

北東アジアの天然ガス資源と 今世紀日本のエネルギー問題

真 柄 欽 次

1. 21世紀のエネルギー展望
2. 石油と天然ガスの供給
3. 石油、天然ガス鉱床の形成
4. 石油と天然ガス埋蔵量の評価
 - A. 既発見量の評価
 - B. 未発見量の推定
5. 天然ガス貿易
6. アジア地域のパイプライン網建設とLNG輸入
7. 日本の長期エネルギー計画における天然ガスの重要性

1. 21世紀のエネルギー展望

化石燃料から太陽熱、風力、波力、潮力、地熱等の自然エネルギー利用への道は人類の夢であるとはいえ、その実現にはいくつかの困難がある。その第一はこれらのエネルギー資源が日照時間や季節や天候によって大きく支配されること。第二にそれらの問題を解決する為の国際的なネットワークが出来ていないこと。太陽熱について言えば、宇宙にステーションを作ればほぼ無限のエネルギーが得られると考えられるものの、そのエネルギーを地球に運ぶ手段については、今だ構想の段階にあること（マイクロウエーブによる方法が可能であると言われる）。そして、第三に既存のエネルギー業界を守る勢力により、これら新エネルギーの「コスト高」、「不規則性をバックアップする為の施設の必要性」等々の理由に基づく否定論がある。しかし、地球温暖化防止の為の、二酸化炭素排出削減などについての真面目な討論がなされ、クリーンエネルギーについてのもっと公正な評価がなされれば、前進する可能性のある自然エネルギーへの移行も西ヨーロッパ諸国を除き、進展が遅い。

究極的な自然エネルギーへの変換へ至る一過程として、石油から天然ガスへの移行が話題になっている。石油とガスは同じ海生生物から出来たにもかかわらず、分子のサイズが

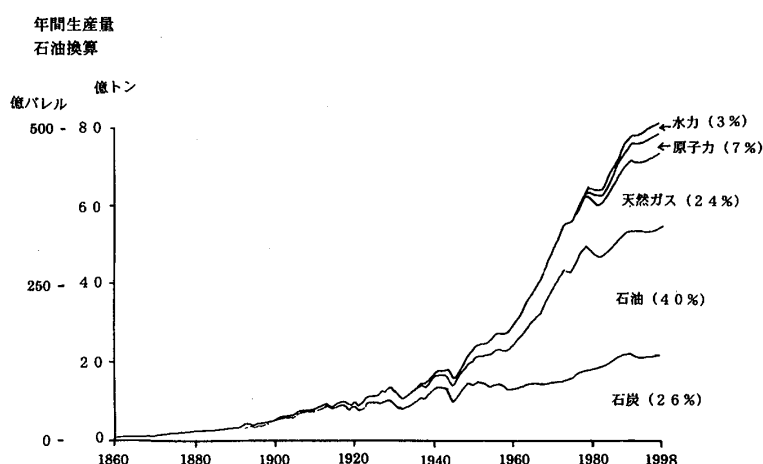


図1 世界のエネルギー供給の推移
(注¹⁾の図に追加、修正)

小さい天然ガスに含まれる炭素、硫黄、窒素は石油より少ない。したがって、ガスを燃焼した時に出るエアロゾル（粉塵）、SO_x、NO_xも少ない。水素を原料とする燃料電池発電はクリーンエネルギーであるが、水素の製造、輸送、安全性等々問題が残されている。水素を多く含む天然ガス（とくにメタン、CH₄）を水素時代への過渡的な燃料として、重要視するむきがある。現在、自動車や石油業界は究極のハイドロジェン（水素）車への移行を狙うGMやシェルグループと、ハイブリッド（ガソリンと余剰動力による発電駆動）車、天然ガス車を通過して水素に移行しようとするトヨタグループに分けられる。

2. 石油と天然ガスの供給

第一次産業革命の原動力となったエネルギー資源は石炭であり、第二次産業革命のそれは石油であり、1990年代に始まった情報産業を中心とした第三次産業革命は人類の歴史上初めてのエネルギーレス革命とも言われる。情報化が進み、物資の効率的生産、流通、販売が可能になり、人間の移動の効率化も進んで無用な移動が無くなれば、資源、エネルギー節約的となる。しかし、途上国を中心とした人口増加と産業化によって、エネルギーの需要増加は止まるところを知らない。1950年代までは世界的に見て、年3000万トン（石油換算）程度のエネルギー総需要増加率であったが、1960年以降は年1億2000万トン（石油換算）を越える率で増加を続けている（図1）。1960年における世界の総人口は約30億人（現在の半分）で、40年間に人口は倍増した訳であるが、同じ期間にエネルギー総需要も30億トン／年から80億トン／年に増加した（図1）。この需要の伸びを支えた主役達は石油と天然ガスで、とくに1980年以降前者の伸びが停滞したのに比べて、後者の伸びが大きかった。地球環境を守るためには、究極的には太陽熱、風力、地熱、波力、潮力等々の自然エネルギーへ移行しなければならないが、当面は化石燃料や原子力に依存しなければならないであろう。

