

■ シリーズ特集 ■ 明日を支える資源 (80)

<連載：炭化水素資源①>

石油と天然ガス資源の現状と将来

Present Status and Future Potential of World Oil and Gas Resources

藤田和男*

Kazuo Fujita

1. はじめに

地球は何人まで養うことができるだろう？ 1999年の10月に世界の人口が60億人に達したとき、多くの人々が心配した。振り返れば西暦1800年では約7.9億人だった地球上の人口が1900年に約16.5億人に、そしてこの20世紀の100年間に4倍近くに増殖したが、最近の増加率は鈍ってきている。国連の推計では、2050年で地球人口は89億人となり、その構成は、アジア・オセアニア60%、アフリカ20%、中南米9%、ヨーロッパ7%、北米4%と報告されている。地球が究極に養える人口はおそらく40億～160億人までの幅で諸説があるようだ。

他方で、地球環境保全が叫ばれている近年、人間活動が地球環境に及ぼす悪影響 $(I) = \text{人口}(P) \times \text{エネルギー資源の消費量}(A) \times \text{科学技術の進歩}(T)$ で表されると言う学者がいる。つまり地球環境への負荷を減らすには、人口を抑制するか、一人当たりのエネルギー消費量を減らさなければならないという理屈である。

再生可能なエネルギー資源の持続可能な利用範囲で現在の人口を養えていないことも過去の実績から真実である。現在、世界中で8億人を上回る人々が栄養不足に苦しんでいる。同時に先進国の人々はサハラ砂漠以南のアフリカの人々の5倍近い穀物を消費し、大量の食べ物の残りを廃棄している。特に、米国の一人当たりのエネルギー消費は、途上国の10倍から30倍と途方もなく大きく、わが国民も米国の半分程度のエネルギーを消費している。しかし先進国に今の豊かな生活を犠牲にして途上国の水準に近づけよと迫るのも難しい。豊かさのある程度保ちつつ、地球環境に過大な負荷を掛けない方策を探るしかないのである。

世界の一次エネルギーの90%を占める石炭、石油、天然ガスは有限枯渇の天然資源であるうえ、大気汚染や、地球温暖化の原因になる。人口60億に成長した地球でなぜ依然9割もこれらの化石燃料に依存せざるを得ないのか？ 人類の怠慢に因るのか？ 物理的に困難なのか？ 大きな命題である。これらの化石燃料を大量生産、大量消費、大量廃棄して来た経済社会は20世紀で終りとすべきことは少なくとも正しい決断のようだ。このままの増加速度で資源を枯渇させ生態系を破壊し続ければ、人類は確実に自滅に近づく。つまり資源の可採埋蔵量の追加と生産性の向上と生産コストの削減は人類生存の鍵を握っていると言えるのである。本稿では現在、世界の一次エネルギー供給量の40%を占める石油（日本では53%）と23%を占める天然ガス（日本では12%）等の在来型資源の1998年末における資源量、埋蔵量、未発見量と生産量の現状評価を報告する。さらに、これら在来型資源の枯渇後に開発利用が期待されている非在来型石油系炭化水素資源の概念と開発実績を概説した。

2. 石油資源の概念と定義

現在、私たちが『石油 (Petroleum)』と呼んでいる言葉は、実は曖昧なもので一般に、天然に沸き出るか、地下から汲み出した鉱物性の黒色粘性液体である炭化水素化合物の混合体を実証的に総称しているが、石油資源とは広義には、天然に地下に埋蔵する石油系炭化水素物質を総称した化石エネルギー資源である。このなかには、在来型原油のほかベネズエラの超重質油やカナダのオイルサンドやオイルシェール（油母頁岩）、また在来型天然ガスの他に数多くの非在来型メタンガス等が含まれる。これは当然、石炭系炭化水素物質（泥炭、褐炭、レキ青炭、無煙炭、腐泥炭等）と区別される。

石油系炭化水素物質の中で原油と天然ガスは表1に示すように、分子構造を異にし、異なる分子量を持つ

* 東京大学大学院工学系研究科地球システム工学専攻教授
〒113-8658 東京都文京区本郷7-3-1

た種々の炭化水素分子 (C_mH_n) の混合物である。そして常温常圧下で液相である高位のヘプタンプラス (C₇₊) には、微量ではあるがパラフィンやアスファルトのような高級炭化水素や硫黄、重金属等が含まれ、またガス相には窒素 (N₂)、炭酸ガス (CO₂)、硫化水素 (H₂S) が含まれる。石油系炭化水素物質は沸点や融点の違いによって、気相、液相、固相とさまざまな状態で存在する。常温常圧下で液体状である炭化水素混合物を原油 (Crude Oil) と称し、また常温常圧下で気体状である炭化水素混合物を天然ガス (Natural Gas) と呼び区別している。

現在、汎用されている技術、施設により商業的に生産されている原油を在来型原油 (Conventional Oil) と呼び、おおむね API比重20度 (0.924g/cc) より軽く、油層内で粘性が100cp以下の流動性を持つ油に限られている。しかし、近年に少量ではあるが商業生産され始めたベネズエラのオリノコータルと呼ばれる超重質油はAPI比重が20度~10度で、粘性が100~10,000cpであり、またカナダのオイルサンド (またはタールサンド) はAPI比重が10度以下で粘性も10,000cp以上と油層内で半固体状の天然ビチューメンは非在来型原油 (Unconventional Oil) として分類される。

天然ガスには、油田から原油を生産した際に分離する随伴ガス (Associated Gas) と、もともと単体のガス相として炭化水素が地下に埋蔵している構造性ガス田や地層水に溶存した水溶性ガス田から産出される非随伴ガス (Nonassociated Gas) とがある。これらを在来型ガス (Conventional Gas) と総称している。原油の生産に伴うガス量と油量の比はその成因や原油性状により7.0~5,000cf/bblと幅広くまちまちであるが世界全体の平均的な溶解ガス油比 (GOR)

は740cf/bbl程度と推定されることから、これを1998年末の原油の残存確認埋蔵量に掛けると随伴ガス量は約752兆cf程度残存原油に溶解しているものと推定される。つまり随伴ガス量は在来型ガスの確認埋蔵量約5,145兆cfの15%程度に過ぎず、残りの大部分は構造性 (単体) ガス田から生産される天然ガスなのである。また、水溶性ガスについては生産量が小さく産ガス地域内の利用に限られており、確認埋蔵量も不明である。

近年ではガス田から生産される湿性ガスを処理プラントに通し分離凝縮して回収したフィールド・コンデンセート (Field Condensate) や、また生産原油の随伴ガスをガス処理プラントに通して回収されるプロパン (C₃) やブタン (C₄) 成分を加圧ポンペに充填して販売する液化石油ガス (Liquefied Petroleum Gas, LPG) や、更に高位の炭化水素の混合液体であるプラント・ガス液 (Plant Natural Gas Liquid) 等も原油市場に売り出されるため石油需要の一部を担うようになった。しかしその産出量は各種の公刊統計データの原油数量の内数としてカウントされていたり、いなかったりする場合があるので紛らわしく、注意を要する。

