

第1回 資源エネルギーの横綱、『石油』を読む

システム工学研究所(株)取締役社長 中澤 直樹



氷海用石油ガス開発構造物設計基準 ISO19906 国際委員会での筆者
(最前列左端、中国海洋石油総公司 CNOOC にて)

1. これから始まるお話

今回から6回にわたって石油、天然ガス、海洋資源、風力、太陽光などの資源エネルギーについて、需給の現状や技術開発の動向を概観し、資源エネルギーを取り巻く世界の変化やその開発に土木技術者としてどのように対応してゆくべきかを考える。

世界の資源エネルギー事情は大きく変化しようとしている。供給面においては近い将来、石油の生産がピークを迎えるというピークオイル説が話題となっている。需要面では BRICs といわれるブラジル、ロシア、インド、および中国など新興経済大国の資源エネルギー消費の急激な増加により、資源獲得競争が激しくなっている。これは、石油のみならず他の資源においても同様であり、我々はここ数年、天然ガス、ベースメタル（鉄、銅、鉛など）、レアメタル（リチウム、バナジウム、マンガンなど）、加えてレアアース（希土類ともいう。スカンジウム、イットリウムなど）などの価格の急上昇を経験している。このような世界的な資源エネルギー需給の新たな局面の中、百年に一度といわれる経済危機（混乱）を迎え、資源価格にも大きな混乱が生じている。一方、地球の気象変動問題は、石油や石炭などの化石資源に変わる新たなエネルギーの誕生と、化石資源の大量消費に依存する産業構造の転換を迫っている。

本連載においては、まず、20世紀の消費社会を築く基本的なエネルギー資源となった石油について、生産の現状と将来の見通しを概観する。次に、エネルギー開発と地球環境の共生という観点から、新たなエネル

ギー源として開発が進む風力、太陽光、海洋などの再生可能エネルギーについて技術的進展と将来展望を考える。更に、紙面の余裕があれば、日本近海に大量に賦存することが明らかになりつつあるメタンハイドレートや海底熱水鉱床の開発について考える。

2. 資源エネルギーと土木の熱い関係

資源エネルギー開発と土木技術の関係を考えてみよう。石油や天然ガスの開発は多くの場合、産油国政府や国際石油資本によって行われる。これに国際的な企業資本が参加して事業会社が設立され、開発事業を推進する。事業会社は、石油生産までの多くの建設工事を資源開発に経験豊富なエンジニアリングサービス会社に一括発注する場合と、掘削装置を重工会社に、パイプラインを鉄鋼会社に、精製プラントをプラント会社に、積出施設をエンジニアリング会社に別々に発注する場合がある。いずれの場合も、これら企業の下に設計や調査のために土木コンサルタント会社が、施工のために建設会社が参加することが多い。残念ながらこの組織構造ゆえに、資源開発において土木技術および土木関連企業の存在と役割が希薄な印象を与えている。

例えば、北海道のすぐ北のサハリンで石油と天然ガスの生産が始まった Sakhalin II と呼ばれる総投資額2兆円にも上る巨大資源開発プロジェクトを例に参加している企業を見てみよう。サハリン北東の沖合で産出される原油と天然ガスは、タンカーと海底パイプラインにより直近の陸地へ、そこから約800kmのパイ