1998年現在の世界の一次エネルギー源は石油約40%、石炭26%、天然ガス24%、原子

力7%、水力3%であるが(図1)、石炭はゆるい量的増加は見られるものの、全体におけるシェアは減少し、その分天然ガスの使用が増加する傾向にあるのは、後者が環境保護上優れている事に外ならない。1998年現在のアジアの石油需要は世界のそれと同等(39%)であるが、石炭のシェアは44%と高く、天然ガスは10%と低い。アジアの石炭シェアが高い主な理由は中国70%、インド40%などによるが、アジア地域とくにロシア国内の天然ガス埋蔵量が大さきのと中国西部、新疆タリム盆地での可能性の高さから、ガスが石炭に置き換わる傾向は早まるものと考えられる。石炭は石油に比べて約7倍の硫黄酸化物(SO_x)、約2倍の窒素酸化物(NO_x)を発生するが、天然ガスは石油よりもクリーンな燃料である²⁾。エアロゾル(粉塵)の発生においても、天然ガスが最も少なく、従って環境上優れている。

世界的な石油と天然ガスの総量(累計生産量+埋蔵量、石油換算)では前者が少し多い(表1、石油2.659兆バーレル、ガス2.249兆バーレル)が、累計生産量は石油の20%に対してガス7%である。したがって、残存するエネルギー量としての埋蔵量は両者間に大差はない。

石油産業の発展に最も貢献してきた米国は世界の石油総量のたった12%を保有しているだけであるが、そのほぼ半分(47%)が既に生産済みであり、残存量はすくない(表2)。現時点で米国は約60%の石油輸入国であるが、将来の輸入量は増加し続けるであろう。いずれにしても、この国が現代のスーパーパワーである事実を考えれば、米国の国際エネルギー問題への影響は絶大であると考えられる。

世界の確認石油埋蔵量のうちの約3分の2が中東地域にあるのに反して、天然ガスは約40%が旧ソ連に存在する。1992年以来石油輸入国である中国においても、新疆タリム盆地で多量の天然ガスが発見されている事から、天然ガスに関しては従来の中東依存ではない、アジア大陸中心のエネルギー安定供給が可能になる見込みがある。

3. 石油、天然ガス鉱床の形成

石油の成因説には、旧ソ連の学者を中心とした無機成因説とアメリカ、ヨーロッパなど自由世界の学者達による有機成因説があったが、1990年代はじめの計画経済の崩壊と同時に無機成因説も崩壊した。と言うと、まるでアメリカのスーパーパワーが無機成因説まで旧ソ連製であるが故に、抹殺したかの如き誤解を生みかねないが、実際は、多分政治的理由により、実証されていない無機成因説を無理に押し進めた事に問題がある様である。無機成因説の中心であったマグマ成因説を証明するために数年かけて掘った5000~6000m級の深井戸は悉く失敗した。

プランクトンなどの有機物の死骸が地下に埋没し、熟成した結果石油や天然ガスが生成されたとする有機成因説にはいくつもの科学的証拠がある。大量の有機物を含む厚い母岩と大油田の存在との間の関係も密接である。有機物からの石油、ガスの生成には温度と時間(地質時代)^{3) 4)}の積が関わっていたと考えられるが、これらは深度とともに増加する