フィールド・コンデンセートやプラント・ガス液は総称して天然ガス液 (Natural Gas Liquid, NGL) と呼ばれる麦藁色の透明な油である。日本では天然ガス液とは一般に天然ガスとして産出した炭化水素のうち、常温常圧で液体となるペンタン (C₅) 以上の炭化水素の混合体を指し、コンデンセート、天然ガソリンとも呼ばれる。しかし、海外では、その定義は更に広く、IEA では NGLをエタン (C₂)、プロパン (C₃)、ブタン (C₄)、ペンタンプラス (C₅₊) や天然ガソリンやコンデンセートを総称し、フィールド・コンデンセートを原油の仲間として、プラント・ガス液

表1 石油・天然ガスの代表的化学組成と物性

炭化水素成分		ワックス原油	標準原油	揮発性原油	ガスコンデンセート	天然ガス
		Low GOR, Waxy Oil	Black Oil	Volatile Oil	Gas Condensate	Dry Gas
メタン	C ₁	0.26%	48.33%	64.36%	87.07%	95.85%
エタン	C ₂	0.08%	2.75%	7.52%	4.39%	2.67%
プロパン	C ₃	0.27%	1.93%	4.74%	2.29%	0.34%
ブタン	C ₄	0.66%	1.60%	4.12%	1.74%	0.52%
ペンタン	C ₅	0.71%	1.15%	2.97%	0.83%	0.08%
ヘキサン	C ₆	0.42%	1.59%	1.38%	0.60%	0.12%
ヘプタン+	C ₇₊	95.60%	42.15%	14.91%	3.80%	0.42%
C ₇₊ の分子量		351	225	181	112	157
ガス油比 (SCF/bbl) (M ³ /KL)		7	625	2000	18200	105500
API		29.5	34.3	50.1	60.8	54.7
SpGr (air=1.0)		0.879	0.853	0.779	0.736	0.760
原油の色		黒褐色	黒緑色	淡いみかん色	透明麦藁色	透明麦藁色

注) API比重=141.5/ρ_pGr比重=131.5ガス油比 (GOR) : 1 M³/KL=5.515SCF/bbl

のみをNGLとして計上することを原則としている。また、OPEC統計ではフィールドコンデンセートを比重API50度以上、ガス油比（GOR）が5,000cf/bbl以下、かつ炭化水素組成C₇₊が8モル%以下であるサンプルと規定している。OPEC諸国ではフィールドコンデンセートとプラント・ガス液を含めNGLとして原油と別計上しているが、IEAの石油需給統計における非OPEC諸国のNGL生産量は原油生産量に含まれて報告されている。石油業界でよく引用するOGJ（Oil and Gas Journal）統計の原油生産量にはNGLを含んでいないが、BP（British Petroleum and Amoco）統計はNGL生産量を含んだ原油生産量である。しかし、埋蔵量データは何れもNGLを含んでいないことに留意されたい。

天然ガス液はC₈~C₂₀の炭化水素が主体でナフサと似て、自動車ガソリンのブレンド素材、工業用揮発油、石油化学原料に主として使われている。天然ガス液（NGL）の埋蔵量評価は今のところ曖昧であるため信頼できる報告値は見当たらない。しかしOECD（IEA）統計では原油とNGLの生産量が個別に計上されているのでその実態が国別に良く分かる。データが古い1995年の平均では、世界のNGL生産量は約606b/dであり、このうちOPEC諸国が約234万b/d（世界全体の39%）を占めている。また同年の原油生産量は6,105万b/dであるので、これを含めた総生産量は6,711万b/dに対してNGLが9%も占める程になっている。将来、ガス田の開発がますます活発になるに連れてNGL生産量が次第に増加するであろうから、石油供給源の一部となる値の高い原油として注目すべきである。

3. 究極資源量の評価

石油の有機起源説によると、海中で死滅した生物（プランクトンや藻類）の遺骸が泥とともに海底に埋没し堆積して岩石となる過程において、微量ながら普遍的に細かく分散して賦存していた種々の有機物が数千万年から1億年に渡る長い地質年代を経るうちに、岩圧と地熱（60~150°C）により有機物から酸素が取り除かれる還元作用を受け重合され、複雑な高分子である石墨質炭化水素のケロジェン（Kerogen、油母）に変化していく。このケロジェンを含む堆積岩、すなわち石油根源岩が更に地中深く埋没する過程に於いてケロジェンが熱分解をして炭化水素分子（C_mH_n）の混合物である石油に熟成する。そして生成した油は

地殻の割れ目や孔隙空間を岩石の圧密力や地層水、炭化水素流体の浮力と界面張力や岩石との湿潤性など複雑な流体力学系の軋轢に従ながら移動し、封塞構造（Trap）の貯留層に集積して鉱床が形成されたものと説明されている。

天然ガスは、いったん生じた石油系炭化水素がさらに地中深く埋没し地圧が数百気圧まで高まると同時に地熱が150度C以上の高温となり長い時間を掛けゆっくりと熱分解が進み、メタンやエタンなどの低級炭化水素が生成されたと考えられている。

人類が究極的に地球上で利用できるであろう原油および天然ガスの可採量を究極資源量と称し過去数十年に渡って多くの専門家、地質学者達よりその推定値が公表されてきた。しかしここで究極資源量算出のため使われた回収率は、慣行の1次、2次採取技術による常識的な回収率と見做され、EORによる追加可採量は含まれていないと考えられる。

図1には過去40年余の間に発表された地球全体の原油究極資源量の諸見解をそれぞれの報告値を発表時期の時系列的変遷を示すように図示した。1940年代では中東油田の巨大な事がまだ十分判っていなかったため、原油の究極資源量4,000~6,000億bblと過少評価した報告が多かった。1950年代には中東の巨大油田の発見が相次ぎ、究極資源量の推定値は1~1.5兆bblに増加した。1960年以後は2兆bbl前後の推定値が多く、現在に至っている。1983年の第11回世界石油会議で米国地質調査所USGSのマスターズ博士は原油の究極資源量として、1.718兆bbl（星印1）と大幅な下方修正の評価値を発表した。一説によると将来の石油資源の不足を警告する政策的背景があったとも言われた。その後マスターズ達の再評価で1987年には1.744兆bblまた1991年には2.171兆bbl更に最近の1994年には2.273兆