写真1 サハリン最南端のアニバ湾プリゴロドノエのLNG基地：精製プラントと積み出し棧橋は日本企業によって建設された。LNGタンカーが日本へ向かう。

ラインによりサハリン最南端アニバ湾プリゴロドノエの精製プラントへと運ばれる(写真1¹⁾)。そして、石油や液化天然ガス(LNG)としてタンカーにより日本や韓国へ輸出される。この巨大プロジェクトはサハリンエナジー社が事業主体であるが、これにはロシアエネルギー開発最大手ガスプロム社(出資比率50%プラス1株)、オランダのシェル石油(同27.5%)、三井物産(同12.5%)、および三菱商事(同10%)の4社により構成されている。このサハリンエナジー社が発注する工事には多くの日本企業が参加している。例えば、パイプライン本体の供給に新日本製鐵、石油精製とLNGプラントの設計と施工にチヨテック(千代田化工と東洋エンジニアリングの合弁会社)と鹿島建設、LNG棧橋の施工に東亜建設工業、耐氷港湾構造物の設計コンサルティングにクマシロシステム設計(札幌)、その他にも港湾の浚渫、各種建設工事に日本企業が参加している。サハリンから日本に運ばれる石油やLNGはIHIや三菱重工業が建造した高性能タンカーで日本まで運ばれるが、その輸送には日本郵船が参加している。液化天然ガスは東京電力や東京ガスのようなエネルギー供給会社のタンクに貯蔵されるが、そのタンクは勿論国内の施工会社によって建設される。

このように多くの土木技術者が資源エネルギーの開発やその周辺施設の建設に携わっているのである。にもかかわらず、日本の土木技術者が資源エネルギー産業にかかわっているという意識は必ずしも高くはないと思われる。それは石油開発を実施し事業を運営するオペレーター

と呼ばれる石油会社(米国で言えばエクソンモービル社、英国ならBP社など)や全体の建設工事を一括して遂行するエンジニアリングサービス会社(米国で言えばマクダーモット社、ハリバートン社など)が日本にはないため、日本の土木技術者が資源エネルギー開発の先頭に立つ機会が少ないことが原因だと思われる。ちなみに、世界最大の民間石油会社エクソンモービルやエンジニアリング最大手マクダーモットの現在(2009年6月時点)の社長は土木工学科出身者であり、欧米では多くの土木技術者が資源開発のリーダーとして活躍している。

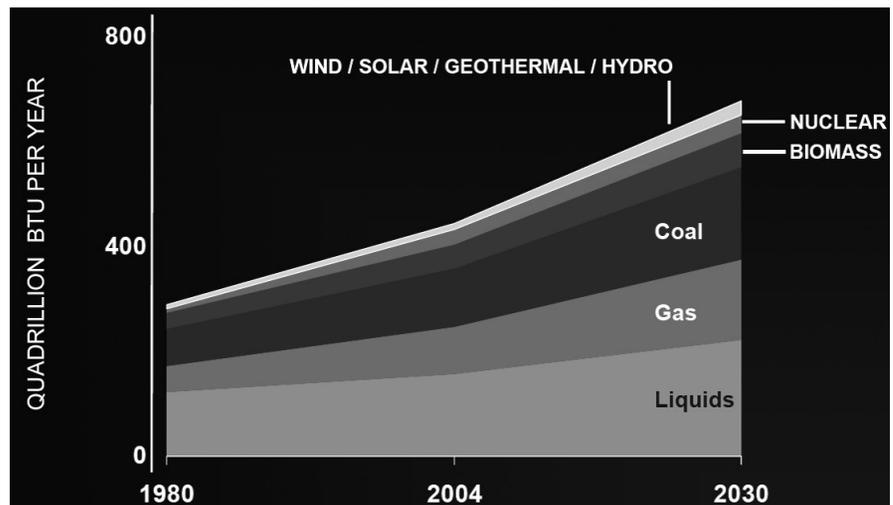
資源エネルギー開発は地底及び海底深くから資源を取り出す、地球を相手にした工学である。そのためには探査から試掘、探掘、生産、輸送、精製まで総合的な技術の結集が必要であり、これらのすべての分野において土木技術が必要不可欠である。資源エネルギーの開発にとって土木技術が重要な役割を果たしているということを理解したうえで、そろそろ本題の資源エネルギーの話へと進むことにしよう。

3. エネルギーの横綱、石油の話から始めよう

3.1 石油を出す国、使う国

石油は知られている限り最も効率よくエネルギーが凝縮され、多目的に応用が効く物質である²⁾。その有用性を知った人類は、20世紀に石油による大量消費社会を作り上げた。車を走らせるガソリン、家庭の暖房、ペットボトルから航空機までの材料、毎日使うパソコ

図1 1980年から2030年まで消費が予測されるエネルギー源(データは国際エネルギー機関IEA)



