

随 想

石油および天然ガス資源開発

平 川 誠 一*

石油や天然ガスは大昔から、神火、灯火、薬、防水剤、防腐剤、炊事などに世界各地で利用され、わが国の記録においても、天智7年天智天皇に越の国（越後）より「燃える土と燃える水」（石油）を献上された。また正保2年越後の国妙法寺村で天然ガスを実用に供したとある。しかし石油がはじめて商業的に生産されたのは、米国ペンシルバニア州で米人 E. L. ドレークが綱（つな）掘式掘削機械を用いて原油を掘りあてた 1859 年頃である。この 1859 年を石油事業誕生の年ということもあるほど衆知されている。この時代は原油や天然ガスの地表へのしみ出しなどの表面兆候を手がかりに石油を採し求めていたが、1885 年ホワイトが背斜説を唱え、その論旨が一般に理解されるようになり、それ以後背斜構造を求めて広く探鉱がおこなわれ相次ぐ成功をみた。このホワイトの背斜説はきわめて基礎的なもので、その要旨は地下にある古い時代の堆積層において、その地層が馬背のように上方に凸になつている部分に原油や天然ガスが集積することが多いというもので、今日にいたるも重要な探鉱上のめやすになつている。

現在でも、石油の探鉱は、石油そのものをさがし出す直接探鉱というよりも、まず地下の地質状況が石油の集積に好都合であると判断される場所を見つけ出す間接探鉱から始められる。つぎの段階として見つけた候補地に対して、ためし掘りの井戸すなわち試掘井を掘り、石油および天然ガスの存在の有る無し、さらにその存在状態を確認することになる。試掘候補地を見つける方法には、地質学、地球物理学、地球化学を基礎にしたいろいろな方法があつて、それぞれ異なつた特徴をもっている。

このうち、地球物理学的方法は、地磁気の局地的な異常分布を調べたり重力の変化を測定したり地震波の岩石内伝播様相を調べたりする物理探鉱または物理探査といわれる方法である。この歴史をふりかえると、1927 年オクラホマで反射法地震探鉱による油田探査が初めて成功し、以後、地表兆候のない平野部においても油田ガス田が発見されるようになった。さらに、1942 年には最初の海上反射地震探鉱法が開始され、物理探鉱技術は 1947 年メキシコ湾での海洋石油開発の試掘成功に寄与した。

試掘を含めた坑井掘削面では、1895 年ロータリー式掘削機が登場し、テキサス州で成功して一大進歩をもた

らした。坑井の掘削は掘管（ほりかん）の下端にビットという鋼鉄製の錐をつけ、地面の下の土や岩石などをくたくか、削るかして掘り進んでいくのであるが、このビットの運動によつて分類すると、前記の綱（つな）掘式掘削はビットに上下運動をさせて、その打撃による衝撃式掘削であり、ロータリー式掘削はビットに回転運動をさせて掘り進む回転式である。記録によると、わが国では、1912 年、当時の日本石油（株）が米国よりロータリー式掘削機を輸入、西山油田で試用の結果好成績を収めたという。現在、世界的にいつても、石油および天然ガスを対象としての坑井は主としてロータリー掘削によつている。海洋石油掘削は 1945 年頃米国で初めておこなわれ、当時は着底固定式プラットフォームからの掘削で始められ、以後 1949 年移動式掘削装置が開発され、現在では着底型も含めて、甲板昇降型、半潜水型、船型の各種掘削装置が水深などの要素にもとづいて使いわけられて、石油および天然ガスの探鉱および開発に活躍している。わが国初めての海洋油田は秋田県の土崎沖油田であつて、1959 年 1 号井噴油成功、同年アラビア石油（株）はアラビア湾中立地帯沖合試掘 1 号井開坑、翌 1960 年出油に成功、わが国企業として海外での海洋石油開発先駆の糸口をつくつた。