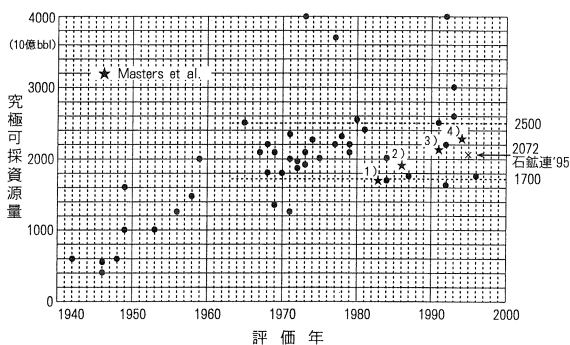


図1 世界の原油究極資源量の専門家による予測値

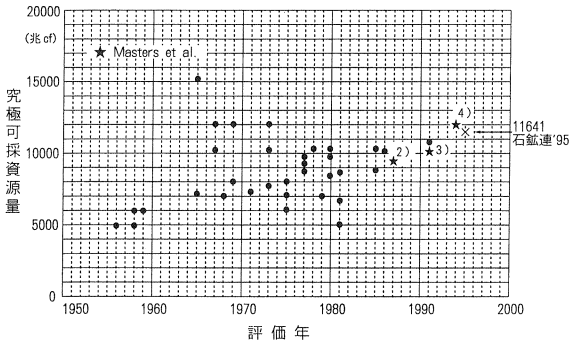


図2 世界の天然ガス究極資源量の専門家による予測値

bblと次第に上方修正された。わが国でも、筆者が座長を勤めた石鉱連の資源評価ワーキンググループが一年余り掛けた調査を行い、1997年6月発表の報告書で2兆720億bblと評価した。従って原油の究極資源量は約2兆bbl強が大方のコンセンサスである。

同様に、天然ガスの究極資源量の推定値に関しても報告値の時系列的変遷を図2にプロットしたが、原油の場合より広いバラツキがある。この理由は、天然ガスは原油に伴う随伴ガスとガス田から単体で産出される非随伴ガスの資源量を別途推算しなければならないこと、また天然ガスは原油よりも商業化が遅れて探鉱・開発が十分でないため信頼あるデータ量に乏しいことに起因している。前述の石鉱連WGは天然ガスの究極資源量として、世界全体で1京1,641兆cf（原油換算1兆9,400億bbls）と推定した。1994年のマスターズ博士他の発表値1京1415兆cf（星印4）と近似しており、地球上の天然ガスの究極資源量は1京2,000cf弱が妥当と思われる。

4. 既発見油・ガス田の確認埋蔵量および生産量

世界の国別埋蔵量や生産量に関する年次統計を調べるためには下記の公刊資料を推薦したい。

- OGJ (Oil and Gas Journal) 統計（当年12月最週号）
- International Petroleum Encyclopedia（翌年の夏頃出版、OGJ社の前年末評価）
- BP Amoco Statistical Review of World Energy（翌年6月発行）
- World Oil（翌年8月号）
- International Energy Annual（翌年10月、米国エネルギー省DOEが公刊）
- OPEC Annual Statistical Bulletin（翌年11月発行）
- 20th Century Petroleum Statistics (DeGOLYER and MacNAUGHTON社が翌年12月に発行)
- 世界石油会議でDr. Mastersグループが過去四回発表した評価報告World Resources of Crude Oil and Natural Gas（1994年stavanger大会）
- その他には石油業界週刊誌、PIW (Petroleum Intelligence Weekly), WGI (World Gas Intelligence), MEES (Middle East Economic Survey) 等である。

これらの各種統計の中で一番歴史が古かつ石油産業界で汎用されている世界の国別埋蔵量や生産量に関する統計はOGJ社の年次統計であろう。現時点で最新のデータとして、表2に1998年末の世界の産油地域別の石油資源（NGLを含まず）の埋蔵量（可採鉱量）と生産量のOGJ評価値を示した。世界全体の原油の残存確認埋蔵量（または残存確認可採鉱量）は1兆160億バレルで、これを当年の年産量約242億バレルで割った可採年数（R/P Ratio）は42年となる。即ち、現在までの技術レベルと経済状況が続く限りでは2040年頃には採り尽くしてしまう程度と評価されている。こ

表2 原油資源総括表（1998年末現在）

	既発見 可採鉱量	累計 生産量	残存確認 可採鉱量 R (1998年末)		原油生産量 1998年			可採 年数 R/P	未発見 回収潜在量		究極可採 資源量		1, 2次 回収率 (平均)	原始 埋蔵量 (推定)
			億bbl	%	億bbl	%	平均日産		億bbl	%	億bbl	%		
アジア・オセアニア	559.4	359.6	199.8	2.0	14.1	5.8	385.1	14.2	452.4	19.8	1496.8	7.2	25.0	5987.0
中国	484.9	244.9	240.0	2.4	11.7	4.8	320.1	20.5	(アジア・オセアニアに含まれる)					
西ヨーロッパ	534.3	348.1	186.1	1.8	22.8	9.5	625.5	8.2	113.5	5.0	647.8	3.1	25.0	2591.0
FSU・東ヨーロッパ	2015.9	1425.6	590.2	5.8	26.4	10.9	723.1	22.4	1450.7	63.6	3466.5	16.7	27.0	12839.0
中東	9020.5	2264.2	6756.4	66.5	76.6	31.7	2098.8	88.2	-945.6	-41.5	8074.9	39.0	28.0	28839.0
アフリカ	1442.0	693.1	748.9	7.4	25.2	10.4	690.5	29.7	210.4	9.2	1652.4	8.0	27.0	6120.0
ラテンアメリカ	2193.3	1014.0	1179.3	11.6	34.5	14.3	946.6	34.1	516.5	22.6	2709.8	13.1	25.0	10839.0
アメリカ	1943.9	1733.5	210.3	2.1	22.8	9.4	625.2	9.2	973.4	42.7	2672.1	12.9	34.0	7859.0
カナダ	245.3	195.9	49.3	0.5	7.4	3.0	201.7	6.7	(アメリカに含まれる)					
世界合計	18439.2	8278.8	10160.4	100.0	241.5	100.0	6616.4	42.1	2281.2	100.0	20720.4	100.0	27.6	75074.0
OPEC合計	11461.6	3436.8	8024.8	79.0	101.6	42.1	2783.2	79.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
非OPEC	6977.6	4842.0	2135.6	21.0	139.9	57.9	3833.2	15.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

のOGJ評価のR/P値は近年の新技术革新の成果を反映して埋蔵量が追加される一方、世界の景気低迷から原油の生産量が低下したことにより大きいサイドに振れたに過ぎないと思われる。

一方、地球上の原油の究極可採量は前述の石鉱連の資源評価ワーキンググループ報告書によると中東の過大評価と思える過去の埋蔵量評価を見直し、堅めサイドをとり、究極可採量を2兆720億バレルと推定した。そうすると、未発見資源量はこの究極可採量から上記の確認埋蔵量と1998年までの累計生産量8,279億バレル（既発見資源量の44.9%に相当）を差し引いた残量として約2,281億バレル（そのR/Pは9.4年分）と推測される。

また、新しい技術革新と1995年頃での油価見通しの経済環境の下で期待されるEOR技術による追加回収量は石鉱連報告では1,700億バレル程度で、可採年数を7年延ばすに過ぎないと見られていた。しかし、最近の1999～2000年の10～30ドル/バレル以上の油価上昇状況の下では、EOR技術による追加回収量は大きく上方修正されるべきであり、したがって今後の石油の埋蔵量は新技术の研究・開発の戦略と石油を軸とするエネルギー価格の上昇如何で再評価されるべき流動的な数値と見なければならぬ。