ン、スーパーのトレイやビニール袋、ありとあらゆるものが石油を原材料として作られている社会に我々は生活をしている。しかし近年、脱化石エネルギーが叫ばれている。地球温暖化の元凶とされる石油と石炭であるが、我々はその化石資源社会から脱却できるのだろうか。国際エネルギー機関 (IEA) は、2030年まで人類が使うエネルギー源を図1³⁾ により予測している。縦軸は単純に消費するエネルギー量と考えてよい。2008年と2030年を見ると、石油 (Liquids) への依存度は約30%で変化はない。2030年までの予測を見るかぎり、我々がどんなに風力発電や太陽光発電を促進しようとも、人類はこれからも石油、天然ガス、および石炭という化石資源御三家に頼らなくてはならない社会にいたのである。

ではその石油はどこで産出されているのであろうか。石油のほぼ100%を輸入している日本の土木技術者としては、これぐらいは知っておきたい。現在世界中の地下から生産されている石油の量は1日あたり約82,000千バレルという膨大な量である。表1⁴⁾ に2008年の1日あたりの石油生産量の国別トップ15を示す。1位のサウジアラビアは日量10,846千バレル、2位のロシアは日量9,886千バレルであった。ソ連崩壊後に経済的混乱を極めたロシアが驚異的な経済回復を遂げているのは、価格が高騰したこの石油と天然ガスのお陰である。米国と中国は3位と5位の石油生産国であったが、それぞれ世界で1位と2位の石油輸入国でもある。世界の石油貯蔵庫の中東以外ではカナダ、ノルウェー、ブラジル、英国 (19位) が健闘している。

表1 国別石油生産量トップ15 (2008年)

| 順位 | 国名 | 石油産油量 (千B/D) | 比率 (%) |
|----|---------|--------------|--------|
| 1 | サウジアラビア | 10,846 | 13.1 |
| 2 | ロシア | 9,886 | 12.4 |
| 3 | 米国 | 6,736 | 7.8 |
| 4 | イラン | 4,325 | 5.3 |
| 5 | 中国 | 3,795 | 4.8 |
| 6 | カナダ | 3,238 | 4.0 |
| 7 | メキシコ | 3,157 | 4.0 |
| 8 | UAE | 2,980 | 3.6 |
| 9 | クウェイト | 2,784 | 3.5 |
| 10 | ベネズエラ | 2,566 | 3.4 |
| 11 | ノルウェー | 2,455 | 2.9 |
| 12 | イラク | 2,423 | 3.0 |
| 13 | ナイジェリア | 2,170 | 2.7 |
| 14 | アルジェリア | 1,993 | 2.2 |
| 15 | ブラジル | 1,899 | 2.4 |
| | 全世界 | 81,820 | 100.0 |
| | OPEC | 36,705 | 44.8 |

カナダは東岸海域、ノルウェーと英国は北海、ブラジルは大西洋沿岸の海洋油田で石油を生産している。表2⁵⁾ は2007年の国別石油消費量トップ10である。10カ国で世界の石油の56%を消費している。特に米国は世界の石油の4分の1を消費し、米・中・日の3カ国の消費量は40%にも上る。2007年のBRICs諸国の消費量は18%であるが、これら4カ国の今後の経済発展を考えると引き続き増加することは確実である。さて、表1にランクインしている国々が今後も石油を生産し続けることができるのだろうか。表3⁴⁾ を見てみよう。これはこれから何年石油を生産する量を国内に持っているかということを示す表である。1位から4位までがすべて中東の国である。表1と比べると、米国と中国は大きく順位を下げている。米国はイラクに軍事介入し、イランの政治情勢に神経をとがらせ、そして5位のベネズエラは米国と対立している。一方、中国は新たな石油産出地域となってきたアフリカに積

表2 国別石油消費量トップ10 (2007年)

| 順位 | 国名 | 石油産油量 (千B/D) | シェア (%) |
|----|---------|--------------|---------|
| 1 | 米国 | 20,698 | 24.3 |
| 2 | 中国 | 7,855 | 9.2 |
| 3 | 日本 | 5,051 | 5.9 |
| 4 | インド | 2,748 | 3.2 |
| 5 | ロシア | 2,699 | 3.2 |
| 6 | ドイツ | 2,393 | 2.8 |
| 7 | 韓国 | 2,371 | 2.8 |
| 8 | カナダ | 2,303 | 2.7 |
| 9 | ブラジル | 2,192 | 2.6 |
| 10 | サウジアラビア | 2,154 | 2.5 |

