第2回　再認識される石炭の重要性、『石炭』の復権!?

システム工学研究所(株)取締役社長　中澤 直樹



1. どっこい石炭は生きている

第1回では、資源エネルギー開発は地底およ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こと、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ことを述べた。そして、資源エネルギーとしての「石油」の重要性を確認した。ここでもう一度、前回示した図1[1]を思い出してみよう。この図は、世界が使うであろうエネルギー源の2030年までの需要予測であり、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、世界はこれからもエネルギー御三家の石油、石炭、天然ガス化に頼らなくてはならない社会にいる。では、我々の社会はどんなエネルギー源に頼って生活をしているのだろうか。

実は図1で注目してほしいのは、石油は勿論（ルビ；もちろん）であるが、その次に消費量の多い「石炭」と「天然ガス」である。読者の中には、石炭はすでに過去のエネルギー資源と思っている方が多いのではないだろうか。図2[2]を見てみよう。これは日本の発電電力量の構成比である。2007年時点で液化天然ガス（LNG）火力27％、原子力26％、石炭火力25％、石油火力13％、水力8％､新エネルギー1％の順となっている。日本の発電は、1960年代の前半までは水力の比率が高く、不

図1　1980年から2030年まで世界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）

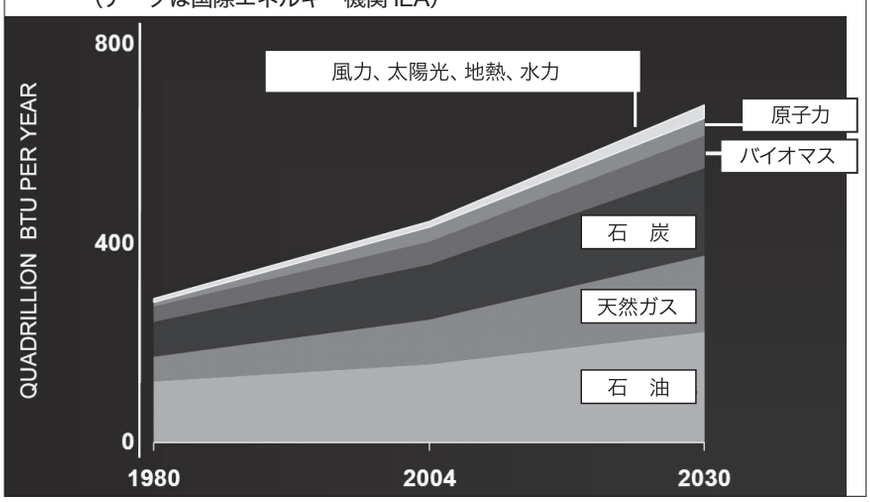


図2　1980年から2017年までの日本の年間発電電力量の構成比の推移

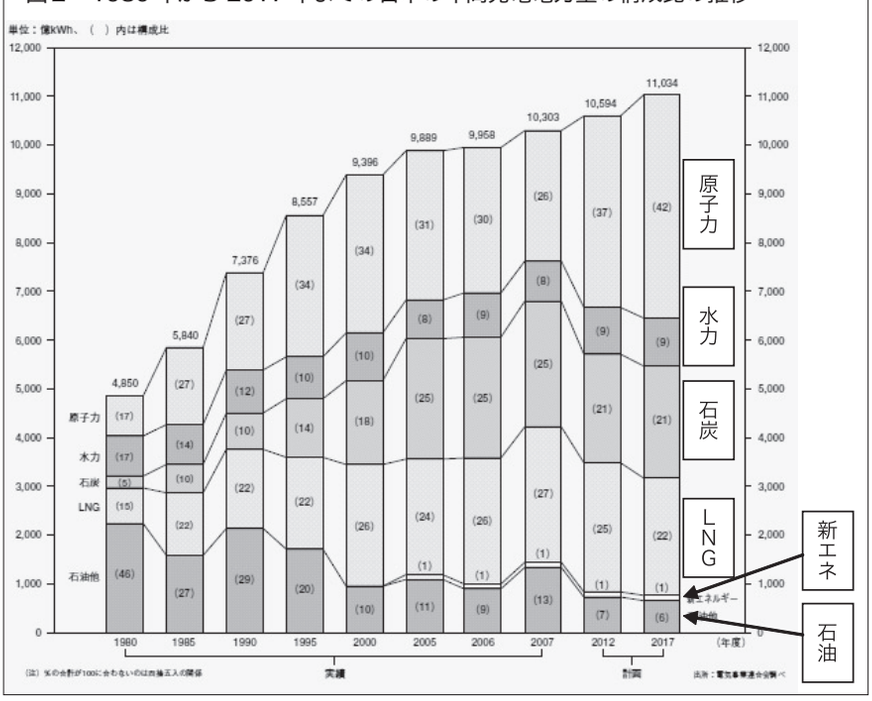




写真１　1960 年代の水力発電の象徴とも言うべき黒部ダム。7 年の歳月と延べ 1,000 万人を動員して建設された。まさに土木技術の記念碑的構造物である。