世界の中でOPEC11ヶ国のシェアーは原油の確認埋蔵量が79%を占めるのに1998年の生産量は2,783万b/

dで、これは世界の42%を占めている。当面はOPECの生産量シェアーを40%程度に抑えることが石油消費国にとって大切であるが、非OPEC諸国の平均的R/Pが15年と短いのにOPECのそれは79年と保有埋蔵量が豊富であることから、21世紀にはOPEC諸国に依存せざるを得ない時期が到来しよう。この視点から石油から天然ガス、原子力、石炭へのエネルギー供給シフトは避けられないと見られるわけだ。

油・ガス田の埋蔵量規模の大小が地球上に偏していることは広く知られている。1982年のBill St. Johnの報告によれば、世界中に641個の堆積盆が分布し、このうち80個の堆積盆に巨大油・ガス田（埋蔵量が原油の場合5億bbl以上、ガスの場合3兆cf以上の規模）が発見されている。1986年発行のAAPG Memoir 40で、S. W. CarmaltとBill St. Johnは世界中の509個の巨大油・ガス田（埋蔵量が原油換算量5億barrel of Oil Equivalent以上）の埋蔵量リストを紹介し、これらの巨大油・ガス田の初期確認埋蔵量の合計は原油が8,554億bbl（評価当時の全世界の既発見総埋蔵量の50.5%）、ガスは3,085兆cf（全世界の45.6%）と報告した。

一方、Mobil Oil Corp.の主任地質技師R. E. Roadiferは、全世界で発見された約40,000個の油田数について原油確認埋蔵量の油田サイズによる賦存状況を報告した。（OGJ誌1986.2.24号）これらの内、1

表3 原油及び天然ガスの確認埋蔵量の上位20ヶ国（1998年末）

埋蔵量順位	産油国	原油 確認埋蔵量 億bbl	1998年 原油生産量 万b/d	可採年数 R/P年	1998年末の 生産井戸数	1坑当たりの 生産量 b/d	埋蔵量 順位	産ガス国	天然ガス 確認埋蔵量 兆cf	1998年 ガス商業 年産量 兆cf	可採年数 R/P年
1	サウジアラビア	2,590	802	88	1,560	5,141	1	ロシア	1,700	20.43	83
2	イラク	1,125	211	146	1,685	1,252	2	イラン	812	1.85	438
3	クウェート	940	180	143	790	2,278	3	カタール	300	0.74	405
4	UAE	922	191	132	1,200	1,592	4	サウジアラビア	204	1.70	120
5	イラン	897	360	68	1,120	5,294	5	UAE	196	1.35	145
6	ベネズエラ	726	312	64	15,580	200	6	米国	167	20.16	8
7	ロシア	486	592	22	104,150	5.7	7	ベネズエラ	143	1.11	129
8	メキシコ	478	307	43	3,507	88	8	アルジェリア	130	2.70	48
9	リビア	295	139	58	1,470	95	9	ナイジェリア	124	0.19	643
10	中国	240	319	21	72,255	4.4	10	イラク	109	N/A	N/A
	上位10ヶ国累計 世界中のシェア	8,699 86%	3,413 52%	70 —	203,317 22%	17 —		上位10ヶ国累計 世界中のシェア	3,885 75.5%	(50.23) 59.6%	(77) —
11	米国	225	625	10	563,160	1.1	11	マレーシア	82	1.53	53
12	ナイジェリア	225	213	29	2,250	95	12	インドネシア	72	2.54	29
13	ノルウェー	109	302	10	581	520	13	カナダ	64	5.95	11
14	アルジェリア	92	82	31	1,284	64	14	メキシコ	63	1.29	49
15	カザフスタン	54	53	3	11,715	4.5	15	オランダ	63	2.36	27
16	アングラ	54	73	20	509	1,434	16	クウェート	52	0.34	151
17	オマーン	53	90	16	2,298	39	17	中国	48	0.82	59
18	英国	52	263	5	1,440	1,826	18	リビア	46	0.23	201
19	インドネシア	50	131	10	8,661	15	19	ノルウェー	41	1.77	23
20	カナダ	49	201	7	48,258	4.2	20	エジプト	32	0.45	71
	上位20ヶ国累計 世界のシェア	9,662 95.1%	5,918 89.4%	45 —	843,473 91.9%	7.0 —		上位20ヶ国累計 世界のシェア	4,448 86.5%	(67.51) 80.2%	(66) —
	世界合計	10,160	6,616	42	917,815	7.2		世界合計	5,145	84.2	(61)

(注) サウジアラビアとクウェートは中立地帯の半量をそれぞれ含む

(出典) International Petroleum Encyclopedia 1999 Oil & Gas Journal 1999年12月21日号

にも満たない313個が5億bbl以上の巨大油田であり、その究極埋蔵量の総和は約8,300億バレルで全体の64%も占めると言う油田規模の偏在性を指摘した。さらに、これらの巨大油田の多くが中東地域を主としてOPEC産油国に極地的偏在している実態を指摘した。

表3を眺めると、1998年末の原油の残存確認埋蔵量の国別上位20ヶ国の産油国が保有する確認埋蔵量の総和は全世界の95%も占める。世界第1位の埋蔵量保有国はサウジアラビアで2,590億bbl即ち、全世界の25.4%を占める。第2位はイラクが1,125億bbl、これに続いてクウェート、アラブ首長国連邦、イラン、ベネズエラが940~720億bblの幅の中に並んでいる。1998年の世界の原油年産量は約242億bbl(6,616b/d, NGLを含まず)であり、これは第11位の中国の残存埋蔵量を地球上の1年間で消失するサイズである。

1998年末の天然ガスの資源総括表は表4にまとめた。この対象のガスは、先に述べた石炭連WGと同様に在来型ガス(Conventional Gas)のみを対象とした評価値である。すなわち、既発見埋蔵量(可採鉱量)は究極資源量1京1641兆cfの65.8%に当たり、残りが未発見量の3,982兆cfとなる。また、既発見埋蔵量のうち33%に当たる2,514兆cfが生産済みであり、残りの確認埋蔵量は5,145兆cfで、これをこの年の油・ガス田現場での井戸元生産量106.6cfで割るとR/P可採年数は48年である。また、未発見資源量のR/P可採年数は37年と推測され、合わせると天然ガスは今後85年と、ほぼ21世紀の終りまで供給が続くものと期待される。

ガス井から生産され現場で計量された天然ガスの井戸元生産量は現状かなり不明確である。生産量統計データに見られる生産量は販売された商業化ガス量と見るべきであろう。天然ガスには通常原油の生産に伴い生

