来を予測しようとするとき, 資源の技術的側面だけをとりても様々な問題がでてくる。もともと未発見資源量の推定には不明な因子が多く大胆な地質学的類推も必要であるが, 世界各地の油・ガス田や未探鉱地域の地質情報の蓄積が少なく, かつ有効に機能している検索システムの存在も聞かない。精緻なシミュレーションモデルがあっても入力値の数や信頼

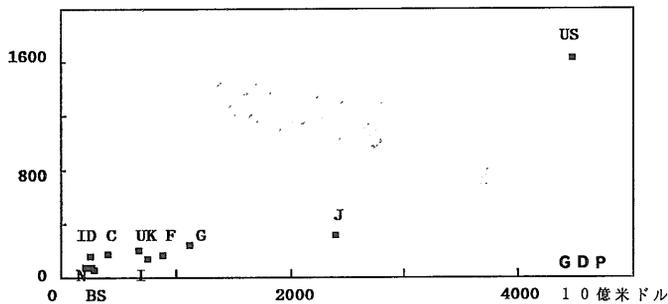
1) 勘資源観測解析センター: 〒104東京都中央区勝どき3-12  
-1 Forefront Tower 5階

2) 1kl=6.29 bbl



第2図 我国の最終エネルギー消費と国民総生産（GNP）との関係（1955～1989年）。（データ：総合エネルギー統計平成2年度版）

石油換算  
百万トン



第3図 1987年における主要国の1次エネルギー消費と国内総生産（GDP）との関係。（総務庁：国際統計要覧に基づく）

US：アメリカ合衆国 J：日本 G：ドイツ連邦共和国  
F：フランス I：イタリア UK：イギリス C：カナダ  
ID：インド S：スペイン B：ブラジル N：オランダ

度が乏しくは如何なものであろうか。従って、国内は別として、日本独自の評価・見解を出すのは難しい場合が多く、勢いこれまで海外の文献のレビューにとどまるケースが多いように見える。

埋蔵量・資源量の海外の文献であっても、統計値の出所が異なるとかなり数字の違うことがある。また埋蔵量の定義も計算方式もまちまちのようで等価の比較が困難なのが現実である。

## 2. 石油とその成因

石油は一般社会では原油とその精製・加工製品を指す。しかし石油地質学上は天然に産する炭化水素を主成分とする複雑な混合物質を総体的に指すことが多い。

産状からガス体のものを天然ガス、液体のものを原油、粘稠体のものをビチューメン、アスファルトなどとして分類するが、石油地質学者によっては固体の石油に石炭（とくに腐泥炭）やオイルシェールなどに含まれるケロジェン（油母, kerogen）まで含めることがある。

そのほかコンデンセート (condensate) というのは軽質の液体炭化水素で地下のガス層内ではガス中に溶解してガス相を呈し、地上に出て常温常圧下におかれればガスから分離し凝縮ガソリンとして析出するものをいう。またガスハイドレート (gas hydrate) というのはメタンなどの低級パラフィン炭化水素が相平衡下に水と結合して形成した軽い氷状の水和物結晶のことで、脱水不十分なパイプライン中にできたり、永久凍土や深海底の下に形成されており、将来資源として注目する人もいる。粘稠体の石油はオイルサンド、タールサンドとして産出し、地表付近であれば露天掘りした砂を熱湯で処理して油分（ビチューメン）を分離し、精製する。露天掘りの不可能な地下深度にあるものは坑井から水蒸気を圧入したり、火攻法によって流動化した上地上に汲み上げる。オイルシェールはレトルト内で約 500℃ に熱し、含まれるケロジェンを破壊乾留して生成したシェールオイルを採取する。

以上の如く広義の石油はいろいろな産状を示すのであるが、ここでは原油と天然ガスを中心として述べることにし、オイルサ

ンドやオイルシェールは石油代替エネルギーに含める。なお以下とくに断らない限り石油は原油を指すこととする。

さてここで広義の石油の成因に少し触れておきたい。石油成因説は周知の如く19世紀から多数の説があり、大別して生物起源説(有機説)と非生物起源説(無機説)に分けられる。概して前者の支持者には地質学者が多く、後者には化学者が多い。地質学者は商業量の石油・ガスの地質的産状に重きをおき、化学者は化学反応論や炭化水素の無機的自然環境での産状に目を向けがちなのである。成因説は今日決着がついているわけではないが、資源評価の大前提であり、また石油探鉱の拠って立つ作業仮説であるから、現実の油・ガス田の産状をより実証的に、またより体系的に説明できるものでなくてはならな