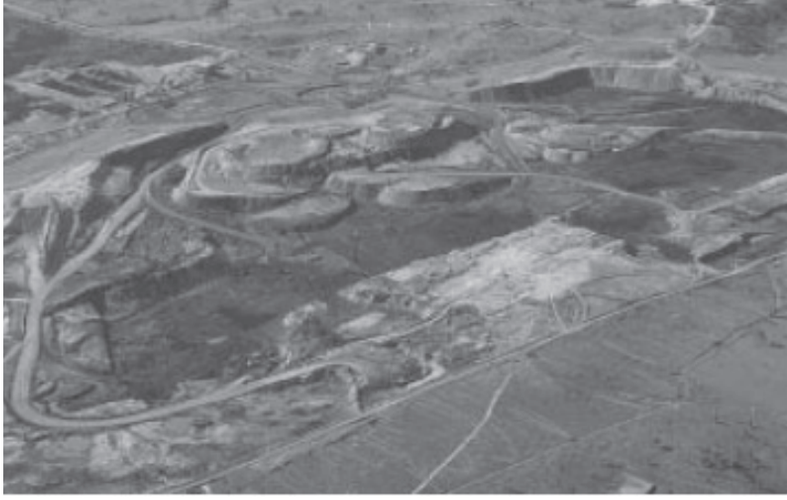


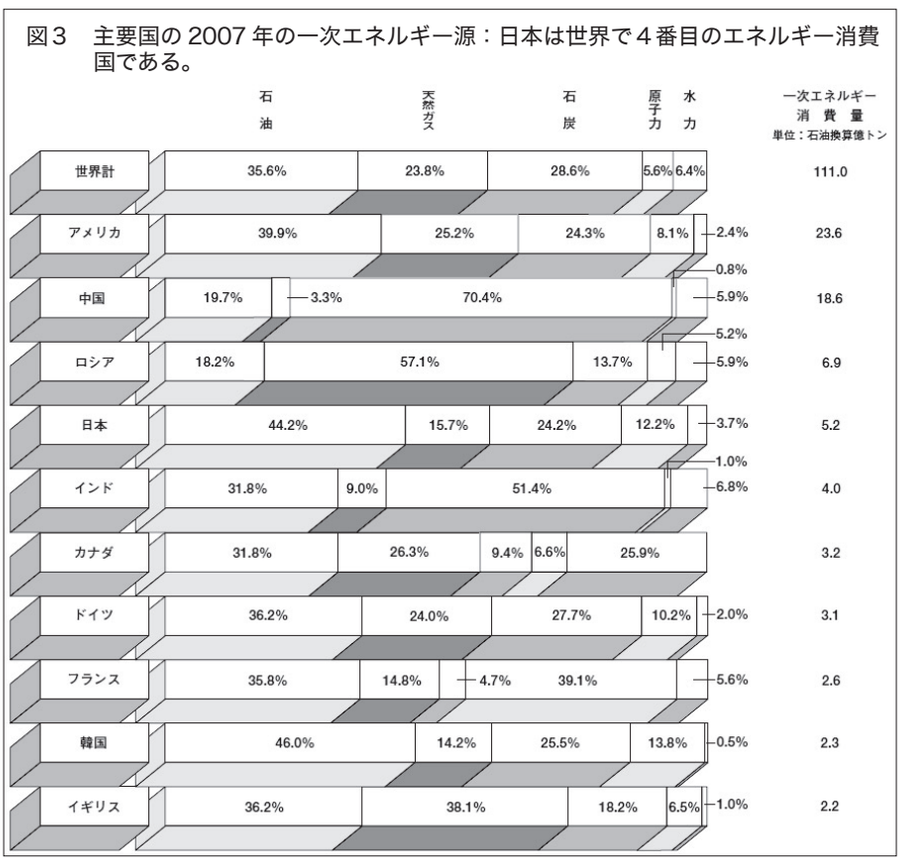
写真２　オーストラリアの広大な石炭鉱山：巨大な土木事業である。

足分は国内産の石炭を燃料とする石炭火力が担っていた。その後、豊富で安い石油の出現によって火力発電が水力発電を上回るようになった。火力発電の燃料は石油、石炭、LNG が使われているが、最も多いときで全発電電力量の 6 割以上を石油が占めていた（1965 ～ 1975 年頃）。しかし、オイルショック以降は高価で供給の不安定な石油に代わって、原子力、石炭、LNG などのエネルギーを使った発電が進んだ。土木技術者なら誰でも知っている**写真 1**[3] に示す黒部ダム、1963 年に完成した黒部ダムは黒部川第四発電所で発電を行うために建設された発電専用ダムである。しかし、このころをピークに発電は水力から石油へ、そして石炭、LNG、原子力へと移行していくのである。

2. 石炭をどんどん消費する地球

さて、日本ではまだまだ石炭を燃やしてエネルギーを得ていることを知った。それでは世界はどうであろうか。主要国の 2007 年の一次エネルギー源を**図 3**[2] に示す。ここで一次エネルギーとは、石油、石炭、天然ガスなどの化石燃料、原子力のウラン、水力・太陽・風力など自然から得られるエネルギーのことをいう。また、電気・ガソリン・都市ガスなど一次エネルギーを変換や加工して得られるエネルギーのことを二次エネルギーという。世界全体のエネルギー消費量は、1 年間に約 111 億トン（石油換算）であり、国別ではアメリカ、中国、ロシア、日本、インドの順になっている。そう、日本は世界で 4 番目のエネルギー消費国である。エネルギー源別にみると、ア）世界全体で最も多く使われているエネルギーは石油で、次に石炭、天然ガス、水力、原子力の順であり、イ）中国とロシアは石油への依存度が比較的低く、中国は石炭、ロシアは天然ガスへの依存度が高くなっている。また、世界の発電電力量を見ると、電源別構成比において、39.6%を占める石炭は、19.5%の天然ガス、16.5%の水力、15.6%の原子力、6.7%の石油火力などを圧倒している[2]。