産される随伴ガスと単一のガス田から生産される非随伴ガスがあり、これらを合計したガス量であるからだ。また、油・ガス田から生産された天然ガス量のすべてが市場に供給されるわけではない。井戸元より生産された天然ガスはガス処理プラントを通しNGLを回収することにより体積が減少する。また、商業的マーケットが遠い中東、アフリカ、南アメリカ地域ではエネルギー資源として利用されずに焼却されている場合が多い。また、油田の回収率を高めるため油層に再ガス圧入される場合もある。このため天然ガスの商業化率は井戸元生産量に対し、表4に示すように産油国、産油地域により、アフリカの平均40%からパイプライン網が完備している旧ソ連地域の96%まで大きく変化している。1998年の世界の平均的商業化率は79%である。すなわち世界の天然ガス商業生産量は年間84.2兆cfであるが、実際地下から生産された井戸元生産量は0.79で割って得られる106.6兆cfと推定される。OGJ統計やBP統計では、R/Pを求めるとき、この商業生産量で埋蔵量を割って、R/P可採年数は61年と余裕がある数値を発表しているが、厳密には誤りである。しかし将来は商業化率は限りなく100%に近づくであろうことを考えると余り問題とするべきことでもなからう。

天然ガスに関しては統計資料も乏しく偏在性の分析ができないがOGJ誌(1999.12.21号)の報告によると1998年末の残存確認埋蔵量の国別上位20ヶ国は表3のごとくなる。第1位は世界全体の5,145兆cfの33%を占めるロシアが群を抜いて1,700兆cfを保有している。商業生産量も年間20.4兆cfと世界全体の24.3%を占め、やはり第1位である。2位以下の天然ガス確認埋蔵量保有国は順にイラン812兆cf、カタル300兆cf、サウジアラビア204兆cf、UAE196兆cf、アメリカ167

表4 天然ガス資源総括表(1998年末現在)

	既発見可採鉱量		残存確認可採鉱量(1998年末)		天然ガス井戸元生産量(商業化率より推定)1998年			商業化率	天然ガス商業生産量1998年(推定値)			未発見回収潜在量		究極可採資源量	
	兆cf	兆cf	%	兆cf	兆cf	%	R/P		%	累計量		%	兆cf	%	兆cf
								兆cf		兆cf					
アジア・オセアニア	426.4	308.6	6.0	117.9	10.4	9.7	29.8	80.0	103.6	8.3	9.9	365.0	9.2	865.0	7.0
中国	73.6	51.0	1.0	22.6	1.2	1.1	41.9	67.0	21.4	0.8	1.0	(アジア・オセアニアに含まれる)			
西ヨーロッパ	372.2	158.6	3.1	213.6	10.6	9.9	15.0	90.0	205.2	9.5	11.3	189.8	4.8	562.0	5.0
FSU, 東ヨーロッパ	2665.0	2002.3	38.9	662.7	25.5	24.0	78.4	96.0	652.2	24.5	29.1	1726.0	43.3	4391.0	38.0
中東	1871.3	1750.0	34.0	121.3	13.0	12.2	134.3	51.5	79.7	6.7	8.0	579.7	14.6	2451.0	21.0
アフリカ	456.3	361.0	7.0	95.3	9.4	8.8	38.5	40.0	55.4	3.8	4.5	269.7	6.8	726.0	6.0
ラテンアメリカ	435.9	282.6	5.5	153.3	7.5	7.0	37.7	60.0	130.4	4.5	5.3	343.1	8.6	779.0	7.0
アメリカ	1151.3	167.2	3.2	984.1	25.5	23.9	6.6	79.0	937.9	20.2	23.9	501.1	12.6	1867.0	16.0
カナダ	214.6	63.9	1.2	150.7	7.0	6.6	9.1	85.0	142.1	5.9	7.1	(アメリカに含まれる)			
世界合計	7658.6	5145.2	100.0	2513.5	106.6	100.0	48.3	79.0	2327.7	84.2	100.0	3982.4	100.0	11641.0	100.0

(注) 天然ガス商業生産量は1997年、1998年の世界合計値 OGJ/BP=1.05をBP統計値(1998年)に乗じて筆者が推定した。

兆cfとつづいている。天然ガスに関しては、OPEC11ヶ国は世界の確認埋蔵量の約4割を占めているに過ぎないのでなら脅威に当たらない。1998年の井戸元ガスの総生産量は世界全体で106.6兆cfと推測され、それは10位のイラクの残存埋蔵量に匹敵するサイズである。また10位のイラク109兆cfまでの残存埋蔵量の累計は世界全体の76%を占め、また上位20ヶ国が保有する残存埋蔵量は全体の87%を占めることから、天然ガス資源もまた国別には偏在していると言える。

原油の場合、世界の総産油量のうち国際市場での流通量は53%であるが、Cedigazの報告によると、1996年の天然ガスの国際貿易量は年間15.1兆cfで総商業生産量83.6兆cfの18%に過ぎない。さらにこの国際貿易量の76%は国際間の広域ガスパイプラインによる輸送であり、海上のLNGタンカー輸送による貿易量は残りの24%に当るLNG年間7,260万トン（すなわち1,007億 m^3 、または3.56兆cf）である。わが国は世界の61%に当たる年間4,423万トンを輸入する世界一のLNG輸入国である。

近年になり、地球温暖化の低減に役立つ地球環境に優しい資源として天然ガスの需要が見直され始めている。また、もし環境税が導入されることとなれば天然ガスも石油に価格的に競合が可能となるかも知れない。21世紀に於けるエネルギーの需給を論ずる時、この天然ガスの需給拡大を抜きにしては考えられないと思われる。また過去の探鉱、開発、生産活動が稀薄であったために天然ガス資源に関する資源量、埋蔵量、井戸元生産量、商業利用量等の統計データ、分析評価レポートは米国、カナダ、ヨーロッパ地域を除くとかなり不明確であるので、今後天然ガス資源の評価に関しては非在来型ガス資源も含め総合的な見直しが必要である。

5. 未発見資源量と探鉱フロンティア地域

以上眺めた通り、石油資源量は地域的に偏在しており、残存確認埋蔵量の約67%は中東諸国により占められ、そのなかでもサウジアラビアが25%と群を抜いている。一方、油田規模による賦存状況を見ても全世界の油田数約40,000の0.8%に当たる313個の巨大油田（埋蔵量5億bbl以上）の持つ埋蔵量の総和は、既発見油田の総埋蔵量1.8兆bblの64%も占めてしまうように石油資源は埋蔵量規模により大きく偏在する事に注目すべきだ。近年の探鉱実績では、巨大油田の発見は少なく、中小規模油田が発見される確率が高くなってきている。ところで、新しい巨大油田の発見が年々難

しくなり、1970年以後毎年の新発見量は減少の傾向にある。世界最大の産油地帯である中東地域でさえ探鉱に着手して65年を経過して、巨大油田は発見し尽くされており、1975年以降は5億bbl以上の巨大油田の発見は希となった。従って中東地域以外で巨大油田を発見するためには、西シベリア、東シベリア、中央アジア、中国西域、中南米、西アフリカ沖合い等の未探鉱ヴァージン地域、人跡未踏の陸域僻地、深海域、極地・極海域の高コストの探鉱を余儀無くされるであろう。既存油田の埋蔵量の見直しによる新規埋蔵量の追加など油田成長要因も既に実施のところも多く、IORやEORのハイテク技術による採取率の向上も、将来の原油価格の高騰無しにはあまり多くを期待できない状況である。したがって、毎年250億bbl程度の世界の原油需要を補填するための原油供給量の一部は、数多くの中小規模油田の発見に頼らざるを得ない。事実、1986年以後の北海油田で見られるように、新技術の導入と石油操業体制の効率化や政府の税制優遇策などの相乗効果により生産コストの削減を可能とし、ここ10年余りの原油価格の低迷下でも、原油の供給量を増加、安定させた。