試掘井の成功により地下に油層・ガス層の存在が確認されると、つづいて数坑井の掘削をおこなつて油田・ガス田の規模を確かめ、企業化への決断がつくと、適切な計画のもとに採油井を設け、併せて所要の地上諸施設を建設して、原油天然ガスの生産を開始する。これが開発生産の段階である。この開発生産技術が幼稚な時代には、油層・ガス層のもつ排出エネルギーの制御技術が未熟であり、自然の噴出のみに任せ、自噴がとまれば、機械的方法、例えばガスリフト採取、ポンプ採取などに依存する傾向にあつた。したがつて、地下に埋蔵する原油・天然ガスの極く僅かしか地上に取り出すことができなかつた。これは多分に、地下において稼行対象の原油やガスが多孔質な岩石の孔隙内に閉じ込められており、その岩石の浸透性や閉じ込められている状態などに影響されるからである。そこで、油田の寿命を長くさせ、原油・天然ガスの採取率を高めるための油層工学技術が着目され発達をみた。それは第 2 次世界大戦の少し前頃といつてよいが、わが国では戦後、この技術の重要性が認識さ

* 東京大学工学部教授 工博

れ、1951 年前後における秋田市八橋（やばせ）油田の 2 次採収法（水攻法とガス圧入法）実施成功の基礎となった。

原油は輸送手段が天然ガスより容易なため、産油地のみに留まらず広く利用されてきた、一方天然ガスはパイプライン輸送以外手段がなかったことから、アフリカ、中東などの産出地域では、元来、原油生産に伴って産出する大量の天然ガスはやつかい物扱いされて、焼棄、放散、または発見されたガス田も未開発のまま放置されてきた。わが国その他では天然ガスパイプラインの範囲内でのローカルの利用がおこなわれていたにすぎなかった。いいかえると、天然ガスを燃料として用いた例はきわめて古いが、産業として注目されるようになったのは第 2 次世界大戦後において、ようやく米国で長距離、大容量パイプラインの敷設により本格化し、都市ガスは天然ガスのストレート供給となり、産業用としても発電、化学工業のほか鉄鋼などの一般工業用として、天然ガスは広く用いられ出した。さらに、1964 年天然ガスが液化天然ガスとして渡洋輸送できるようになつて以後、天然ガスの開発と利用の促進に一段と拍車がかかった。

過去の技術面での話はこの程度にとどめ、現在の石油および天然ガス資源開発に眼を向けるに当たり、いままでの石油・天然ガスの政策面を眺めてみたい。OPEC（石油輸出国機構）加盟諸国の相つぐ原油・天然ガス価格の大幅かつ段階的引き上げと資源温存の動き、メジャーの原油供給量削減など、昭和 48 年の石油危機のとき以上に厳しい世界の石油情勢に現在ある。わが国は一次エネルギー需要の約 75% を石油に依存し、その 99.7% を海外から、とくに中近東地域からの輸入に依存している。1979 年 6 月東京サミットの会合があり、高い石油価格および石油不足による被害問題に取り組むための共通戦略につき、参加国たるカナダ、ドイツ連邦共和国、フランス、イタリア、日本、英国、米国が合意した。わが国は 1985 年の目標として、1 日あたりの石油消費量を 630 万バレルから 690 万バレルの間の範囲を超えない水準を採用する。そして、この目標を定期的に検討し、かつ、時々の進展および成長見通しに照らしてこれを一層明確なものとし、また、より低い数値に近づけるために、節約、利用の合理化および代替エネルギーの熱心な開発を通じて、石油輸入を削減するよう最善を尽くすことになった。また、東京サミット参加国は石油輸出国とともに、世界石油市場における需給見通しをいかに明確にするかにつき、検討する用意があることをサミット宣言のなかでふれている。

1979 年 9 月、ルーマニアのブカレストにおいて開催された第 10 回世界石油会議のラウンド・テーブル討論会の 1 つに、「世界の石油および天然ガスの需給について」という課題があり、イラン石油公社の P. MINA を議長として討論されたので、その内容に触れてみる。すなわ