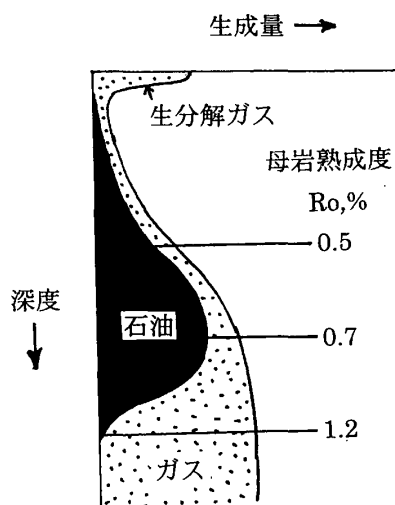


図2 石油と天然ガスの生成を示す概念図

母岩		移動説			
孔隙率 ϕ %	熟成度 R_o %	藤田 (1977)	Tissot- Welte (1978)	Magara (1978)	相場 (1979)
70			移動量 --- 水に溶解	移動量	移動量
30	0.5	石油生成	(油相)	(油相)	
	0.7	石油の異常帯 の負	生成率 盛期	生成率 盛期	生成率 盛期
10	0.7	ガス生成	移動機構 (有効浸透率)	油の (有効浸透率)	(有効浸透率)
	1.2		生成量 盛期		

図3 石油の熟成度と移動時期を示す概念図 (本文参照)
(注⁵) の図を修正)

ので、図2に示すとおり生成状態は深度に対して表示できる。ただ、温度勾配が低かったり、地層が一般に若い地域においては産油ゾーンは深くなる。

図2によると、ごく浅い深度でバクテリアによる有機物の分解により、メタンガスが発生する(生分解ガス)。このガスは高温下で熟成される石油系ガスではなく、しかも量が少ない。一方深部では地熱によって、主に海成生物(植物性と動物性プランクトンを含む)の死骸が熟成され、石油系炭化水素が生成される。有機物は主に炭素、水素、酸素から成るが、地下深部の無酸素状態の下では脱酸素化が起きる。その結果、炭素と水素を主成分とする炭化水素(Hydrocarbons)が生成される。この化学変化の初期には高分子の炭化水素(石油)ができるが、温度と深度が増加するにつれて、石油母岩と石油そのものから低分子の天然ガスが生成される(図2)。高分子から低分子を作るプロセスは丁度精油所で需要の少ない重質油からガソリンを脱酸素状態で作るクラッキングに似ている。ただ、精油所では経済性を重視してガソリン製造まででプロセスを中止するが、自然のクラッキングは止まる事を知らず、天然ガスを生産し続ける。母岩の熟成度を示すのに有機物に照射された光の反射率(Vitrinite Reflectance, R_o , %)が使われている。0.5% R_o から0.7% R_o のゾーンで石油が出来、それ以上の R_o でガスが生成される事が分かっている(図2)。

良質で、かつ大量の有機物が熟成すると石油ができ、その石油がさらに高温に晒されるとガスになる。また、質の悪い(しばしば陸成の)有機物が地下深く埋没すると、石油ではなく、ガスのみが発生する。つまり、母岩の良否にかかわらず天然ガスは熟成の究極的な産物である。

石油やガスの母岩から貯留岩への一次移動問題は、おそらく石油地質学の最も困難な問

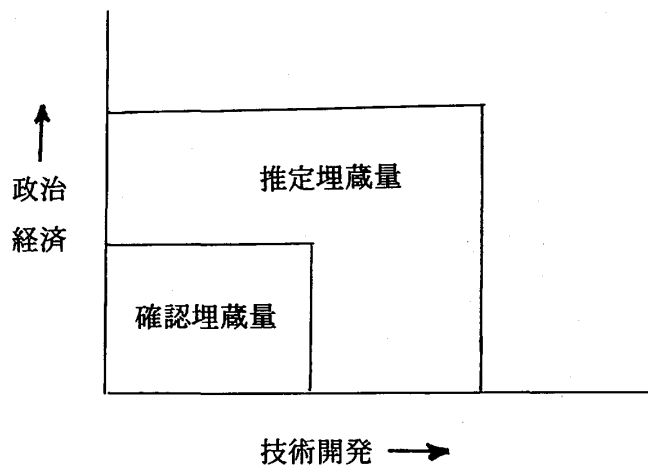


図4 石油、天然ガス埋蔵量が政治的、経済的ファクターと技術的ファクターによって影響される事を示す概念図

題の一つである事が「世界の大油田」(石油学会編)⁵⁾と、藤田⁶⁾、Tissot-Welte⁴⁾、Magara⁷⁾、相場⁸⁾などの論文に記述されている(図3)。Tissot-Welteによる後期移動説に対し、藤田、Magara、相場等は生成初期における一次移動を提案している。前者による移動説はガスの生成に伴って生ずる母岩のマイクロフラクチャー(割れ目)が炭化水素移動のルートになるが、同時にフラクチャーは炭化水素の逃げ道をも提供する。つまり、Tissot-Welteによる移動説は問題解決と同時に、新しい問題を提起する説となる。他の3つの移動説によれば、炭化水素の生成直後に移動が起こり、鉱床が形成される。