未発見資源量の評価は究極資源量の評価として平行して、未探鉱地域の堆積盆について地質学的、地化学的、堆積学的に推定されるべきものであり、また、石鉱連が先に発表した究極資源量が原油約2兆bbl、天然ガス約1京cfというものも決して専門家のコンセンサスを得たものとは言えない。しかし、大体の50%の確率で考えるならば、この程度の究極資源量を想定するのは妥当とは考えられよう。仮に究極資源量が地球上のあらゆる堆積盆441個をくまなく検討の上、推計したものであるならば

〔未発見資源量〕 = 〔究極資源量〕 - 〔残存確認埋蔵量〕 - 〔累計生産量〕として推定できる。

従って、1998年末の世界全体としては、

〔石油の未発見量〕 = 2兆720億bbl - 1兆160億bbl - 8,279億bbl = 2,281億bbl（究極の11%）

〔ガスの未発見量〕 = 1京1,641兆cf - 5,145兆cf - 2,514兆cf = 3,982兆cf（究極の34%）

未発見資源のうち、今後巨大油田を発見するためには、極めて厳しい地勢・気象条件の僻地、極地および深海域のいわゆるフロンティア地域に進出しなければならない。これらのフロンティア地域で期待されるハイコスト原油の埋蔵量は1,870億bbl程度と推定される。これらの内訳は、海岸より500m以上の内陸僻地に220

億bbl, 北緯60°以北の陸地に180億bbl, 極海域に1,120億bbl, 更に水深500m以上の深海域に350億bblの石油埋蔵量が期待されている。極地・極海においてすでに185億bblの原油が発見済みである。このうち大きな油田はアラスカのノーススロープのProdhoe Bay (95億bbl), Kuparuk (12.5億bbl) 他また, カナダのボーフォート海のマッケンジーデルタにKoakook (12億bbl) やKopanoar (5億bbl) 他, カナダ東岸にHibernia (18.5億bbl) の他, Cook InletにMcArthur River (5.5億bbl) 油田等が含まれる。いずれにせよこれらのフロンティア地域における探鉱・開発については, 今後の油価の上昇と新技術開発の進展に負うところが大きい。表5は北極海において推定される炭化水素ポテンシャルを示す。北極海の陸棚の約75%は旧ソ連の経済水域に属するので, 旧ソ連のポテンシャルは米国, カナダよりもはるかに大きいと推定される。自由圏の海洋極地全体の未発見ポテンシャルとしては, カナダ, アラスカの北極海は最も有力と考えられるが, ノルウェー沖合や南米のアルゼンチン, チリ沖合でもある程度のポテンシャルを期待することができる。また, 自由圏の深海部で期待される未発見ポテンシャルとしては米国のメキシコ湾, 米国・カナダの東海岸沖の深海部が最も有望と考えられるが, 最近ではメキシコ, ブラジル, 西アフリカ等の沖合い水深1,000~3,000mの深海部においても, 数10億バレル級の巨大油ガス田が確認されているので今後注目されたい。

表5 北極海の炭化水素のポテンシャル

	Oil (億bbl)	Gas (兆cf)
バレンツ海 (ソ)	250	250
カラ海 (ソ)	300	300
ラプチェフ海 (ソ)	70	70
東シベリア海 (ソ)	100	100
チャクチ海 (ソ)	30	40
チャクチ海 (米)	20	30
ノーススロープ・ボーフォート海 (米)	100	60
マッケンジーデルタ・ボーフォート (加)	250	200
計	1120	1050

6. 非在来型石油・天然ガス資源のポテンシャル

21世紀において在来型石油資源が枯渇した後に期待されているポスト石油資源が非在来型石油・天然ガス資源であり, それらの膨大な量の賦存はカナダ, ベネズエラ, アメリカ, 中国で昔から確認されていた。しかし採掘方法が実用化されておらず, 採算性も極めて

悪いことから非在来型資源と呼ばれて来た。また石油を抽出した後の残渣が地球環境を阻害するため今までは商業化は一部の地域に限られていた。

6.1 超重質油およびタールサンド

現在商業規模で開発・生産されている原油は, 通常API比重20度 ($0.934\text{g}/\text{cm}^3$) 以上で流動性を持つ油に限られている。しかしベネズエラで一部商業生産が行われているオリノコ・タールは貯留層内での粘度が $100\sim 10,000\text{mPa}\cdot\text{s}$ ($=\text{cp}$), 密度がAPI20度~10度 ($1\text{g}/\text{cm}^3$) の範囲の超重質油 (Extra Heavy Oil) であり, 非在来型石油資源の範疇に含まれてきた。また, カナダで一部商業生産しているオイルサンドあるいはタールサンドと呼ばれる天然ピチューメンは, 地下鉱床内の温度, 圧力で粘性が $10,000\text{mPa}\cdot\text{s}$ ($=\text{cp}$) 以上で密度が $1\text{g}/\text{cm}^3$ 以上の半固体状で存在し, 硫黄分に富んだ炭化水素資源の総称である。

天然ピチューメンとはいったん出来た原油が地殻変動で地表近くに露出して軽質や中質の炭化水素成分が揮発作用によって抜けてしまった残りの半固体状残渣油のようなものである。鉱床は南極大陸を除く全大陸に分布し, ほとんどの上質な鉱床は深度3,000ft以下の高浸透率 (1~数darcy), 高孔隙率 (30%程度) および固結化の程度が弱い砂岩層に貯留されている。油飽和率は50~80%と高く, また層厚は50~数百ftである。

カナダのアルバータ州のアサバスカ地域でタールサンドが1967年に最初に露天掘り方式により商業生産が行なわれた対象鉱床 (被覆深度が150ft以下, 含油率5wt%以上, 被覆層厚/油層の層厚比が1以下) の回収可能量は265億バレル (回収率36%) と推定された。また, 被覆深度が150ft以上オイルサンドには, 油層内熱攻法を採用することにより, その回収可能量は1,150億バレル (回収率14%) と当時推定された。

近年の開発, 生産状況を眺めると, 生産量は7倍に急増しており, 1995年にはヘビーオイル及びタールサンドからの改質した合成原油 (Synthetic Crude) を46万b/d生産している。このうち露天掘り方式が34万b/d, 油層内熱攻法が12万b/dとなっている。カナダの1995年の原油生産量は180万b/dと報告されており, このうち26%が合成原油で占められるようになった。なお, このほか天然ガスから回収されるNGLの生産量は58万b/dであるので, これを含めたカナダの総石油生産量は238万b/dにも達している。