ち、供給面では、J. ロードのみが楽観説をとり、世界の推定石油生産量は 2000 年までに 9500 万～1.03 兆バレル/d（天然ガスも原油に換算して）、うち OPEC 諸国は 4500 万バレル/d になろうという、他の人々は 6500 万バレル/d 程度でずっと低い。D. C. アイオンは石油地質を含めた技術力は常に進歩しており、今後石油および天然ガスの大きな発見があるといい、米国内でも大油田発見の可能性はあるが、探鉱を妨げる政策的障害を取り除き、探鉱は技術者に任せるべきだといっている。OPEC の値上げの動きの強さからみて、最大生産可能量は当初より 500～1000 万バレル/d おち込み、約 4000 万バレル/d（原油換算）になろう。このことは長期エネルギー見通しに大きな影響をおよぼし、社会経済変化をもたらすであろう。一方、省エネルギー、代替エネルギーの開発は進むであろう。1977 年ごろの石油界の一致した見解は、1985 年の OPEC の生産能力は 4000～4300 万バレル/d（原油相当）とのことであつたが、1979 年 9 月時点では 3500 万バレル/d の線に近いところにきており、OPEC の制限政策しだいでは 2900～3000 万バレル/d になるかも知れないという見解にかわつてきている。アミンは、中東には未発見の大油田もあり、採収率向上により生産量も増える余地があるという。デスプレーリ博士は現行の原油採収率 30～35% は 40% にまで上がると予想しており、スターンライト博士は、地質学者のいう未発見大油田も生産段階に至るまでには、経済性、適切な需要、5～7 年というリードタイムの長さ、政府の施策上の阻害など数多くのステップを踏まねばならないと述べている。ミハイリーニュは、将来の世界石油会議において、石油および天然ガスの最終用途および代替エネルギーの円滑なる確保に関心が集中するであろうと述べた。

わが国の石油および天然ガス資源開発に関する政策の考え方として、(1) 輸入原油の安定供給確保、(2) 原油の探鉱開発の促進、(3) 液化天然ガスおよび液化石油ガス輸入の促進、(4) 原油備蓄の増強などが重要とされている。

原油の安定供給確保には、原油供給源ならびに供給ルートの多角化と政策原油の確保、政策原油の安定的引取り対策の推進、さらに産油国の政策などにより原油の重質化傾向が著しくなると思われるので、その重質油対策の推進が必要となる。石油開発の促進に関しては、世界の一大石油消費国としての日本が、リスクを伴う石油探鉱開発に応分の負担をすることは、国際的責務でもある。この線にそつて、現在わが国の海外石油開発事業は、世界の主要産油地帯である中東とインドネシアに有力な安定供給源を確保するとともに、西アフリカと南米にも供給源を追加している。また、わが国企業の海外石油探鉱活動は石油公団投融资の積極的支援を受けてプロジェクト対象地域を世界各地に拡大している。今後は、

極地、深海などでの石油開発条件が一段ときびしくなり、あるいは、オイルサンド、オイルシェールの開発、投資規模ならびに開発期間の長期化など困難な問題が横たわっているとともに、産油国の資源ナショナリズムの高まり、景気停滞による民間石油開発企業の探鉱意欲の減退傾向など、石油開発条件が変わりつつある。これらに対する 具体的対策としては、国のリスク負担の引上げ、石油公団の機能拡充、石油開発技術の強化、日本周辺大陸棚開発の推進、民間企業に対する助成の強化などが必要とされる。

液化ガスの導入促進にあたっては、天然ガスの埋蔵量が石油に匹敵するうえ、未利用地域からの新しい供給が期待されること、従来、焼却もしくは油層に圧入されていた石油に随伴する天然ガスを利用することは資源の有効利用に資することなど、その有意性を十分認識すべきである。とくに、わが国の液化天然ガス導入は、昭和 44 年 11 月に LNG 第 1 船を受け入れて以来、技術的にも、需給面でも順調な発展をとげてきており、現在では、アラスカを始め、ブルネイ、ダス島、インドネシアからの LNG 導入が安定して実行されているし、今後数プロジェクトが予定されている。今後における液化ガス導入にあたっては、さらに政策的にも種々対応していかなければならない諸事項がある。すなわち、液化ガスの受入基地および液化ガス発電所の立地の促進、液化ガス相互融通制度の確立、供給体制の整備、ガス事業の液化天然ガス化および産業用加熱需要の組織化、資金調達方法の検討などに、一段の努力が必要とされている。