い。洋の東西を問わずほとんどの探鉱地質家は近年堆積有機物後期熱変成説或いはそれに近い説を背景に探鉱を進めていると言っても過言ではあるまい。ここには詳述しないが、この説の大筋を説明すると次の如くなる。

無機物から有機物をつくり出す一次生産者は植物と光合成細菌で、葉緑素の存在のもとに太陽光の光エネルギーを利用した光合成により大気圏と水圏の炭酸を固定してまず単糖を合成し、次いで多くの生命有機物をつくり出す。先カンブリア代で光合成の証拠を示すとされるのは19億年前のカナダの Gunflint 化石植物群である。顕生代に入ってからには海域の植物プランクトンが一次生物生産の主役であったが、シルル紀に植物が上陸してからは陸上植物も一次生産の役割を担い石油の原材料となった。非海成原油の高ワックス分はリグニンとクチンの多い高等植物に由来するものと考えられている。さて生物の遺骸は大部分酸化分解してしまうが、ごく一部は水底に取り込まれ、始めは低温かつ嫌気条件下に分解し、フミン質、フルボ酸、糖類、アミノ酸、脂肪酸などのモノマーを形成するが再び環化、重縮合などの反応によりケロジェンと呼ばれる複雑な構造を持った不溶性のポリマーを生成する。このような有機物の変成過程を続成作用といい、その初期に発生する大量のメタンは生化学メタンともいわれ、日本の水溶性ガスや西シベリアの構造性ガス田が好例とされる。さらに堆積が進行して埋没深度が大きくなり次第に地温が上昇するとケロジェンは熱分解を起こし、最初は油を、ついでコンデンセート、湿性ガスを放出する。この過程はカタジェネシスといわれ、さらに高温になるとそれまでに生成した油は熱分解を起こして消失し熱分解メタンとなる。この段階は変成作用といい、ケロジェン自身は余り分解物を出さず次第に結晶度を高め最終的には石墨となって有機物進化は終了する。

以上を要約すると、過去の太陽の光エネルギーが葉緑素を持つ生物の光合成作用で化学エネルギーに変換され、さらに地下深部に埋もれて地温、すなわち地球内部の放射性同位体の核変換エネルギーが加わって石油が生成したということになる。この成因説は内外の石油会社や研究所によって数理モデル化され、探鉱の実務に貢献したり、未探鉱地域の石油・ガス資源の質と量との予測に応用されているようである。

一方最近10年の間一般社会にも広く関心を持たれた説にトーマス・ゴールド博士の「地球深層ガス」説がある。これは19世紀末のロシアの化学者ソコロフの唱えた無機成因説の系譜に属する宇宙起源説に酷似しているように見える。詳述は避けるが地球創世時に地球深部に取り込まれたメタンが地殻の裂隙から上昇し(脱ガス)、ガス鉱

床を形成したり、堆積岩中の堆積有機物と反応して石油を形成したと主張する。石油や天然ガスは流体で長い地質時間の中で移動したであろうから、ゴールド説に反論しにくい点もあるが、固体である石炭も同様に深層メタンの炭素に由来するとなると地質学的事実認識とはとても整合しそうにない。天然ガスの成分の一部に「深層ガス」が混じることまで否定はできないが、ともかくこの説を信ずるなら石油・ガス・石炭の資源量の推定は大変困難なものになるう。

### 3. 一次エネルギーに占める石油の役割

石炭は18世紀に始まった産業革命の時から蒸気機関の燃料に用いられ、また粘結炭は製鉄原料のコークス製造に大量に用いられ、産業エネルギーの中核としての役割を果たしてきた。さらにコークス製造の副産物であるコールタールを原料として石炭化学工業が発展した。この状態は約2世紀続いたのであるが、それに比べて石油の歴史は新しい。近代石油産業は1859年米国ペンシルバニア州で石油試掘が成功した時に始まるとされるが(ドレーク#), 19世紀の石油の用途は専ら灯火用で一部潤滑油に使われていた。石油が一次エネルギー源として登場するのは、ダイムラーの自動車用ガソリン機関(1883)およびディーゼルの噴射式内燃機関(1893)の発明を待たなければならなかった。実際には20世紀に入ってフォードによる自動車の量産、第一次世界大戦を契機とする航空機の発達と各国海軍艦艇の石炭から重油専焼への転換、さらに舶用ディーゼル機関の普及によって初めて原油精製のすべての留分が利用されるようになり、世界的に石油需要量は急増していった。そして1960年代に世界の一次エネルギー消費のシェアで石油が石炭を追い抜いたのである。我国は最も劇的に逆転し(1961)、エネルギー革命と呼ばれたことは記憶に新しい。同時に我国では第二次世界大戦後勃興した石油化学工業が石炭化学工業に代わって大発展を遂げるのである。流体である石油が本質的に装置工業に向いていたことから必然的な結果であったが、1960年代までいわゆる2ドル原油の時代が続き、低廉なナフサが入手できたことも見逃せない。