世界では、石炭は石油と並ぶ重要なエネルギー源なのである。2007 年の世界全体の石炭生産量は 3,136 石油換算百万トンとなっており、10 年前（2,296 石油換算百万トン）と比べて 37%増加している。同じ 10 年間の石油生産量の伸びが 13%、天然ガスの伸びが 32%であることを考えると、石炭の生産量が大幅に増大していることがわかる。日本では炭坑がほぼ閉山し、一般的には石炭は過去のエネルギー資源を思われがちである。しかし、世界の現実は一層の石炭消費増へと向かっているのである。2007 年の石炭生産量の上位 10 カ国の内、中国、

図３　主要国の 2007 年の一次エネルギー源：日本は世界で４番目のエネルギー消費国である。



アメリカ、オーストラリアが上位３カ国となっており、中国が全世界の４割を生産している。BRICS 諸国の内、中国、インド、ロシアの３カ国がトップ 10 に入っており、石炭はこれらの国々の経済発展を支える大きなエネルギー源となっている。石炭は石油や天然ガスに比べて埋蔵量が豊富で世界の広範囲に分布している。その量は 2007 年の生産量から算出すると 133 年（可採年数）採り続けることができる。中東や一部の海域に偏在し、生産量にピークが見えてきた石油（可採年数 42 年）との大きな違いである。**写真 2**[4] にオーストラリアの広大な石炭鉱山を示す。土質を調べ、埋蔵量を確認し、掘削方法とその進め方を考え、道路を作り、巨大重機で掘り進む石炭の採掘はまさに巨大土木事業である。

3. 石炭と中国の熱い関係

前述のように、中国は世界第１位の石炭生産国である。埋蔵量はどうだろうか。**表 1**[5] に石炭埋蔵量の上位 10 カ国を示す。米国に世界の 28.6%の石炭が埋蔵されている。次いでロシア（18.5%）、中国（13.5%）、オーストラリア(9.0%)、インド(6.7%)となっている。石油の埋蔵量が中東に約６割、天然ガスがロシアと中東に約７割というように偏在しているのに比べると石炭は世界に広く存在している。これは石炭消費国のエネルギー安全保障上重要なことであり、石炭は石油よりも安心して使えるエネルギー資源ということができる。