表3 国別可採埋蔵量トップ15 (2008年末)

| 順位 | 国名 | 埋蔵量 (億バレル) | シェア (%) | 可採年数 (年) |
|----|-----------|------------|---------|----------|
| 1 | サウジアラビア | 2,641 | 21.0 | 66.5 |
| 2 | イラン | 1,376 | 10.9 | 86.9 |
| 3 | イラク | 1,150 | 9.1 | >100 |
| 4 | クウェイト | 1,015 | 8.1 | 99.6 |
| 5 | ベネズエラ | 994 | 7.9 | >100 |
| 6 | UAE | 978 | 7.8 | 89.7 |
| 7 | ロシア | 790 | 6.3 | 21.8 |
| 8 | リビア | 437 | 3.5 | 64.6 |
| 9 | カザフスタン | 398 | 3.2 | 70.0 |
| 10 | ナイジェリア | 362 | 2.9 | 45.6 |
| 11 | 米国 | 305 | 2.4 | 12.4 |
| 12 | カナダ | 286 | 2.3 | 24.1 |
| 13 | カタール | 273 | 2.2 | 54.1 |
| 14 | 中国 | 155 | 1.2 | 11.1 |
| 15 | アンゴラ | 135 | 1.1 | 19.7 |
| | 全世界合計 | 12,580 | 100.0 | 42.0 |
| | (OPEC加盟国) | 9,558 | 76.0 | |

極外交を展開している。石油を大量に消費することにより大国となり、それを維持するために産油国の政治に関わろうとする国、自国の石油をできるだけ高く売ろうとする産油国、石油は国際政治のエネルギー源でもある。

3.2 石油を採る人たち

石油の井戸からの生産は、1859年に米国のペンシルバニア州でエドウィン・ドレークが初めて成功したとされている。それから150年、世界を股にかけて井戸を掘る人たちがいる。収益率の高いアップストリーム（原油の開発）から低収益のダウンストリーム（原油の精製、販売）までを一貫して操業するオイルメジャーと呼ばれる石油会社である。なかでもExxonMobil（米）、BP（ブリティッシュペトロリアム、英）、Shell（英・オランダ）、ConocoPhillips（米）、Chevron（米）、Total（仏）はスーパーメジャーと呼ばれる。これらに加えてPetrobras（ブラジル）、StatoilHydro（ノルウェー）、Gazprom（露）や中東の国営石油会社があり、これらの企業が世界の石油や天然ガスの開発を支配しているといってもよいだろう。そして近年特筆すべきことは、中国の石油会社である中国石油天然気集団公司（Petro China）、中国石油化工集団公司（Sinopec）、中国海洋石油総公司（CNOOC）の急速な台頭である。この3大石油会社は中国政府の戦略的なエネルギー政策の基、内陸での大深度地層や海洋での大水深海底石油・天然ガス開発のための技術を国内で磨いてきた。2007年の世界の石油企業のトップ15位を表4⁶⁾に示す。ちなみに、このランキングではStatoilHydroは26位、Sinopecは25位、CNOOCは48位、そして日本のアップストリーム企業である国際石油開発帝石（株）は49位にやっと顔を出す程度である。

ロシアは現在、原油生産ではサウジアラビアに次いで世界第2位、天然ガスの生産では世界第1位であり、石油と天然ガスの合計では米国を上回る世界第1位のエネルギー生産国である。それを反映するようにロシアの石油企業はトップ50社中に5社含まれており、世界のエネルギー市場で大きな存在感を有している。中国の石油企業は50社中に3社含まれている。国際的にはスーパーメジャーと比べて規模では若干劣るとはいえ、新しく成長しつつあるオペレーターとして国際エネルギー市場で重要な位置にあり、その活動はますます注目を集めている。Exxon Mobil、BP、Shellなどは、自国における石油の埋蔵や植民地政策という