4. 石油と天然ガス埋蔵量の評価

図4に示す通り、鉱物資源の量(埋蔵量)は政治、経済的要素(縦軸)と技術的要素(横軸)に影響される。政治的インセンティブや価格の上昇は鉱物の探査を活発化し、既に存在している鉱床からの生産も活発にする。これらは普通、生産量と埋蔵量の増加を促す。一方、価格が低迷すると、鉱物として価値のある量(埋蔵量)も減少する。技術開発はより困難な状態(深い深度、海洋、寒冷地、砂漠、僻地など)での石油やガスの発見を可能にする。物理探査法の改良や掘削、坑井仕上げ、生産方法の改善は単に不可能を可能にするだけでなく、探査と生産のコストをも引き下げる。従って埋蔵量が増加する。

埋蔵量評価の方法にはいくつかあり、それぞれ長所と短所があるので、いくつかを組み合わせることにより信頼できる結果を得る。

A. 既発見量の評価

発見済みの油田やガス田については、その大きさ(広がりとおよの厚さ)、油層の平均孔隙率、石油(ガス)飽和率、回収率を掛け合わせて得られた地下における量を地上状態に変換(圧力と温度の違いを補正)することによって求められる。この方法は容積法と呼ばれるが、技術的に一番不明な点は回収率である⁹⁾。一般的には石油のそ

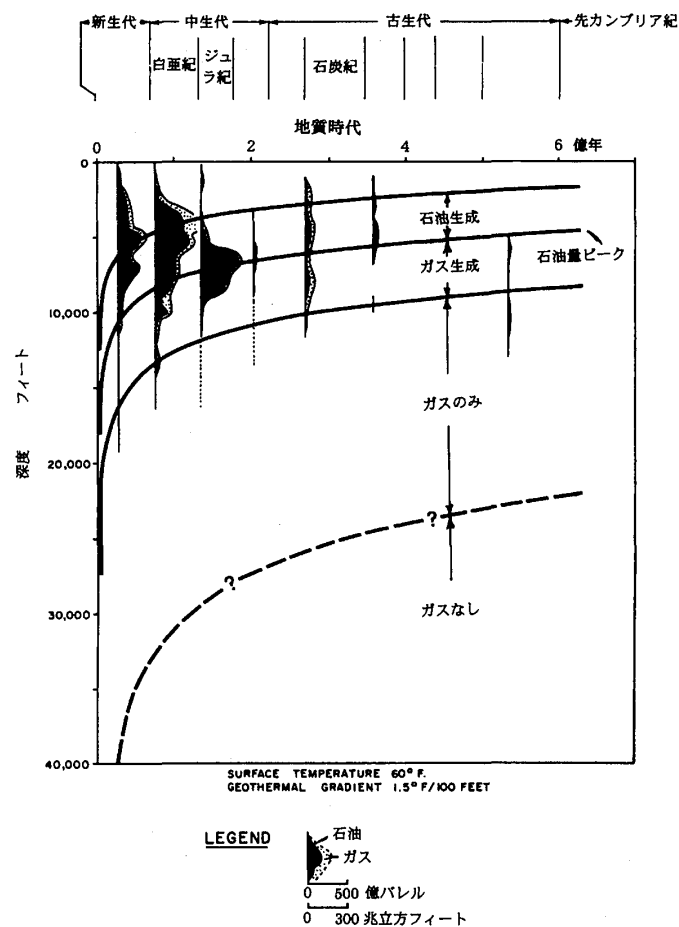


図5 世界の巨大油ガス田の埋蔵量を深度と地質時代に対してプロットしたグラフ

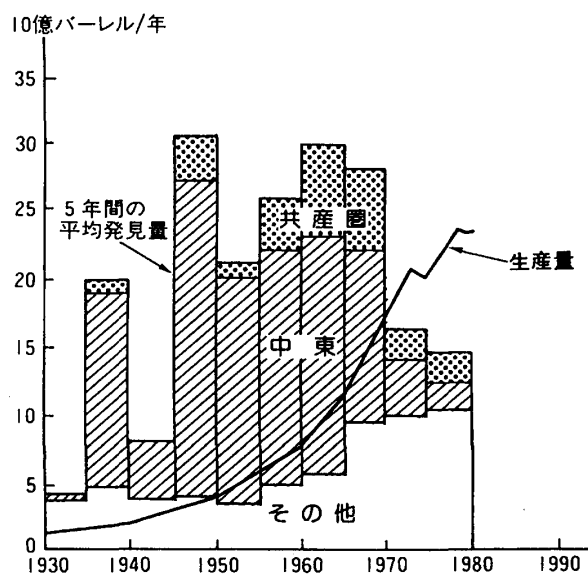


図6 世界の石油生産量と新規発見量

出所: Exxon "World Outlook (1980. 12) 15)"