ちなみに1989年における世界の一次エネルギー消費の内訳は、石油換算80億トンの総量に対し次の如くなっている。

石油=38.7% 天然ガス=21.3% 石炭=27.8%  
水力・地熱=6.6% 原子力=5.6% (BP統計)

天然ガスはかつてはパイプラインで消費地に輸送できる場合のみ利用され、その他の場合は油田内で焼却されていたが、1959年貨物船改造の冷凍タンカーの実験船が

メキシコ湾と英国の間の渡洋試験航海に成功し、1964年から本格的なタンカーによる商業輸送が始まった。それ以来液化天然ガス（LNG）は完全に国際流通商品となったが液化プラントの建設と $-162^{\circ}\text{C}$ のメタン液を運ぶ特殊タンカーの建造が高コストのため、埋蔵量の大きなガス供給源があることと年間数百万トンの取引がないと採算が合わないという制約条件がある。しかしクリーンエネルギーということから発電や都市ガス向けに石炭に代わり上記の如く一次エネルギー消費の20%以上を占めるまで成長を遂げた。

#### 4. 石油資源の地理的時代的分布

油・ガス田は今日地球上に広く分布し、南極大陸を除くすべての大陸とその周辺の海底に見ることができる。しかし量的な観点からすれば地理的に極めて偏在する資源であり、現在の原油確認埋蔵量のおよそ60%が中東地域に、10%弱が北米大陸にある（第1表、第4表A）。

天然ガスは分布のパターンは異なるが偏在することに変わりはなく、世界の確認埋蔵量の1/3ずつを旧ソ連と中東地域が分け合っている（第2表、第4表B）。原油と天然ガスが分布パターンを異にするのは、ガスは成因的に原油よりも生成環境に制約が少ないことに起因すると思われる。

地理的分布と同様に産油層の地質時代は先カンブリア代末期の地層から第四紀の地層まで広く広がるが、やはり量的に見ると埋蔵量の分布は片寄っており、原油はジュラ紀層、白亜紀層及び第三紀層に多く、ジュラ紀以前の地層には激減する（第3表）。このことは油層の分布よりも根源岩の分布に着目してみると一層はつきりしてくる。古生代に生成した油は熱化学反応上過熱熟になってガスとして逸散し易く、またカレドニア、ヘルシニア両造山運動の影響を受ける機会が多く消滅した油も多かったと推測される。しかし、それにもましてジュラ紀後期から白亜紀前半にかけて世界の海洋を覆った「海洋貧酸素事件（Oceanic Anoxic Events）」により、深海のみならず主要な陸棚海の海底にも停滞水塊を生じ、嫌気条件下に油指向（oil prone）の良好な石油根源岩が堆積したことに原因があろう。ちなみにこの時代に生成した石油は7000億 bbl以上上ると見積もられている（North, 1979）。ジュラ紀にはパンゲア大陸の分裂で大西洋の最初の開口ができたが、デボン紀以降存在したテーチス海とともに海進と温暖な気候、さらに狭隘で循環の悪い海洋環境は石油根源岩や貯留岩・根源岩になる（礁）石灰岩の形成にも好都合であった。中東の大油田群のジュラ紀の石灰岩はテーチス海の産物である。北アフリカ、ベネ

ズエラの大油・ガス田群のあるところもテーチス海域であって全世界の石油資源量の実に3分の2を形成している。

第三紀中新世中期にも温暖気候があり、ジュラ紀後期から白亜紀前期にかけて程ではないが、1000億 bbl以上の石油が生成したといわれる。

第4図は大気中の炭酸ガス濃度、現在の平均気温（ $15^{\circ}\text{C}$ ）と過去の気温との差及び堆積岩中の有機炭素量の推定を示すが、ジュラ紀末から白亜紀前期（100-160Ma）は中緯度地域の海水準で気温 $26^{\circ}$ 度位、炭酸ガス濃度は0.231%に達していることになる。また第三紀中新世（5-23Ma）にも気温のピークが見えるが、いずれも世界的な石油根源岩生成期に一致している。本図には示していないが、これら温暖期には炭酸塩岩の量も増大している計算結果になっている。