表4 世界の石油開発会社トップ15（2007年）

| 順位 | 企業名 | 国名 | 国出資比率(%) |
|----|----------------|---------|--------------|
| 1 | Saudi Aramco | サウジアラビア | 100 |
| 2 | NIOC | イラン | 100 |
| ③ | Exxon Mobil | 米 国 | |
| 4 | PDV | ベネズエラ | 100 |
| 5 | CNPC | 中 国 | 100 |
| ⑥ | BP | 英 国 | |
| ⑦ | Shell | 英国、オランダ | |
| ⑧ | ConocoPhillips | 米 国 | |
| ⑨ | Chevron | 米 国 | |
| ⑩ | Total | フランス | |
| 11 | Pemex | メキシコ | 100 |
| 12 | Sonatrach | アルジェリア | 100 |
| 13 | Gazprom | ロシア | 50+ α |
| 14 | KPC | クウェート | 100 |
| 15 | Petrobras | ブラジル | 32 |

注：○印はスーパーメジャー

歴史的な背景のもとにオペレーターとして世界展開を図ってきた。しかし、新興経済大国であるBRICs諸国の石油会社は、ロシアを除けば1970年代から本格的な石油生産を始めた企業であるにもかかわらず、世界的な企業へと育ってきた。BRICs諸国の台頭以前から世界の石油消費大国である日本において、このような強力なエネルギー企業が育たなかったことは、国内に石油や天然ガスという資源がないために資源開発の経験を積むことができなかったことを差し引いても、国家のエネルギー戦略の欠如を思わずにはいられない。もちろん日本にも新日本石油、昭和シェル石油、出光などの石油企業があるが、これらは主として精製された石油製品を国内で販売するというダウンストリーム専業であり、残念ながらオペレーターとして国際的なアップストリーム市場に打って出る資金力、技術力、交渉力はない。

3.3 日本の石油はどこから

ここまでで、石油はどこに有って、誰が採って、どこが使っているかがわかった。日本は国内消費の石油を99.6%海外に頼っている、米国と中国に次ぐ世界第3位の石油輸入大国である。では、世界中から石油をかき集めなくてはならない日本は、どこから石油を買っているのだろうか。2007年の原油輸入ではサウジアラビア（全輸入量に占める割合26.9%）、アラブ首長国連邦（同24.5%）、イラン（同12.1%）、カタール（同10.4%）、クウェート（同7.2%）の5カ国で81%に

も上る。そして全中東地域から90%近い輸入を続けている。世界最大級のタンカーが紅海、インド洋、マラッカ海峡を通過して日本まで石油を運ぶのである。この中東一極依存が日本へのエネルギー供給を不安定なものにしている。そのため1970年代の2度のオイルショックを契機に、原油輸入の中東一辺倒からの脱却と輸入元の多国化が叫ばれた。しかし、70年代に70%代後半であった中東依存度は80年代に60%代後半に下がったものの90年代に入り上昇に転じ、現在ではオイルショック当時よりも高い90%近い依存度となっているのである。

その意味から、前述のサハリン沖の石油・天然ガス開発事業が注目されている。現在進行中のプロジェクトにはSakhalin I（日本から丸紅と伊藤忠が出資）とSakhalin II（三井物産と三菱商事が出資）があるが、その重要さゆえに麻生首相がSakhalin IIでの液化天然ガス（LNG）生産開始を記念して今年2月にサハリンで行われた式典に出席し、ロシア大統領と会談したことは記憶に新しい。現在このSakhalin I & IIでのエネルギー生産はロシアのGazprom、ExxonMobil、Shellにより進められているが、前出のオイルメジャーやロシアの石油会社により別鉱区においてもいくつかの試掘が進行中である。この日本の近くでの巨大エネルギー開発に対し、日本は事業会社へ出資するだけでなく（つまりお金を出すだけでなく）、技術での貢献をしたいものである。我々土木技術者にとって、日本のエネルギー確保に貢献し、資源開発の経験を積む絶好の機会なのであるが.....