カナダにおけるタールサンドからの原油生産量の急

増は、SAGD (Steam-Assisted Gravity Drainage) の成功に因ると言われる。SAGDでは油層内の上部に位置する水平坑を通し水蒸気を連続に圧入する。水蒸気のゾーンはゆっくりと四方に膨脹し、熱伝導により周辺のピチューメンを流動化させ、重力により地層の底部に位置する水平坑に排油する。アルバータ州のタスクフォースの評価では、カナダ内の原始鉱量は1.7兆bbl、露天掘りによる回収率を90%、油層内回収法 (in situ) による回収率を70%と仮定すると、可採鉱量は3,400億bblと見積もられ、現行の技術と経済条件下で約40億bblが商業生産可能と推定された。2020年には生産量は120万b/dまで拡大するものと見込まれている。

一方、ベネズエラのオリノコヘビーオイルはカナダに比べて油層深度が600~3,000ftと深いため露天掘りは不可能である。Roadifer (1986) の報告ではその原始鉱量は約1.2兆bblであるが、1997年にベネズエラの国営石油会社PDVSAが発表した評価によれば、主要埋蔵地域からの確認可採鉱量は約2,400億bblと見積もられ、これに中・軽質油の730億bblを加えた合計3,130億bblである。政府の生産計画では現行の371万b/dを2006年に620万b/dに増産し、その内オリノコヘビーオイルは66.5万b/dに増産する予定である。このオリノコヘビーオイル70%に界面活性剤と水を30%添加した発電用燃料用のオリマルジョン (Orimulsion) の生産量は1995年に年産550万トン (約10万b/d) に近づいている。PDVSAの計画では、2000年までに年産1,500万トン規模に拡大する計画だ。参考のためベネズエラの1995年の原油生産量は258万b/dでNGL生産量は30万b/dである。

タールサンドのコスト指標としては、カナダの露天掘りの生産コストは1995年で13.7C\$/bbl (10.1US\$/bbl) とかなり高いが、今後の技術進歩により30%程度のコスト削減を狙っている。地中熱回収法で最大規模を誇るImperial Oilの場合は1986年当時の生産コスト7.1C\$/bblから操業の最適化により1994年では4.5C\$/bbl (3.3US\$/bbl) まで37%もコスト削減に成功した。一方、ベネズエラのオリノコタールサンドの抽質、改質原油の生産計画でConoco/Maravenの見積もりでは、プロジェクトの生産フルコストは3.5~4.8\$/bblで、生産コストは2.2~3.0\$/bblとかなり楽観的な見通しを得た。

6.2 オイルシェール

この他に、ケロジエンを多量に含む泥岩でありなが

ら、埋没深度が浅いため十分な地熱による熱分解を受けず油やガスになる前のケロジエンに富む泥質堆積岩である油母頁岩すなわち、オイルシェール (Oil Shale) と呼ばれる炭化水素資源もある。オイルシェールは採鉱、粉碎、乾留、改質の熱乾留プラントに通すことにより合成原油 (Synthetic Crude Oil) が回収される。通常、岩石1トンあたり10ガロン (38liter/ton) 以上の合成原油が回収される泥質堆積岩をオイルシェールと称し、米国では含油率によって品位をさらに細分している。特に含油量が150liter/ton以上、層厚が1.5m以上の低コスト採掘が可能である高含油オイルシェール鉱床はアメリカのピアンズ・ベースン鉱床を筆頭に世界で15ヶ所が発見されている。採鉱段階では石炭と同様に、埋没深度が深い場合には柱房法、浅い場合は露天掘り法がとられる。オイルシェールは灰分が多いため、乾留の後には大量の残渣を生じ、この処理が環境規制上問題となっている。

近年パイロットプラントを建設してシェールオイルを生産したプロジェクトとして、米国コロラド州のGreen River Formation (深度50m、層厚3m、含油量が150liter/ton) を開発したUNOCAL社は、1989年に6,000~6,500b/dの合成原油を生産したが、そのパイロットプロジェクトも採算性が悪いため現在、すべて生産が中止された状態である。

オイルシェール資源は世界各地に分布するが、その資源量は依然正確に把握されていない。世界石油会議におけるアメリカのUSGSの1996年末評価報告によると、オイルシェールの確認された原始鉱量は約2,100億トンに対して平均回収率6.3%で確認可採埋蔵量は134億トン (約980億バレル) と報告された。1996年の生産実績は、エストニアで年間343千トン (約6,900b/d)、ブラジルで4,000b/d、中国で1,200b/dまたロシアでも小規模な生産が行なわれている。かつて1983年の世界エネルギー会議での報告では、オイルシェールの潜在的資源量は世界の65%が米国に賦存し、次はブラジルに約25%で両者で世界の90%を占めていると言われ、可採鉱量に関しては、世界全体で6,027億bbl (内訳は旧ソ連を含む欧州: 43.6%、北米: 36.6%、アフリカ: 10.3%、アジア: 4.9%、オセアニア: 4.0%、南アメリカ: 0.5%の順) と報告された。振り返れば1986年以降の油価低落でオイルシェールは全く見捨てられて来たので21世紀の資源として今後見直す必要があろう。

最近商業化が計画されているオイルシェールプロジェ

クトは、オーストラリアのEast QueenslandでSouthern Pacific Petroleum社とCentral Pacific Petroleum社のStuart Oil Shale Projectである。原始鉱量 (in situ) ベースで280億bblと推定され、パイロット試験の結果、カナダのAostraがタールサンド用に開発したTaciukプロセスを採用する。プロジェクトの総投資額は16.5億\$ (1993) と見込まれ、第一段階は1999年後半に日量6,000トンのシェールから4,500バレルの油を回収するデモプラントの稼働を計画し、最終ステージでは85,000b/dの合成原油を生産コスト6.5\$/bblで生産することを目標としている。

6.3 非在来型天然ガス資源

天然ガス資源の場合、メタン (CH₄) の供給源の観点から見ると、石油より多様で、もし技術的にまた経済的に許されれば、膨大な回収量のメタン資源の存在が確認されている。これらを非在来型天然ガス資源 (Unconventional Natural Gas Resources) と総称し、在来型の原油、天然ガス資源の枯渇後の資源としてその活用が21世紀の後半には注目されよう。非在来型天然ガスには、①タイトサンドガス (またはタイトガスサンド、広義にはタイトフォーメーションガスとも称す)、②コールベッドメタン、③シェールガス、④地圧水溶性ガス、⑤メタンハイドレート、⑥地球深層ガス、⑦バイオマスガス、⑧沼沢池ガス等がある。このうち始めの3つが、現在米国において商業規模の生産が進行しているが、これらの資源量の世界的分布は未だ知られていない。