ガスは石油同様白亜紀と第三紀に多いほか、二疊紀にも多い。石炭紀後期と二疊紀は石炭の埋蔵量の多い地質時代であって、ガス田が多いのもこのことと関係がある。我国でも磐城沖ガス田のガスは第三紀層の石炭起源だが、オランダの超巨大ガス田フローニンゲンガス田及び北海南部ガス田のガスも二疊紀層の石炭起源である。

#### 5. 埋蔵量の分布

Masters et al. (1991)によれば、世界の石油と天然ガスの究極資源量はそれぞれ2兆1,713億 bbl（3,452億kl）と10,511.7兆 cf（298兆 $\text{m}^3$ 弱）であるが（第1, 2表）、既に生産して消滅した量はそれぞれ29%および15.2%であり残存確認埋蔵量は油48.5%、ガス42.8%となる。このように石油に比較すると天然ガスは今後の探鉱に期待するところがより多く残され、また現在でも未探掘の確認鉱量は石油換算で7,500億 bblあることになる。

資源量の大きい地域は巨大油・ガス田の多い傾向があるが、油・ガス田のサイズ、すなわち可採埋蔵量についての蓋然的な規則性がある。例えばFitzgerald (1980)によれば、1977年末までに世界で発見された原油埋蔵量（ガスは原油に換算する）の85%が、数万ある油・ガス田中のわずか288油・ガス田にあるという。このような少数のフィールドによってある地域の埋蔵量が支配されることは、かなり以前から気づかれていたが、1977年になってZipfの法則を当てはめる試みができた。すなわちn個の油・ガス田があるとき、その全埋蔵量sは次の式で表される。

$$s = (1+1/2+1/3+\dots+1/n) \times R$$

ここにRは最大サイズの埋蔵量、

この式に従うと、例えば400（=n）の大油田群がある

第1表 第13回世界石油会議（1991）で発表された世界の原油資源量（C. D. Masters ほか）

（単位：10億バレル）

地 域	累計生産量 1/1/90	可採埋蔵量 1/1/90	原始埋蔵量	未 発 見 鉱 量			究 極 可採資源量 (最頻値)
				信 頼 度			
				95%	最 頻 値	5%	
北 米	187.0	103.5	290.5	63.0	97.8	190.6	388.3
米 国	155.5	45.4	200.9	33.2	45.8	69.9	246.7
カ ナ ダ	14.8	13.0	27.8	13.5	22.1	50.0	49.9
メ キ シ コ	16.6	44.9	61.5	15.0	25.0	75.0	86.5
グ リ ー ン ラ ン ド	—	—	—	0.6	1.0	3.0	1.0
南 米	59.3	72.4	131.7	33.9	56.4	131.2	188.1
ベ ネ ズ エ ラ*	44.6	50.9	95.5	16.0	27.0	67.0	122.5
そ の 他	14.7	21.6	36.3	15.4	26.5	70.7	62.8
西 欧	17.2	35.9	53.1	10.2	17.4	44.1	70.5
英 国	9.2	17.7	26.9	4.6	8.0	22.0	34.9
ノ ル ウ ェ ー	3.6	15.8	19.4	4.1	6.7	15.0	26.1
そ の 他	4.4	2.5	6.9	1.1	1.9	8.8	8.8
東 欧	6.9	1.9	8.8	0.9	1.7	6.1	10.5
ル ー マ ニ ア	4.7	1.2	5.9	0.4	0.8	3.6	6.7
そ の 他	2.2	0.7	2.9	0.4	0.8	2.7	3.7
ソ 連	104.6	83.3	187.9	54.4	92.0	227.0	279.9
ア フ リ カ	48.7	71.1	119.8	20.2	34.9	91.6	154.7
リ ビ ア	16.4	30.7	47.1	4.0	6.0	15.0	53.1
アルジェリア	9.5	9.0	18.5	0.5	1.5	5.0	20.0
エジプト	4.7	5.6	10.3	1.0	2.0	12.0	12.3
チュニジア	0.8	1.1	1.9	1.0	2.0	9.0	3.9
ナイジェリア	13.0	17.5	30.5	4.0	7.0	18.0	37.5
そ の 他	4.2	7.2	12.2	8.2	14.3	19.5	25.7
中 東	166.4	624.2	790.6	75.2	118.3	237.9	908.9
サウジアラビア	57.6	260.1	317.7	31.2	50.0	105.0	376.7
クウェート	23.9	86.2	110.1	1.0	2.0	7.0	112.1
中 立 地 帯	4.6	14.1	18.7	1.0	2.0	4.0	20.7
イ ラ ン	37.1	74.0	111.1	11.0	19.0	35.0	130.1
イ ラ ク	20.9	106.0	126.9	15.0	35.0	80.0	161.9
U A E	11.7	65.7	77.4	2.9	5.0	13.0	82.4
そ の 他	10.8	18.1	28.9	—	—	—	29.9
アジア・オセアニア	39.3	60.3	99.6	34.5	58.3	143.4	157.9
中 国	14.0	31.4	45.4	18.4	32.0	87.2	77.4
インドネシア	13.8	13.0	26.8	4.8	7.9	17.8	34.7
そ の 他	10.9	15.6	26.5	8.9	15.9	44.2	42.4
南 極	0	0	0			19.0	
世 界 合 計	629.3	1,052.7	1,682.0	303.6	489.3	1,046.8	2,171.3