輸入原油および液化ガスはさておき、国内石油および天然ガス資源に的を絞ると、陸域・海域を問わず、これらはもつとも安定した供給源となる素質をもつ潜在資源であり、早期に安定的にまた効率的に開発生産に結びつけるよう、重点的探鉱促進が望まれる。従来の日本の石油および天然ガス資源の探鉱は、それらの賦存状況に相当重点を置いたものであった。これからは、発見した資源をいかに安定的にまた効率よく生産するかという点についても、政策論の構築が必要である。

昭和 54 年 7 月石油審議会は、昭和 55 年度を初年度とする第 5 次国内石油および可燃性天然ガス資源開発 5 ヶ年計画に関して答申し、現在その実行の方向にある。この計画の内容にふれると、国が自ら実施すべき基礎調査は、海域に最重点をおき基礎試錐および基礎物理探査を実施するとともに、陸域についても見直しをおこない、基礎物理探査を実施する。この基礎調査は、わが国の石油および天然ガス資源の埋蔵の可能性をより確実に把握する一方、企業探鉱を未探鉱地域に誘導するよう配慮されている。

わが国周辺海域においては、探鉱対象の堆積盆地の広がり、約 37 万 km² に及び、集積構造は 234 発見され、石油および天然ガスの究極可採埋蔵量は原油換算

で約 13 億 kl と推定されている。海域における本期間中の石油・天然ガスの発見埋蔵量として、9000 万 kl (原油換算)、昭和 60 年度の目標生産規模として、原油換算 570 万 kl がそれぞれ期待されている。具体的探鉱計画として、水深 0~200 m の海域では、民間企業による探鉱開発を主体として、開発の促進を図ることが適当であるとし、石油公団による探鉱投融资を中心に助成をおこなう方針である。水深 200~500 m の海域については、埋蔵量などをより正確に把握すること、昭和 60 年度以降に予想される民間企業による本格的な探鉱開発に際してのリスク軽減に資することなどを目的として、国による基礎試錐を資源埋蔵の可能性の高い地点に、5 ヶ年間で 8 坑実施することになっている。水深 500 m 以深の海域については、堆積盆地の発達が認められる 11 海域に対して、集積構造の有無およびその発達状況を把握するため、国の基礎物理探査を実施することが必要としている。ここで私見をさし挟むと、わが国周辺の大陸棚な石油開発は、昭和 40 年代以降に緒についたばかりで、今後積極的に進めなければならないが、陸域中心の現行鉱業法体系を海域ではどうするか、漁業との調整方式についてはどう解決するかなどの諸問題がある。

陸域については、これまで国および民間企業によつて積極的に探鉱開発が進められてきた東北裏日本地域での石油・天然ガスの生産を、今後とも一定規模に維持するため、これに見合う新規埋蔵量を発見していくとともに、埋蔵量を確保するため、これら資源の発見可能性があつても未だ探鉱密度の低い北海道などの地域においても積極的に探鉱活動を展開していく必要があるとしている。陸域では、この計画期間中の発見埋蔵量として 600 万 kl (原油換算)、昭和 60 年度の目標生産規模として原油換算 230 万 kl が期待される。