さて、世界第一位の石炭生産国である中国に注目しよう。実はここから地球温暖化問題が垣間見えてくるのである。中国と石炭の関係を以下に箇条書きにする[6]。

・中国は世界第２位のエネルギー消費国
・中国は世界第１位の石炭生産国
・中国は世界第３位の石炭埋蔵量国(世界の 13.5%)
・中国は世界第１位の石炭消費国（世界の約 25%）
・2000 年から 2007 年末までの８カ年の世界全体の石炭消費量の増加分の 77%が中国
・2000 年から 2007 年末までの８カ年に中国で作られた石炭火力発電所は 603 基、これは同時期の世界全体の 64%
・中国の石炭による発電量は 37 万メガワットで、世界全体の発電量の 28%
・中国における石炭火力の発電量は中国全体の発電量の 77%、世界各国の平均は 42%
・2007 年末の中国の二酸化炭素排出量は 27 億トン

表５　石炭埋蔵量の上位 10 カ国

順位	国名	比率 (%)
1	米国	28.6
2	ロシア	18.5
3	中国	13.5
4	オーストラリア	9.0
5	インド	6.7
6	南アフリカ	5.7
7	ウクライナ	4.0
8	カザフスタン	3.7
9	ポーランド	0.9
10	ブラジル	0.8

いかがだろうか、石炭に特化した中国の驚くべき数字である。石炭は化石燃料としては石油や天然ガスに比べて豊富で安価であることから、経済成長の著しい中国の重要な電力供給源となっている。現在猛烈な勢いで作られている中国国内の石炭火力発電所は、日本の最新の石炭火力よりもエネルギー効率が悪く（約7%）、二酸化炭素の排出量も多い。そして、それらは今後数十年稼働し続けるのである。中国の経済大国への歩みは始まったばかりであり、今年度中には GDP で日本を抜き米国に次ぐ世界第２位の経済大国になると見られている。中国が必要なエネルギーは増えることはあっても減ることはないのである。

4. 石炭大国の米国、オバマは考える

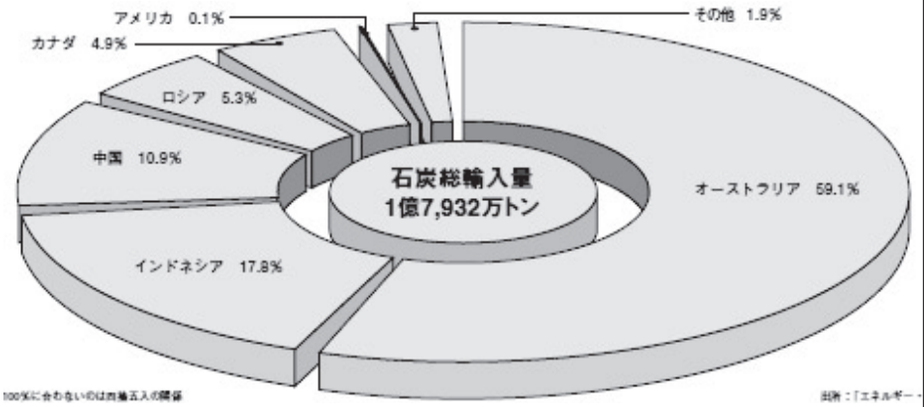
確認しよう。

・米国は世界第１位のエネルギー消費国
・米国は世界第２位の石炭生産国
・米国は世界第１位の石炭埋蔵量国（世界の 28.6%）
・米国は世界第２位の石炭消費国

世界第１位（米国）と第３位（中国）の経済大国は、石炭が豊富な国なのである。そしてこの２つの国は、自国のエネルギー安全保障に非常に敏感な国である。石炭が豊富にある米国は、自国の埋蔵が残り少ない石油と天然ガスを残しておくために、エネルギー資源として石炭を使いたいというのが本音である。しかし、石炭の大量使用は二酸化炭素の大量排出という問題を伴う。そこで出てきたのが「クリーンコール」である。クリーンコール発電とは、既存の石炭火力発電所に比べて発電効率が１～２割高く、二酸化炭素の排出量が少ない発電のことである。したがって、石炭火力への依存度の高い米国、中国、インドなどがこの技術への研究投資を行っている。

2009 年２月 24 日に行われた施政方針演説の中でオバマ大統領は次のように言っている。「気候変動の影響から我々の安全や地球を守るため、究極的には、ク

図４　日本の石炭の国別輸入比率



リーンかつ再生可能なエネルギーから利益が生まれるようにする必要がある。中略。これらの改革を支援するため、風力や太陽光発電、先進バイオ燃料、クリーンコール、米国製のより燃料効率の高い車といった技術の開発に対して年間150億ドルの投資を行う。」