注 1. 未発見鉱量は1990年1月1日現在。

2. 究極可採資源量は累計生産量、可採埋蔵量及び未発見鉱量の最頻値の合計である。

3. 合計額が各数値の和と合わないところがあるが、原文の数値を掲載した。

4. 本表は会議予稿集からとったもので、正式報告は近い将来刊行される。

\* ベネズエラにはトリニダードトバゴが含まれる。

第2表 第13回世界石油会議（1991）で発表された世界の天然ガス資源量（C. D. Masters ほか）

（単位：兆立方フィート）

地 域	累計生産量 1/1/90	可採埋蔵量 1/1/90	原始埋蔵量	未 発 見 鉱 量			究 極 可採資源量
				信 頼 度			
				95%	最 頻 値	5%	
北 米	850.5	466.2	1,316.7	531.0	816.7	1,554.2	2,133.4
米 国	749.5	296.4	1,045.9	306.8	385.3	507.2	1,431.2
カ ナ ダ	77.8	97.0	174.8	155.2	274.9	800.0	449.7
メ キ シ コ	23.2	72.7	95.9	70.4	118.9	291.3	214.8
南 米	38.7	178.6	217.3	147.6	254.0	663.2	471.3
ベ ネ ズ エ ラ*	18.1	129.7	147.8	17.2	136.9	400.0	284.7
そ の 他	20.5	48.9	69.4	59.5	103.8	292.8	173.2
西 欧	127.1	203.6	330.7	138.5	225.7	497.2	556.4
オ ラ ン ダ	54.5	60.9	115.4	5.0	6.6	20.0	122.0
英 国	24.7	19.8	44.5	9.4	16.0	40.0	60.5
ノ ル ウ ェ ー	10.4	93.1	103.5	86.3	122.0	195.0	225.5
そ の 他	37.4	29.9	67.3	37.7	70.0	262.0	137.3
東 欧	48.6	15.0	63.6	17.3	29.4	74.7	93.0
ル ー マ ニ ア	29.8	3.4	33.2	6.9	12.0	33.0	45.2
そ の 他	18.8	11.5	30.3	9.1	16.0	45.0	46.3
ソ 連	358.3	1,550.0	1,908.3	738.5	1,227.0	2,861.0	3,135.3
ア フ リ カ	32.6	261.6	294.2	195.5	328.3	791.4	622.5
リ ビ ア	5.8	29.2	35.0	7.0	18.0	55.0	53.0
アルジェリア	16.9	114.2	131.1	5.6	18.0	53.0	149.1
エ ジ プ ト	1.5	11.5	13.0	8.0	21.0	60.0	34.0
チュニジア	0.1	3.1	3.2	5.0	12.0	35.0	15.2
ナイジェリア	5.9	87.4	93.3	80.0	136.0	340.0	229.3
そ の 他	2.3	16.1	17.6	58.2	108.0	283.2	126.4
中 東	57.5	1,479.2	1,536.7	603.7	943.4	1,865.0	2,480.1
サウジアラビア	14.0	184.4	198.4	191.5	300.5	600.0	498.9
クウェート	5.5	48.6	54.1	3.0	5.0	10.0	59.1
中 立 地 帯	—	8.0	8.0	1.0	2.0	5.0	10.0
イ ラ ン	17.6	600.0	617.6	300.0	450.0	1,000.0	1,067.6
イ ラ ク	3.3	110.0	113.3	60.0	100.0	200.0	213.3
U A E	7.7	184.4	192.1	31.8	50.0	100.0	242.1
そ の 他	9.3	343.8	353.1	5.0	8.0	18.0	361.1
アジア・オセアニア	81.4	345.7	427.1	298.9	486.3	1,067.1	913.4
中 国	17.6	33.0	50.6	103.9	175.9	434.2	226.5
インドネシア	14.4	85.7	100.1	47.0	76.4	166.7	176.5
オーストラリア/N. Z.	7.6	77.4	85.0	10.9	18.9	50.0	103.9
マレーシア/ブルネイ	5.0	65.8	70.8	27.5	45.0	100.0	115.8
そ の 他	36.8	83.9	120.7	88.3	170.4	432.4	291.1
世 界 合 計	1,594.6	4,499.8	6,094.4	2,777.1	4,417.3	9,126.6	10,511.7