4. 増え続ける石油需要、石油をどこから採る？

図1に見るように、今後もエネルギーの横綱であり続ける石油であるが、どこで採るのであろうか。これまでと同じように中東が中心であり続けるのか。表3に見られるように可採埋蔵量で見ると中東が石油の供給地であり続けるようである。しかし増加する需要量をまかなうために

は地球上に新たな供給地が必要である。

4.1 陸から海へ、そしてより深い海へ

1世紀ほど前に栈橋上から始められたといわれる海洋油田の開発は、20世紀後半における石油需要の増大やオイルショックによる非中東での開発促進などを通して開発技術が急速に進歩した。1990年代にはメキシコ湾、北海、ブラジル沖などにおいて様々な様式の海洋油田生産システムが実用化され、現在では水深2,000～3,000mに及ぶ超大水深開発が進められている。1960年時点で石油の生産量は約2千万バレル/日、天然ガスは553Mtoe（石油換算百万トン）であったが、2000年時点ではそれぞれ約7千万バレル/日と2,435Mtoeとなり、40年間でそれぞれ3.5倍と4.4倍になった。その中で生産量の高陸割合は、海域における生産量が増加し続けており、1960年に石油の全体生産量の9.5%、天然ガスでは3.0%が海域からの生産であったが、2000年にはそれぞれ31.3%と27.1%へと増加した。更に、図2⁷⁾に示すように、2015年には海域からの生産が石油で39%、天然ガスが34%に達すると予測されている。

海洋油田開発は探査、掘削、開発、生産、輸送、貯蔵、建造、設置、更には構造物や生産水のリサイクルにいたるまでの多方面にわたる技術に支えられている。陸域での生産から大陸棚の浅海域へ、そして2,000mの大水深へ、更には2,000m以深の超大水深へと、海底の石油を求めて技術は大きく進歩している。

4.2 北極は資源エネルギーの宝庫？

読者の中には化石資源というと地球上の暖かい地域が産出地という概念があるのではないだろうか。し

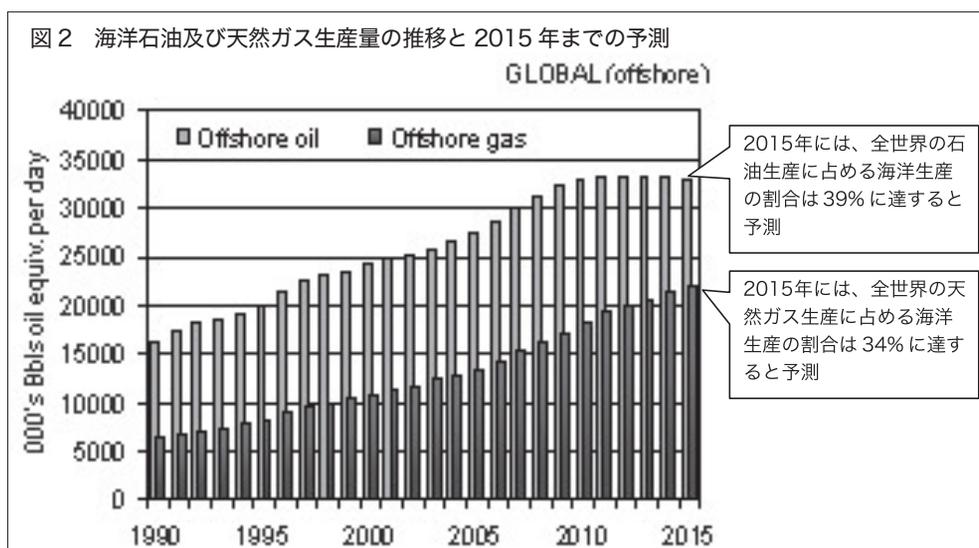
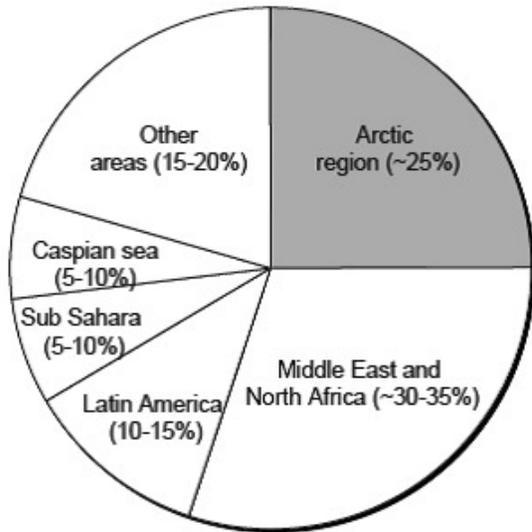