オバマ大統領のエネルギー政策はグリーンニューディールが代名詞になっている。しかし、米国の再生可能エネルギー政策は始まったばかりであり、それによるエネルギー生産量はまだごくわずかである。実質的にはオバマが進めようとしているエネルギー政策は、エネルギー生産の柱となるのが米国内に豊富に存在する石炭の利用拡大と原子力発電なのである。

5. 日本の石炭、そして発電技術

一方、日本はどうであろうか。これも箇条書きにしてみよう。

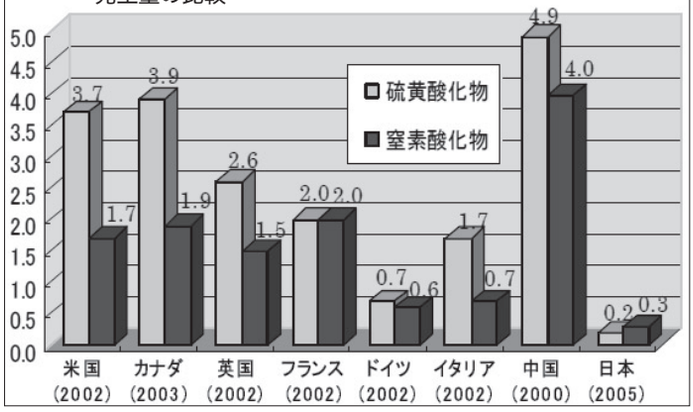
・日本は世界第４位のエネルギー消費国
・日本は石炭のほぼ100%を海外に依存
・日本は世界第１位の石炭輸入国
・日本の石炭埋蔵量は2007年末時点で3.55億トン（世界の0.04%）

悲しいかな、日本は石炭においても石油と同じ構図が見られる。これらに天然ガスを含めて、火力発電のエネルギー源のほぼ100%を輸入に依存しているのである。図4[2]に日本の石炭の国別輸入比率を示す。輸入先の中心はオーストラリアで、約60%に達している。オーストラリアの石炭は採掘が容易な露天掘りのため安価で、埋蔵量も豊富で長期的に供給が安定している。次いで、インドネシア、中国、ロシアなどが主な輸入先である。石炭の場合、石油のような全輸入量の90%を中東地域へ依存しているということは見られない。しかし、オーストラリア一国への60%の依存は、石油の場合のサウジアラビアからの27%に比べると、一国への集中度の高さが浮かび上がってくる。

しかし、少ないとはいえ日本にはまだ3.55億トンの石炭があると推定されている。我々土木技術者は、多くの難工事を克服して鉄道や道路をトンネルでつないで安全な交通網を築いてきた。大深度地下空間利用の技術開発も進めている。この世界に冠たる土木技術を持って、安全で効率の良い石炭採掘現場を築くことはできないものだろうか。

世界の発電電力量の約40%を供給し、日本の25%を供給する石炭火力発電、他の一次エネルギーに比べて二酸化炭素の排出量の多いことがやり玉に挙げられることが多い。しかし、今、日本の石炭火力発電技術が注目されている。図5[6]は各国の石炭火力発電所の硫黄酸化物と窒素酸化物の発生量の比較である。両者とも大気汚染物質であり地球温暖化にも影響を与える。この比較を見れば明らかなように、日本の石炭火力における環境技術は世界をリードするものとなっている。一橋大学教授の橘川武郎氏は次のように語っている[7]。「地球温暖化問題の深刻化とともに、日本国内では、石炭火力発電に対する風当たりが強まっている。発電電力量当たりの二酸化炭素（CO_2）排出量が多いことをとらえて、短絡的に石炭火力を「悪者」扱いし、その新増設に反対するばかりか、極端な場合には、その撤去さえ求める論調が目立ちつつある。しかし、そうであるからといって、石炭火力を「悪者」扱いするのは正しいだろうか。答えは「否」である。中略。この点に関して指摘すべき第一の事実は、地球環境問題はあくまで地球大で解決しなければ意味がないことである。福田康夫前首相は、日本のCO_2排出量を50年までに60～80%減らすという内容の「福田ビジョン」を提示した。このビジョンは、現在でも、政府の環境政策立案に大きな影響力を及ぼしているが、ここで忘れてはならない点は、日本の温室効果ガス排出量（CO_2換算値、以下同様）は13.7億トン（07年度速報値）であり、世界全体の温室効果ガス排出量266.9億トン（05年）の5%程度を占めるに過ぎないことである。50年までかけて日本のCO_2排出量を60～80%（8億～11億トン）減らしたところで、それだけでは、地球温暖化問題はとうてい解決しない。地球環境問題を解決するためには、CO_2排出量を地球的規模で削減しなければならないのであり、それを進めるうえで、世界最高クラスの石炭火力発電の熱効率など、日本の技術力の出番は大きいのである。」日本は一次エネルギーのほ

