

# 積極的環境論VS消極的環境論

——特に極東シベリアの天然ガス資源に視点をおいて——

真 柄 欽 次

はじめに

1. 二酸化炭素排出の三大産業
2. 物流分野におけるフェアネス
3. 昔に戻れるか？
4. 京都議定書
5. 積極的環境改善の可能性
6. 水素エネルギー時代への夢

おわりに

はじめに

21世紀に入り、地球人口は60億人を超え、一人平均、年約3.7トンの二酸化炭素（炭素換算で一人当たり年約1トン）を排出、つまり、地球全体で年60億トン以上の炭素を排出している。生態学者の研究によると、60億トンのうちの約半分が森林や海洋によって吸収され、約30億トンが毎年大気中に残される。温暖化ガスには二酸化炭素以外にもメタンやフロン、硫黄酸化物などもあるが、温暖化の約50%の影響を与えていると考えられる二酸化炭素についてさえ、1997年の京都議定書までは、具体的な方策の提示はなかった。

エネルギーの価格は探査、開発、生産、輸送、販売費用に、他のもろもろの費用や税金を支払ったのちに利益が上がるように設定されてはいるが、そのエネルギー資源を開発したり、輸送したり、使用したために生じる環境破壊については、ほとんど配慮されていないのが現状である。グローバル化時代の自由経済下では、世界のどこかに最も優れたものが最も安く生産され、需要地までの輸送コストを加えても、十分の採算性が見込まれば、貿易が行われる。輸送コストとは貨物船や貨物航空機による輸送コストを意味するだけで、輸送によって生ずる大気汚染や海洋環境破壊に対する弁償コストは含まれていない。地球のエコシステム、とくに海洋や森林がわれわれに与えている物質的恩恵ばかりでなく、水の循環や生物多様性の維持や大気の浄化など「自然の多くのサービス」の価値は計りしれないものがある。もし、これらのコストが正当に支払われたら、実際の輸送コストは現状の数倍ないし数十倍になる可能性があり、長距離輸送は経済的に不採算になるであろう。

環境コストを経済活動の外部において、知らぬ顔を押し通し、金さえ儲ければ良いと考えるのが、現在の「経済のグローバル化」であると言ったら、言い過ぎであろうか？

拡大生産者責任（EPR）の考えでは、たとえば、テレビ・メーカーが製品を販売する段階で、10年後か15年後に起きるであろう廃棄問題について、責任をもつ約束をする反面、廃棄のためのコストを購入者から製品価格の一部として徴収する。製品を輸送する場合でも、船の償却費、人件費、税金や燃料などに利潤を含めただけの「輸送コスト」ではなく、自然の生態系や大気、海洋などにダメージを与えることに対する弁償の費用を加えた「輸送コスト」を支払わなければ、「環境ただ乗り」の特権を持った「運輸業」であると言わざるを得ない。もし、環境に対する正当な費用が支払われれば、長距離輸送はコスト高となり、「経済のグローバル化」という、世界を1つの村にするほどのビジネスは行えなくなる可能性がある。そのかわり、世界各地域の消費地から遠くないところで生産される「ややコスト高な、しかし環境破壊をする原因の少ない製品」が「世界の遠隔地から運ばれる製品」に打ち勝つ可能性が出てくる。地域の活性化にも繋がる可能性がある。ここで一番問題なのは、どちらの製品が経済的に勝つかではなく、どの方式が地球と人類の未来にとってフェア（公平）で、安全であるかである。

エネルギー資源に乏しい我が国は、いまだにその半分以上を輸入原油に頼り、そのうちの約88%を遠距離かつ政情不安定な中東地域から輸入している。アメリカの不参加によって、暗礁に乗り上げかけた京都議定書が、平成17年早々にロシアの参加によって発効することになり、環境に優れた天然ガスを比較的近距离の極東シベリア地域から日本海沿岸地区を通るパイプラインによって輸入し、ガスとしてか、GTL（ガス・ツー・リキッド）として液化後、主たる需要地域である大太平洋沿岸へパイプライン輸送する可能性について、検討する。現在、我が国の一次エネルギー使用に占める天然ガスの割合は約13%に過ぎず、先進諸外国の20数%より、かなり低い。

ロシアは北東アジア地域で唯一のエネルギー資源輸出能力を持った国であるばかりでなく、生産されている石油は環境に優しい「低硫黄」（SO<sub>x</sub>の発生が少ない）である。一方、遠距離に位置し、大量の輸出能力のあるサウジアラビアの原油は「高硫黄」である。ロシアの東シベリアー極東地域では石油よりも、環境上さらに優れている天然ガスが多量に見発見されているが、近接地帯に大きな消費地がないのと厳しい自然環境のため開発が遅れている。しかし、我が国には比較的近い距離にあり、政情も中東ほど不安定ではない。