れは30%程度と考えられるが、良好な油層の回収率はもっと高い。石油の価格が高ければ、二次、三次回収などコストのかかる方法により、回収率を上げることが出来る。つまり、埋蔵量は値段によって変化する。ガスの回収率は50%以上（しばしば70～80%に達する）と考えられる。

第二の評価法は生産井のパフォーマンスに基づく方法である。通常、石油やガス井は初期の生産量（日産または月産）が多く、時間の経過と共に減少する。減少率が少ないほど多量の究極生産量を期待できるわけであるが、それは油ガス層の排油機構による。油ガス層下部の地層水が石油やガスを押し上げる「水押し」型が最良のタイプで、「溶解ガス」や「キャップガス」型の油層は生産減少が早い（つまり総生産量が少ない）。いずれにしても、生産された石油やガスの価格が生産コストを上回っているかぎり（利益がある限り）生産が続けられる。先に述べた二次、三次回収を行う場合には、生産量が多くなる。

パフォーマンス法に基づく鉱量は容積法（回収率を考慮する前の）による量より少ない。事実これら2つの量の差が回収率となる。

B. 未発見量の推定

発見されていないものは存在しないと考えることも出来る。しかし、石油産業の長い経験によると、努力を続けている限り、石油が発見された歴史上の事実がある。石油産業は通常長期計画に基づいて、探査を行っているので、時の経過を発見に結び付け将来の発見を予想することが出来る場合もある（Hubbert法¹⁰⁾）。一方、過去の探査井の掘削深度合計と発見鉱量の間の経験値に基づき、将来どれくらいの新しい埋蔵量増を期待できるか推定する方法もある（Zapp法¹¹⁾）。一般に、浅い深度に存在する鉱床がまず発見され、深い鉱床は後回しになるので、掘削深度に基づく発見率（発見量／掘削深度）は時と共に悪化する。つまり、この方法で未来を予想するとしばしばPessimistic（悲観的）になり過ぎる。そこで、過去の探査井の数と発見された鉱量の間の経験式を未来にプロジェクトする方法が考えられた（Magara法¹²⁾）。以上の3つの方法は時間なり、石油産業の過去の努力と発見鉱量とを結びつけて、将来を予想する方法である。

一方、前述の「容積法」の中に、未発見による不確実性を取り入れた「モンテカルロ（容積法）」がある。Magara⁹⁾によると、未発見であるので、正確には分からない地質学および工学的データを周辺地域や地質学的に似通った地域のデータをもとにして、推定する。推定値は3つあり、最小値（Minimum）、最も可能性の高い値（Most Likely）、および最大値（Maximum）で、これらの値の間でコンピューターがランダムに推定する。この様に選ばれた6セットの数値（油層の広がり、厚さ、孔隙率、石油／ガス飽和度、回収率、そして地下から地表状態への変換率）を掛け合わせ、鉱量

を計算する。異なったランダムナンバーで計算を数百回繰り返すと鉱量の分布が分かる。石油や天然ガスの探査は非常にリスクの高い作業であり、以上の計算にもリスクファクターを取り入れて、不確実性を強調することも出来る。Magara⁹⁾はさらに石油母岩の品位、熟成度などに基づいた「石油母岩モンテカルロ法」も提案した。

以上5つの推定法は未発見の油ガス田を対象にしているので、結果は不確実であり、値にはばらつきが生ずる。このばらつきの中からベストな値を選び出す仕事が、経験ある石油技術者／エコノミストに課せられた仕事である。

先にも述べた通り、石油やガスの探査には高いリスクがつきものであるが、発見できれば利益も大きい。石油会社が探査を行う時には、ただ「石油がありそうだ」という理由だけでは、大きな資金を投入できない。「もしあるとすれば、何バレルぐらいで採算性が十分期待できる」という推定が、仮に疑わしい部分があったとしても、必要である。このような推定の積み上げがある地域の未発見油、ガス量として、受け入れられるのは当然である。つまり、過去にもそうであった様に、未来においても正当な努力は報われてしかるべきであろう。