図５　各国の石炭火力発電所の硫黄酸化物と窒素酸化物の発生量の比較



ぼすべてを海外に依存しているが、二次エネルギーである電気を生産するクリーンな発電所技術を海外に売ることは立派なエネルギー輸出であるのかも知れない。そして、その技術のマーケットは世界中に分布する膨大な量の石炭を原料としているのである。

6. 天然ガスの台頭

再度確認しよう。2007 年時点の日本の発電電力量の内、最も多いのが液化天然ガス火力発電（27%）である。そして日本は世界第 1 位の液化天然ガス輸入国である。

天然ガスは化石燃料のひとつであり、大部分はメタン（CH_4）である。石油に随伴することも多いが、単独のガス田からも生産されている。ガス体であるため、パイプラインにより搬送するか、液化にしたものとしてタンカーで搬送する。液化天然ガス（LNG、Liquefied Natural Gas）は、天然ガスをマイナス 162℃に冷却して液体にし、気体の体積の約 600 分の 1 にしたものである。液化する段階で硫黄分や一酸化炭素などの不純物が取り除かれるため、環境汚染の少ないエネルギーとして、世界的に生産量、消費量ともに増加している。日本は主に、インドネシア、マレーシア、オーストラリアなどから LNG を輸入している。

天然ガスではロシアの存在が大きく、埋蔵量、生産量、消費量すべてにおいて世界の第 1 位または第 2 位にある。旧ソ連は連邦崩壊後経済破綻状態となったが、天然ガスと石油の増産に努め、両者の価格急上昇という恩恵も受けて経済立て直しに成功したのである。しかし、現在、シベリアの大ガス田地帯から欧州諸国へのパイプラインは老朽化し（写真 3[8]）、新設の必要性が迫っている。また、将来的には東の日本へ向けたパイプラインの新設という構想もある。ロシアはそのパイプラインの修復と新設に日本のお金と技術を必要としているのである。

写真３　シベリアの凍土地帯を伸びる幹線天然ガスパイプライン群：西シベリアから欧州へ向かう



7. 日本の化石エネルギーをまとめると

８月号と今月号ではエネルギーの中でも最も消費量が多く、今後とも依存度が最も高いと考えられる化石エネルギー御三家である石油、石炭、および天然ガスについて勉強してきた。しつこいようだがもう一度確認しよう。

・日本は化石エネルギーのほぼ 100%を輸入
・日本は世界第 3 位の石油輸入国
・日本は世界第 1 位の石炭輸入国
・日本は世界第 1 位の液化天然ガス輸入国

国土面積が世界の 60 番台、国土の平地は 3 割でそこに 1 億の人口が暮らす国が日本である。同じエネルギー消費大国である米国と中国の国土面積は日本の約 25 倍、人口も桁違いに多い。日本のすさまじいほどのエネルギー集中消費が浮かび上がる。ついでに記しておこう。日本の食糧海外依存度 60%。

さて、次回からは日本でも自給可能な資源エネルギーのお話へと移ることにしよう。実は、日本は資源大国？、という事実が見えてきたのである。

参考文献

1）“Facing The Hard Truths About Energy,” National Petroleum Council, July 18, 2007, USA.
2）「図表で語るエネルギーの基礎　2008-2009」、電気事業連合会
3）黒部ダムオフィシャルサイト
http://www.kurobe-dam.com/index.html
4）（財）石炭エネルギーセンターホームページ
http://www.jcoal.or.jp/cucoal/04.html
5）BP エネルギー統計レポート 2008 年
6）「石炭火力と LNG 火力の現状と課題について」、資源エネルギー庁、平成 21 年 1 月 26 日
7）橘川武郎（2009）、「日本の石炭火力技術は CO_2 削減の切り札」、PRESIDENT ビジネススクール流知的武装口座 216、2009 年 3.16 号
8）元北海道大学大学院教授　赤川 敏氏提供