図3 世界の石油天然ガスの未発見埋蔵量の分布 (Source: US Geological Survey)



かし、米国地質調査所 (US Geological Survey) が 2005 年に発表した世界の化石資源に関する報告書によると、図 3⁸⁾ に示すように世界の石油と天然ガス資源の未発見埋蔵量の四分の一は北極域 (氷海域を含む Arctic Region) に存在する。冬に海が凍り凍土の地であるサハリンでのエネルギー開発について読者はすでに学んだ。この量は、中東と北アフリカの合計量を若干下回る程度の膨大な量である。地球温暖化で急速に氷が縮小していることも、自然条件の厳しい北極海域の開発促進を促している一因になっている。米航空宇宙局 (NASA) などの 2007 年の調査で、北極海を覆う氷が過去約 30 年間の観測史上最小を記録したことが報告された。この氷の縮小で北極海の航路が利用しやすくなると考えられている。すでに北極海に排他的経済水域 (EEZ) を有するロシア、デンマーク、ノルウェー、カナダなどは大陸棚拡張や資源のための調査を活発化させている。北緯 60 度以北は地下資源の宝庫と言われている。永久凍土や海氷などに妨げられ、これまで人類の経済活動の侵入を拒んできた地域が、石油や天然ガスといったエネルギー資源だけではなく、鉄、亜鉛、ダイヤモンドなど鉱物資源もあわせ、新たな資源の宝庫として注目されている。資源を求めて、深海へ、そして極地へ、技術開発競争はすでに始まっている。

5. エネルギーの確保は長期の国家戦略があつてこそ

経済的發展を遂げる国はエネルギー需要の増大を見



写真2 PetroVietnam がベトナム北部に建設中の石油精製基地：経済發展が続くベトナムは ASEAN の有力産油国としても台頭してきた。

越して、早い段階から自国のエネルギー産業の育成を行う (写真 2⁹⁾)。オイルメジャーが活躍する国のほかにもロシア、中国、ブラジル、インドなどは長期のエネルギー戦略のもと、石油や天然ガスの開発を行うオペレーター企業の育成を行い、現在、国際石油開発市場で活躍するオイルメジャー級の企業を育て上げた。そしてそれらの企業の技術者は、世界を股にかけてエネルギー開発の現場に立っている。日本はメジャー級の石油資源開発企業の育成に成功したとはいえないが、今からでも遅くはない、長期のエネルギー戦略を立て、世界市場に打って出る技術の開発と技術者の育成を怠ってはならない。

今回は、石油の次に需要の増大が見込まれる天然ガスと石炭の話へ進むとしよう。

参考文献

- 1) サハリンエネジー社ホームページ
<http://www.sakhalinenergy.com/en/default.asp>
- 2) 「石油の呪縛」と人類、p8、ソニア・シャー著、岡崎玲子訳、集英社新書
- 3) “Facing The Hard Truths About Energy,” National Petroleum Council, July 18, 2007, USA.
- 4) BP エネルギー統計レポート 2009 年
- 5) BP エネルギー統計レポート 2008 年
- 6) “Petroleum Intelligence Weekly Ranks World's Top 50 Oil Companies (2009),” Energy Intelligence Group Inc. official homepage, <http://www.energyintel.com/>
- 7) Offshore ホームページ
<http://www.offshore-mag.com/index.html>
- 8) “Developing the Arctic”, Akersolutions 社ホームページ
- 9) offshore-technology ホームページ, http://www.offshore-technology.com/projects/hac_long/