世界には約300の巨大油ガス田 (Giant Fields、5億バレル以上の石油か相当のガスを可採埋蔵量として保有する¹³⁾)があるが、その大半はジュラ紀より若い地層中に存在する⁷⁾ (図5)。この図に含まれている油ガス田は1970年以前に発見されたものだけであるが、図6に示す様に1970年以後の新油田の発見は少ない。その上1970年以降、世界の石油生産量が埋蔵量の増加より大きくなった (つまり、地球上の石油資源が枯渇に向かった、図6)。石油は通常10000フィート (約3000m) より浅い深度に存在するが、ガスを含む層はもっと深部に達する。したがって、1970年以後も天然ガスの発見は継続した。

5. 天然ガス貿易

世界の現在の天然ガス貿易については、その約75%がパイプラインを通して行われ、残りの25%はLNG、つまり液化天然ガスとして、特殊タンカーで運ばれている。パイプラインを国境を越えて敷設するには、大きな政治、経済力と民意と時間がかかる。しかし、一度設置されれば政情が安定している限り、安定供給できる。パイプラインのない2国間では特殊タンカーで輸送されるが、天然ガス成分の中心であるメタンガスは常温では液化しないので、冷却かつ高圧下で輸送しなければならない。つまり、石油よりもコストがかかり、かつ危険である。

パイプラインが良いかタンカー輸送が良いかの経済評価にとって一番大きなファクターは距離であるが、海底、陸上などの諸条件にも大きく影響される。1つの目安としては輸送距離が3000km以下であればパイプラインが、それ以上であればLNGタンカー輸送が経済的に優位であると言われる。例えば、サハリンー日本間は3000km以内であるので、パ

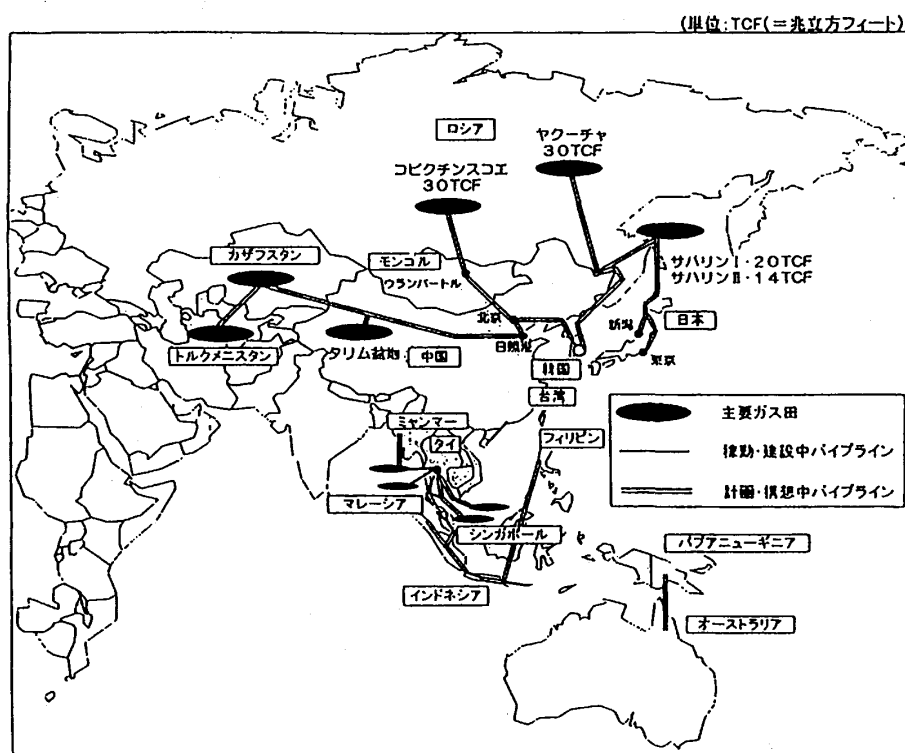


図7 アジアのパイプライン計画と主なガス埋蔵量
 (注¹⁾ の図を修正)

パイプラインの方が経済的に有利である可能性があり、この考えに基づいて、現在検討されているとのことである¹⁾。

パイプラインネットワークの整備については20世紀初頭より、まずアメリカ、カナダが先行し、20世紀後半の30年間に欧州で拡大してきた。英国、大陸間の海底ガスラインも完成し、ロシア、北アフリカ、北海から欧州地域への供給ルートもほぼ完成した¹⁾。将来は中央アジアからヨーロッパへのパイプラインも敷設される予定である。ネットワーク化の進展により、ヨーロッパにおける、天然ガスの一次エネルギーに占めるシェアは、1970年代の第一次オイルショック時の約10%から近年の24%まで増大した。