さらに、海域陸域とも、この計画推進にあたっては、計画探鉱量に見合った資金と技術の向上が不可欠の前提とされている。

わが国の石油探鉱開発生産技術水準は、一部においては外国のそれと勝るとも劣らないが、平均的にいうと一般に低いと考えられている。今後とも、これら技術力が石油確保につながる傾向にある現在、素直にいつて、世界水準で競争できる第一級技術者の数はきわめて不足しており、そのうえ、わが国技術者全体の有機的關係が円滑でないように思われる。ここで、特に現有技術力ならびに技術者をインテグレートした技術体制の強化と技術者養成が重要である。また当面実用化または研究開発対象となる技術課題として、次のものが話題となつている。

(1) 海底石油生産システムの実用化：海洋における生産施設は、わが国の場合新潟県阿賀沖で水深 80 m、海外の例では米国における水深 320 m (メキシコ湾) の生産プラットフォームの例があるが、掘さく稼働水深に対

してはるかに浅い。今後発見される油田・ガス田の水深がしだいに大きくなることを考慮し、また中・小規模の海洋油田開発の経済性を向上させるため、海底石油生産システムの研究開発を加速させ、実用化の目途をつける必要がある。この海底石油生産システムは、深海の海洋油田から石油や天然ガスを採取するための新しい技術であり、従来の固定式プラットフォームを用いず、主要な生産装置を海底に設置することが特徴である。外国では、ガボン沖合のグロンダン海洋油田ほか2～3ヶ所で試用中であるが、わが国では工業技術院の大型工業技術研究開発制度により、昭和53年度から、日本周辺の大陵棚および大陸斜面の海域においても適用可能な海底石油生産システムが研究開発中である。

(2) 大水深の海域における掘さく技術の開発：現在、わが国の保有する海洋掘削装置の最大稼働水深は500mであり、これまで水深200m前後の海域については、相当の掘削実績をもっている。将来水深500mあるいはそれ以深を掘さくする場合には、海象・気象条件の厳しさも増加することを考え、水深1000mを超える能力の掘削装置の建造と保持、ならびにそれに関連する掘さく技術の開発が急務である。

(3) 探鉱に関する新技術の開発：石油の成因、移動集積など石油鉱床形成過程の研究、あるいは地層中における地震波伝播挙動など実験地学的研究、石油根源岩の地球化学的研究の充実とともに、高精度地震探査法の確立ならびに大水深・大深度地震探査法の開発が必要である。とくに、ここでの高精度地震探査法は、非背斜型鉱床探査ならびに炭化水素直接探査でもある。これに関連しては、三次元地震探査、S波探査、物性探査の研究開発が必要である。現在でもいえることであるが、さら

に将来においても当然のこと情報量の増加が予想される石油探鉱に関するデータベースシステムの整備、地質情報総合処理システムの確立が望まれる。

(4) 油田の二次三次採収技術の活用：二次採収のうち、現在実務面への直結がなされているのは水攻法である。二次採収は技術と経済性との問題であつて、探鉱リスクがないので、対象油田に対して適切なる計画をたて実行すれば、新油田の発見と同等またはそれ以上の成果がえられる。また、重質油を産出する油層またはオイルサンド層を対象に考えると、熱を利用した採収法が主体となろう。この代表的なものとして、火攻法と水蒸気圧入法があり、わが国には技術経験もある。このほか、いわゆる石油の三次採収があるが、この語源は例えばブラッドホード油田の一部のように、水攻法（二次採収）が成功し、ある程度、水浸しになった油層部分から、さらに一段と採収率を高めるための技術に対する呼称に始まった。内容としては、水攻圧入に炭酸ガス、マイクロエマルジョン、アルカリ、ポリマー、界面活性剤などのいわゆるケミカルズの添加または置き換えにより、圧入水の油層内駆動制御、残留油の油層内での分離および掃攻能力向上などを直接の目的とし、最終的には原油の採収率を高めようとするものである。油価の動向とのからみを考えつつ、常に経済性を満足させる三次採収用ケミカルズの研究開発も今後の問題である。

以上、とくにまとまつた考えもなく、石油および天然ガス資源開発に関して筆を走らせてみましたが、本誌会員各位の何らかの御参考に供すれば、幸いでありす。最後に貴重な紙面をさいていただいたことに深く感謝致します。