注 1. 未発見鉱量は1990年1月1日現在。  
 2. 究極可採資源量は累計生産量、可採埋蔵量及び未発見鉱量の最頻値の合計である。  
 3. 合計額が各数値の和と合わないところがあるが、原文の数値を掲載した。  
 4. 天然ガス液は除外してある。  
 \* ベネズエラにはトリニダードトバコが含まれる。

第3表 巨大油ガス田の地質時代別埋蔵量と鉱床数

地質時代			油 (百万 bbl) (%)	ガス (兆cf) (%)	埋蔵量/時間 (百万 bbl/百万年)	鉱床数
新 生 代	更新世	新世	290 (0.03)	1.50 (0.05)	—	1
	鮮新世	新世	17,371 (2.04)	38.88 (1.26)	7,476	23
	中新世	新世	109,427 (12.87)	158.10 (5.14)	6,776	73
	漸新世	新世	51,361 (6.04)	143.90 (4.68)	5,796	25
	始新世	新世	18,650 (2.19)	52.49 (1.71)	1,617	22
漸新世	新世	10,942 (1.29)	10.09 (0.33)	1,271	11	
中生代	白垩紀	三疊紀	362,831 (42.66)	1,722,80 (56.02)	8,336	160
	ジュラ紀	三疊紀	195,987 (23.04)	186.56 (6.07)	3,294	59
	三疊紀	三疊紀	4,152 (0.49)	141.87 (4.61)	794	13
古 生 代	二疊紀	石炭紀	33,714 (3.96)	495.85 (16.12)	2,776	39
	石炭紀	石炭紀	10,247 (1.20)	27.92 (0.91)	194	16
	デボン紀	石炭紀	24,605 (2.89)	60.29 (1.96)	722	15
	シルル紀	石炭紀	0 (0)	0 (0)	0	0
	オルドビス紀	石炭紀	1,069 (0.13)	7.50 (0.24)	43	4
カンブリア紀	カンブリア紀	9,500 (1.12)	0 (0)	127	2	
先カンブリア代			409 (0.05)	27.79 (0.90)	—	2
合計			850,555	3,075.54		465

注釈) 埋蔵量のデータは Carmalt and John (1984) に基づく。なお、時代未詳および上記の時代区分に含まれない鉱床は除いてある。出典：石油鉱業連盟 (1991)

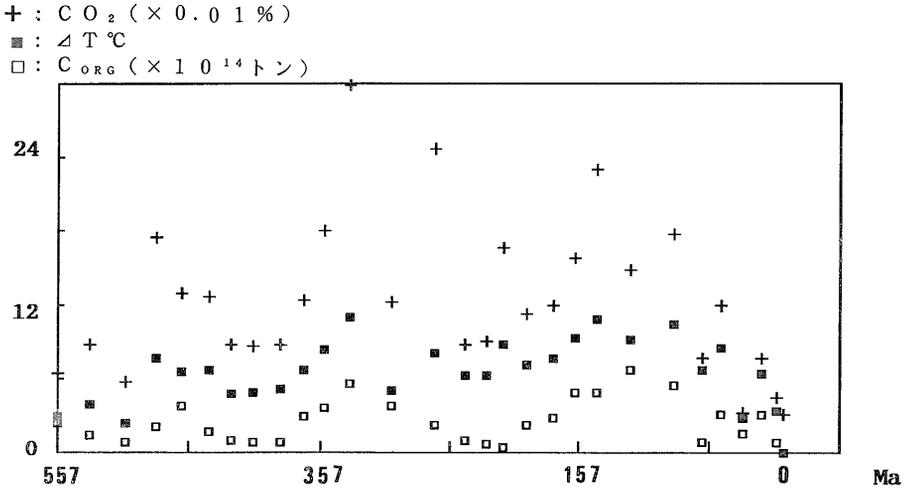
第4表A 油残存埋蔵量国別ランキング

地域名及び国名	残存埋蔵量 ('89年末)		可採年数
	油 (百万 bbl)	%	
ベスト 20			
1 サウジアラビア	257,559	25.8	139
2 イラク	100,000	10.0	98
3 アラブ首長国連邦	98,105	9.8	145
4 クウェート	97,125	9.7	182
5 イラン	92,860	9.3	90
6 ベネズエラ	59,085	5.9	93
7 ソ連	57,875	5.8	13
8 メキシコ	51,983	5.2	54
9 アメリカ合衆国	26,324	2.6	9
10 リビア	22,800	2.3	55
11 中華人民共和国	21,500	2.2	21
12 ナイジェリア	16,000	1.6	26
13 インドネシア	11,055	1.1	25
14 ノルウェー	11,037	1.1	21
15 アルジェリア	9,200	0.9	35
16 カナダ	6,769	0.7	12
17 カタール	4,500	0.5	39
18 インド	4,345	0.4	18
19 エジプト	4,300	0.4	14
20 オマーン	4,291	0.4	19
21 その他	41,448	4.3	—
世界合計	998,161	100.0	46