一方、わが国においては主にLNGの輸入増大により過去30年間に天然ガスのシェアは約1%から12%に増大した。国内のパイプライン網は先ず新潟や秋田地域のガス田地帯から需要地への輸送手段として敷設されたが、オイルショック後石油依存の低減と環境対策を目的として、電力、ガス会社がLNG輸入を始め、あわせてパイプラインが整備されてきた¹⁾。ガス利用の増大は最近における技術革新、例えば、ガス複合発電、Micro Gas Turbine、燃料電池、Gas-to-liquid合成ガソリン等々に負うところもある。

6. アジア地域のパイプライン網建設とLNG輸入

5000億 m^3 (石油換算約30億バレル) 以上の埋蔵量が確認されている新疆タリム盆地の天然ガスを東部地域に運ぶ中国政府の「西気東輸」プロジェクトを完成するためのパイプ

ラインが建設中(図7)で、カザフスタンやトルクメニスタンへの延長も計画されている。このような大型プロジェクトを実施する為には膨大な資金が必要なので、中国政府は昨年、パイプラインを含む関連プロジェクトへの外資参入規制撤廃を発表した。2001年に着工し2003年の完成を目指す。中国沿岸部のエネルギー不足の解決法の一つは主に中東からのLNG輸入であるが、そのために広東省シンセンにLNG受入基地(2005年までに300万トン/年、2010年までに500万トン/年¹⁴⁾)の建設を計画している。

アジア地域での1998年現在のLNG輸入状況は日本の年間約5000万トン、国内のパイプライン幹線を完成した韓国の年間約1000万トン、台湾の年間350万トンなどであったが、中国の新しい参加により、さらに増大する事が予想される¹⁵⁾。

図7にはロシア国内のコピクチンスコエとヤクーチャからの中国へのパイプラインルートが示され、サハリンから日本への計画も表されている。

7. 日本の長期エネルギー計画における天然ガスの重要性

アメリカが異論を唱えている1997年12月の京都議定書の行方に関わり無く、我々にとって地球温暖化問題は重大である。温暖化の主要因と考えられている二酸化炭素の排出削減のために欠かせないエネルギー資源として原子力がある。しかし、原子力発電には東海村の事故以来反対の機運が高まり、その将来を見通すことが難しい。2010年までに原子力発電所を20基程度建設し、現状の約4500万kWを約7000万kW程度にするとする従来の政府計画の実現は危ぶまれている¹⁶⁾。新潟県刈羽村の住民投票により否決されたプルサーマル発電にみる如く、原子力事故に対する懸念は大きい。もし原子力でなければ、CO₂削減をベースとして、どんなオプションが残されているであろうか?

太陽熱や風力の実用化のめどもすぐには立たないとすれば、化石燃料の中で埋蔵量が確保され、しかも環境保護上最も優れている天然ガスにとりあえざる解決法を求めるのは当然と思われる。サハリンを通じての幹線パイプラインと国内でのパイプライン網の完成がおおいに期待される。アジアからの天然ガス供給が軌道に乗るまでは、中東や東南アジアからのLNG輸入に頼らねばならないが、その場合でも国内のパイプラインネットワークの拡充が必要である。究極的な水素エネルギー時代が到来した場合でも、そのようなガス供給ネットワークは有効である。現在行われている高圧送電はエネルギーのロスが大きいが、将来天然ガスを燃料として小規模分散型の発電システムが構築されれば、電力のエネルギー効率を上げることが出来る。つまり、現在の方式では長距離送電中にならず、多量のエネルギーが失われるが、もしパイプラインによりガスを長距離輸送するとすれば、漏れが無い限り、途中でエネルギーが失われる事はない。小規模分散型のもう一つのメリットは、発電に伴う排熱を暖房などの目的に使うCogenerationの可能性が高いことである。

十市(2001)¹⁷⁾によれば「欧米と日本とではパイプライン建設に関する各種条件に大きな隔たりがあるため、単純には比較できない面はあるものの、欧米に比べて国内のパイプ