米国では税制優遇措置 (Section 29 Tax Credit) により、1992年までに掘削されたガス井から生産されたガスについては、コールベッドメタン及び頁岩層ガスで概ね\$ 1/Mscf、タイトサンドガスは\$ 0.5/Mscfの税制インセンティブを与えることによりガス生産を助成した。これは当時の米国内におけるガス価格上昇以前の価格レンジの30~50%分に相当した。この効果が表われて、1994年の米国における非在来型天然ガスの年間生産量は3.6兆cf (日本の年間ガス消費量は約2.4兆cf) で、これは米国の天然ガス総生産18.3兆cfの20%に達している。種類別の内訳は、①タイトサンドガスが2.49兆cfで69%を、②コールベッドメタンが0.858兆cfで24%を、③頁岩層ガスが0.259兆cfで7%を占めている。このように1990年以降で米国の天然ガス生産量の増加はほとんど非在来型ガスの生産増加に拠っており、とりわけコールベッドメタンの急増

は注目に値する。

以下に非在来型天然ガス資源の概要を紹介する。

①タイトサンドガス (Tight Sand Gas)

地殻深部に位置する孔隙率は5~15%、水飽和率は30~70%、浸透率が0.1md (ミリダルシー) 以下の低浸透性白亜紀の砂岩が高圧縮メタンを多量に埋蔵している。西カナダのDeep Basinから米国のSan Juan Basinまでの広大な地域に堆積盆が広がっている。水圧破砕技術 (Hydro Fracturing) により生産を可能と出来る。将来のガス価格の上昇と回収技術の進歩や税制優遇策によりアメリカ、カナダでは商業生産の対象として期待される。1991年のOGJ報告では、米国内の原始埋蔵量は622兆cfと推定され、1994年現在の確認埋蔵量は32兆cfに対して、12万本余りの井戸から年間2.5兆cfの商業生産が行われた。

②コールベッドメタン (Coal-bed Methane)

石炭層の割れ目や、浸透性を有する微細な孔隙内に集積した石炭紀源のメタンである。米国ではアラバマ州のBlack Warriorやニューメキシコ州のSan Juan Basinで商業生産を奨励するため、1990年末までに掘削した井戸から生産したガス1Mcfに対し89セントの税制優遇措置 (Section 29 Tax Credit) を実施した。1989年末では1,500~1,600坑の井戸から年産0.093兆cf程度であったが、94年には6,300坑から0.858兆cfと急増した。米国内の推定埋蔵量は原始で400~900兆cf、可採で90兆cfと言われ、1994年時点の確認埋蔵量は9.7兆cfである。近い将来には年産1兆cf、即ち米国内天然ガス消費量の5%程度を賄う当初の計画が達成されるであろう。わが国でも既に廃鉱した旧炭田から水平坑井技術を利用してガスを回収できないものか調査研究を行なうべきであろう。

③シェールガス (Shale Gas)

米国東部のケロジエンを多量に含む細粒で緻密な堆積岩のAppalachian堆積盆地に広く分布している頁岩 (Devonian Shale) には天然のフラクチャーが発達しており多量のメタンガスが埋蔵されている。DOEの1988年報告では埋蔵量は原始で800~1,900兆cf、可採で31兆cfと推定された。1994年の年産量は約22,000本の井戸から0.259兆cfで国内総ガス生産量の1.3%程度である。1995年現在のMichiganおよびFort Worth Basinのシェールガスの発見、開発コストは各々0.65\$/Mcf、0.60\$/Mcf程度と報告された。

④地圧水溶性ガス (Geopressured Gas dissolved in water)

米国のメキシコ湾岸には深度10~25千フィートの異常高圧地層水 (Brine) 中に溶解したメタンが多量に賦存する。貯留層は断層や頁岩で分断またはシールされ、個々の容積の規模は大きくない。大深度高圧下ではガスの容積係数が大きいので地表でのガス量は計り知れない。これを採取するためには、大深度高温掘削技術の向上とコスト削減が鍵となっている。多量の水を汲み上げる必要があるが、その地熱もエネルギーとして地域暖房に使えるもの、地盤沈下を防ぐため生産した水を水層に再圧入しなければならず今のところ商業化は困難である。米国のDOEの推定原始埋蔵量は5,700兆cfであり、Texas沿岸陸上部に32%、Louisiana沿岸陸上部に22%、TX/LA沿岸大陸棚に46%が賦存すると見られる。

⑤メタンハイドレート (Methane Hydrate)

最近、新しい天然ガス資源として、わが国の資源エネルギーの調査研究予算が付き注目され始めた『メタンハイドレート』とは、メタンが低温高圧の地中または海中に水の分子と結合したシャーベット状の炭化水素の水和物で、クラスレート (包接体) の一種である。水分子が大きな内部空隙を持った籠状の格子を作って配列し、この空隙をメタン分子が満たして結晶構造が安定している。西シベリアのMessoyakhaガス田の深度250~870mで採集したハイドレート試料が1972年に報告された。また最近の報告によると、米国の地質探査会社「ジオエクスプローラーズ・インターナショナル社」が南米コロンビア、メキシコ湾、カナダ北極海、アリューシャン海溝など12ヶ所で水深千メートル以深の海底にも数10mの厚さのハイドレート層を確認した。これらの層の低部限界は地震探査の記録にBSR (Bottom Simulating Reflection) として判読さる。日本周辺では、南海トラフ、千島海嶺、奥尻海嶺等が有望視されている。またガスハイドレート層の直下にはフリーガス層の存在も確認された例もある。もしも低温深層の掘削技術とハイドレートの採取方法が研究

開発されれば、その資源量は世界の陸域で500兆cf、海域で8,750~17,000兆cfと、在来型ガスを超える大規模なガス資源量となろうとわが国の地質調査所は推定している。

⑥地球深層ガス (Deep Earth Gas)

米国のコーネル大学の天文学教授であったトーマス・ゴールド博士が1987年に出版した「Power from the Earth」と題する書物で地球深層ガス説を提唱した。彼は従来の定説である石油系炭化水素の生物起源説に対立する宇宙起源説を唱えた。46億年前の地球生成時から地球には本来最も単純な炭化水素であるメタンが封じ込められた。このメタンはその後の地質形成年代を経てゆくりと熟成しつつ上昇移動し、高次の炭化水素に重合して天然ガスとなった。さらに、より高次の重合が進むと原油に熟成して石油鉱床が形成されたものと推論した。現在でも10~20kmの深層にメタンが高圧下で封じ込まれているメタン鉱床が存在し、仮に深度21,000mで1cfのガスが地上に採り出されると容積が1,000cfにも膨脹することになり、その資源量は計り知れない。この仮説を裏付けるための実証調査として、スウェーデンでは隕石が落下して出来たクレーターとして名高いシリアンリングで深度23,000mを目標にしたテスト掘削を数年にわたり実行したが、掘削資機材上の問題と資金の限界に直面し、この計画は断念された。今だゴールド説を実証するための超深度ボーリングは成功していない。

⑦バイオマスガス (Biomass Gas)

バイオマスとは「生物量」を意味し、現在利用可能なバイオマスは砂糖きびの糖質作用、海草、クロレラ、ゴム植物、椰子、アオサゴ、ユーカリ等が腐敗して発生したガスを採取する。

⑧沼池ガス (Swamp Gas)

熱帯、亜熱帯の沼沢地から放散されるメタンガスを採取する。近隣地区の燃料に利用するのみで資源量も微量である。