第4表B ガス残存埋蔵量国別ランキング

地域名及び国名	残存埋蔵量 ('89年末)		可採年数
	ガス (十億cf)	%	
ベスト 20			
1 ソ連	1,550,000	36.6	56
2 イラン	600,270	14.2	766
3 アラブ首長国連邦	199,502	4.7	257
4 サウジアラビア	184,389	4.4	175
5 アメリカ合衆国	163,204	3.9	9
6 カタール	163,168	3.9	759
7 アルジェリア	114,758	2.7	67
8 イラク	109,991	2.6	511
9 ベネズエラ	106,707	2.5	162
10 カナダ	96,985	2.3	23
11 ノルウェー	93,051	2.2	92
12 インドネシア	90,415	2.1	58
13 ナイジェリア	87,428	2.1	573
14 オーストラリア	73,455	1.7	117
15 メキシコ	72,744	1.7	56
16 オランダ	60,918	1.4	23
17 マレーシア	53,642	1.3	102
18 クウェート	48,375	1.1	168
19 リビア	43,008	1.0	203
20 中華人民共和国	33,022	0.8	64
21 その他	288,532	6.8	—
世界合計	4,233,564	100.0	58

出典：石油鉱業連盟 (1991)



第4図 過去6億年の間の大気圏下層の気温変化と炭酸ガス濃度および堆積岩中の残留有機炭素。  
 出典：Budyko ほか (1985) に基づく。 CO<sub>2</sub>：炭酸ガス濃度 ΔT°C：現在平均気温  
 (15°C) よりの偏差 CORG：堆積岩内の有機炭素

場合、最大の油田は全体の15.2%の埋蔵量を持ち、また先頭の8油田が41.1%の埋蔵量を占めることになり、少数の巨大油・ガス田が埋蔵量を支配する様子をよくシミュレートできる。

この経験則はもともと地質や資源に全く関係の無い対象について発見されたものだが、似たようなことは我国でもある。1940年代の我国の群集生態学の分野では、「元村の等比級数の法則」といわれる生物界の経験法則が知られていたが、ある地域(石油地質区または堆積盆地など)の巨大油・ガス田のサイズの分布にも割と適合するのである。この場合も原始埋蔵量より可採埋蔵量を用いた方が適合性がよい点、Zipfの法則と似ている。

これらの見かけの経験法則は論理性はないが、未発見の大油・ガス田がないかどうかの心証を得たり、堆積盆地中の資源量がどの程度か見当をつけたり、また探鉱上“毛並み”の良い地域かどうかを判断するには役に立つ。探鉱に際してリスクや投資額はそう極端には違わないのが普通であるが、毛並みの悪い地域では埋蔵量の平均期待値が小さいからである。Masters (1991)らは地球上の産油地域を ①テーチス圏 ②北極圏 ③南ゴンドワナ圏 ④太平洋圏の4地域に分け、古地理、古気候、造構運動、石油成因説を組み合わせて毛並みを判定したが、こちらは油田サイズではなく地域資源量から見た本質的な地域地質評価である。

ところで近年巨大油・ガス田の発見が少なくなってきたとして、石油資源の将来にいよいよよかげりがでてきたとする説を見受けることがある。しかし油価など経済的

理由からフロンティアの探鉱が停滞すれば巨大油・ガス田の発見は当然減少するし、また巨大油・ガス田であることは発見後ある程度の年数が経ってからでないことと実証されないという事もあるので、余り性急な判断は避けた方が良いと思われる。第5図を見る限り、それほど差し迫った危機感を感じられない。