表1 世界の石油、天然ガス埋蔵量の推定（アメリカ地質調査所による、2000年）

	石 油	ガス(石油換算、億バレル)
世界（除く米国）		
累 計 生 産 量	5390 (20%)	1500 (7%)
確 認 埋 蔵 量	8590 (32%)	7700 (34%)
推 定 埋 蔵 量	6120 (23%)	5510 (24%)
未確認埋蔵量	6490 (24%)	7780 (35%)
合 計	26590(100%)	22490(100%)

The USGS, *World Petroleum Assessment*, June 2000

表2 米国の石油、天然ガス埋蔵量の推定（アメリカ地質調査所による、2000年）

	石 油	ガス(石油換算、億バレル)
米国		
累 計 生 産 量	1710 (47%)	1420 (45%)
確 認 埋 蔵 量	320 (9%)	290 (9%)
推 定 埋 蔵 量	760 (21%)	590 (19%)
未確認埋蔵量	830 (23%)	880 (28%)
合 計	3620(100%)	3180(100%)

The USGS, *World Petroleum Assessment*, June 2000

ライン建設のコストは明らかに高すぎであり、これらをいかに低減するかも重要な課題の一つと言える。そのためには、過剰な規制については早急に緩和ないし撤廃を行うことが求められている。」との指摘がある。パイプライン建設費は管材料費、土木配管工事費、舗装工事費から構成されるが、日本の合計費用はヨーロッパのその3倍から8倍となる。アメリカとの比較においても2倍から10倍になる。土木配管工事費がとくに高い。

「安全性」に関する規制が厳しい良い面があるものの、「安全性」という名目のもとに、無意味なものもあるようである。例えば、欧米では市街地、非市街地、海底など地域によって、耐圧試験などの基準を変えているのに反して、日本では最も厳しい市街地の基準を全ての地域に当てはめている点である。規制緩和が望まれる所以である。

さらに、欧米でパイプラインの公共性に対して与えられているRight of Way（公共施設に必要な土地の利用権、つまり、公共のためには個人の権利が制限される事）が、日本に無い為、パイプラインは通常道路の下に敷設されるので、埋没深度が深く、しかも遠回りせざるをえない場合が多い。これらは全てコスト高に結びつく。

謝辞

石油資源開発株式会社、国内探鉱部 並川貴俊氏から最近の石油業界の動向について、貴重な助言を頂いたことに感謝します。

注

- 1) 十市勉、2001、拡大する世界の天然ガス利用と日本の課題、石油技術協会誌、66巻2号、202-214頁。
- 2) 真柄欽次、2000、北東アジアの未来シナリオ、食糧、環境問題への対処、山陰中央新報(14頁)、平成12年12月24日。
- 3) Hunt, J. M., 1979, *Petroleum Geochemistry and Geology*, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 617p.
- 4) Tissot, B. and Welte, D. H., 1978, *Petroleum Formation and Occurrence: A New Approach to Oil and Gas Exploration*, Springer-Verlag, New York, 538p.
- 5) 石油学会編、ガイドブック、世界の大油田、539頁。
- 6) 藤田嘉彦、1977、石油技術協会誌、42巻、107-110頁。
- 7) Magara, K., 1978, *Compaction and Fluid Migration*, Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands, 319p.
- 8) 相場淳一、1979、地学雑誌、66巻、370-375頁。
- 9) Magara, K., 1986, *Principles of Petroleum Prospecting*, Scientific Publishing Centre, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia, 202p.
- 10) Hubbert, M. K., 1967, *Degree of advancement of petroleum exploration in United States*, Am. Assoc. Petroleum Geol. Bull., v.51, 2207-2227p.
- 11) Zapp, A. D. 1962, *Future petroleum producing capacity of the United States*, U.S. Geol. Survey Bull., 1142-H, 36p.
- 12) Magara, K., with Galloway and Hobday, 1982, *Frio Formation of the Texas Gulf Coastal Plain: Depositional systems, structural framework, and hydrocarbon origin, migration, distribution and exploration potential*, University of Texas, Bureau of Economic Geology, Report of Investigation, No.122, 78p.
- 13) Halbouty, M. T., 1970, *Geology of a Giant Oil Field*, Am. Assoc. Petroleum Geol., Tulsa, Ok, USA, 576p.
- 14) 石油経済ジャーナル、2000、中国エネルギー政策の転換、2000年9月25日。
- 15) Exxon, 1980, *World Energy Outlook*.

キーワード 天然ガス 石油 埋蔵量 パイプライン LNG (liquid natural gas) 環境
北東アジア

(Kinji MAGARA)