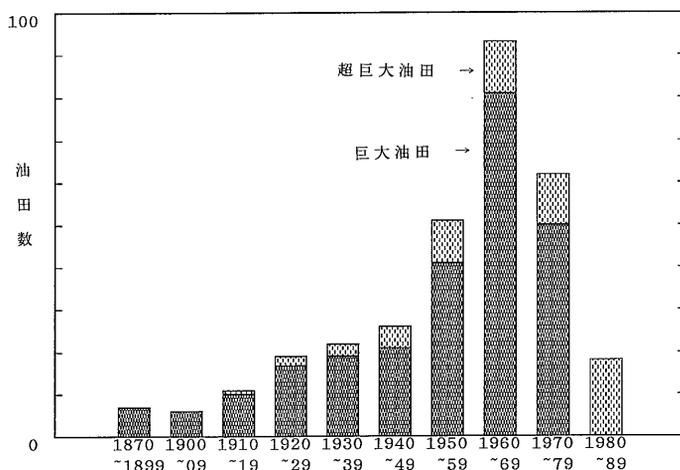
### 6. む す び

石油資源を化石エネルギーとして認識する限り有限であり、何時かは枯渇すると考えるのは当然である。しかしここに引用した資料を見ても原油と天然ガスの可採年数は全体としてまだそれほど小さくはなく、巨大油・ガス田もかなり発見され世界の埋蔵量の維持に貢献している。今後の探鉱活動も加味して、まだ少なくとも数十年は差し迫った危機は来ないと思われる。

むしろ気になるのは米国の一次エネルギー消費の巨大さとGDPの大きさ、そして自身の石油・天然ガス資源の可採年数の少なさである。米国の動向は他の先進工業国のエネルギー輸入に直接間接大きな影響を与えるようになるだろう。

いずれにしても供給国として50年以上生き残れるのは第4表に明らかな如く殆ど中東諸国であろう。石油は今後も永く戦略商品として扱われるだろう。

石油系代替エネルギーについては触れる紙数が無くなってしまったが、油田の二・三次回収技術同様に、いかなる種類であってもエネルギー原単位を明確にする事が



第5図

巨大油田 (可採埋蔵量 5 億 bbl 以上) と超巨大油田 (可採埋蔵量 50 億 bbl 以上) の10年単位で見た発見推移。

(Carmalt et al.(1986) ほかに基づく)

必要だと考える。原油二・三次回収の場合、自然エネルギーで取れなくなってきて人工的にエネルギーを与えて採取するわけだから当然の事である。従来は原価計算的な経済性が検討されていたが、エネルギー収支は必ずしも経済性と一致しない。オイルサンドやタールサンドからの油の回収には熱エネルギーを大量に必要とするが、エネルギー収支で得率の低いものだったら環境を汚染するだけマイナスである。オイルシェール油の製造も未熟成のケロジェンに人工的にカタジェネシスを加えるわけであるから採掘時の機械的エネルギーを含めて全体のエネルギー収支をよほど考えないとマイナスになる恐れが大きい。ともあれ代替エネルギーが大巾に石油資源の枯渇を救うことにはなるまい。

炭化水素系以外の代替エネルギーについては触れないが、天から余裕を与えられているうちに人類は次世代のエネルギー対策を研究しておく必要がある。

## 参考文献

- Carmalt, S. W. and St. John, B. (1986): Giant Oil and Gas Fields, in M. T. Halbouty, ed., Future Petroleum Provinces of the World, AAPG Memoir 40, p. 11-53  
 Chapman, R. E. (1983): petroleum geology, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B. V., Amsterdam, 415 p  
 Fitzgerald, T. A. (1980): Giant Field Discoveries 1968-

- 1978: An Overview, AAPG Memoir 30, p. 1-5  
 Hunt, J. M. (1979): Petroleum Geochemistry and Geology, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B. V., Amsterdam, 617 p  
 Ivanhoe, L. F. (1985): Potential of world's significant oil provinces, OGI, Nov 18, 1985, p 164-168  
 Masters, C. D., Root, D. H., Attanasi, E. D. (1991): Resource Constraints in Petroleum Production Potential, SCIENCE, 255, p 146-152  
 Masters, C. D., Root, D. H., Attanasi E. D. (1991): WORLD RESOURCES OF CRUDE OIL AND NATURAL GAS, Preprint of THIRTEENTH WORLD PETROLEUM CONGRESS, 14P  
 Roadifer, R.E. (1986): Size distribution of world's largest known oil, tar accumulations, OGI, Feb 24, 1986, p 93-100  
 石油学会編 (1984): 世界の油田, 539 p, 技報堂出版  
 石油鉱業連盟 (1991): 石油・天然ガス等の資源に関するスタディ, 182 p  
 石油公団・石油鉱業連盟 共編: 石油開発関係資料, 1991, 272 p, 石油通信社  
 Selley, R. C. (1985): Petroleum Geology, W. H. Freeman and Co., 449 p

ISHIWADA Yasufumi (1992): Future of petroleum resources.

<受付: 1991年12月10日>