従って、ロシア極東地域のエネルギー資源の開発を助け、輸入することは、我が国のエネルギー安全保障にとって次のような、いくつかの意義がある。①石油の低硫黄化、②環境上さらに優れている天然ガスへの転換、③近距离、かつ政情が比較的安定している、④パイプラインが枯渇に近い油ガス田を多く持つ、東北地方日本海沿岸地域を通過することにより、ガス地下備蓄基地を建設して、供給をさらに安定化できる可能性がある、⑤パイプラインをさらに人口密度の低い北陸—山陰地方に通し、近辺にガスの液化（GTL）基地や火力発電所等から放出される排気ガス（特に二酸化炭素CO<sub>2</sub>）の地下貯留—固定基地を建設し、我が国のCO<sub>2</sub>排出削減に貢献すると共に過疎地の活性化を助ける。天然ガスとGTLはいくつかの列島横断パイプラインで太平洋沿岸の最終消費地に運ばれる。GTLは原油を原料とするガソリンより、環境上望ましい、⑥これらのパイプライン・システムは将来、自然エネルギー—水素時代が到来した時にも利用できる可能性がある。

CO<sub>2</sub>の地下貯留は、最も安全かつ低コストな方法と考えられ、我が国が京都議定書に準拠するための実現可能な手段として優れているばかりでなく、島根県を含む日本海沿岸地区の活性化にも貢献すると信ずる。

## 1. 二酸化炭素排出の三大産業

二酸化炭素排出の三大産業は「鉄鋼業」、「電力業（火力発電）を含むエネルギー産業」および「セメント工業」といわれるが、ダイオキシンやSO<sub>x</sub>（硫黄酸化物）、NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）、エアゾル（粉塵）そして汚水の処理などについては、厳しい規制が適用されているものの、地球温暖化にとって一番重大な影響を及ぼすと考えられる二酸化炭素については、今日まで不問であった。油田において、石油の生産に伴って発生する随伴（天然）ガスは近隣に消費地がない場合には大部分燃焼（フレア）され、膨大な二酸化炭素空中放出の原因を作っている。石油産業はこれらの行為に対して、ほとんど責任をとっていない。つまり、もしこれらの基幹産業が排出する二酸化炭素を回収し処分するか、できない場合、**温暖化ガスが起こす環境問題に対して正当な弁済を行えば、鉄や電力や石油やセメントの価格は現在の数倍ないし数十倍になる可能性がある。**これは丁度、休日に公共の公園で遊び、ごみを散らかしたまま去り、後始末を他人（地方自治体など）にさせるようなものである。環境の「フリー・ライダー」達と呼ばざるを得ない。

ニューヨーク・マンハッタンや東京・新宿などの高層ビル群を思い浮かべればエネルギーと鉄とコンクリート（セメント）なしの近代国家など存在しないことが明白であることが分かる。グローバル化の進展により、世界中の物資や製品をベスト・マーケットに輸送する事に関わっている物通にしても、鉄その他の金属とプラスチックなどの石油を主原料とする製品で出来たタンカー、トラック、航空機なしには成立しない。ものを運ぶ為には、もちろんエネルギーも必要である。最近はやりの情報通信産業にしても、電線や光ファイバーによる地上や地下のインフラストラクチャーとロケット産業とコンピューターに基づく、リモートセンシング技術に基盤を置いている。

1990年代ははじめから活発化してきた、ハイテク情報通信革命は第三次産業革命とも言われ、過去二世紀間に起きた第一次および第二次産業革命が石炭、石油というエネルギー資源に基づいていたのに比較して、知能と知識と情報に基づく新しい産業革命と言われる。しかし、過去に構築された各種産業と都市のインフラが存在しなかったら、不可能であった。つまり、上に掲げた3つの基幹産業なしには情報産業も成立し得ない。

では石炭、石油などの化石燃料資源や鉄やセメントの原料である石灰岩はどのようなプロセスで生成されたのであろうか。答えは簡単である。つまり化石燃料は光合成によって出来た植物とそれらを食料とした動物の死骸によって出来ており、鉄鉱石の大部分は海性単細胞生物、ラン藻の光合成の影響により海水から沈殿した酸化鉄であり、石灰岩は温暖な古海洋で光合成を含む生化学的な作用により大気と海水から二酸化炭素を取り込んだ結果できたものである。これらの工業原料はどれも、太陽エネルギーと水と大気中の二酸化炭素を原料として取り込み、酸素を大気中に放出した結果できたものである。つまり、これらの資源は昔の太陽エネルギーを自然が保存したのと同じと考える事もできるし、また、大気中の二酸化炭素を地下に取り込んだものであると言う事もできる。

地球創世の頃の大気は多量の二酸化炭素、一酸化炭素と窒素及び水蒸気を主成分として

いたため、極端な温室効果により、超高温かつ高気圧下にあったものと考えられる。この様な厳しい環境下では嫌気性の単細胞生物しか存在しえなかったが、多分40億年くらい前に初めて、二酸化炭素をとり酸素を放出する生物が突然変異により出現したことにより、彼らは死滅（酸化により）した。つまり、人類が文明を築き始めた約1万年前までは、これらの光合成生物による大気クリーニングの期間であったとも言える。クリーニングの結果、生成されたものが化石燃料、鉄鉱石、石灰岩であった。

現代文明はこれらの資源を大量に消費する事によってしか成り立たない事は先に述べた。これらの資源がいつの日か枯渇することを憂える意見もある。たとえば、1980年代初頭には1970年代の2回の石油危機の影響で石油資源の枯渇が真剣に論じられた。生成に数億年を要した資源を過去200年間と言う短時間に大量消費したことを考えれば、枯渇は当然でかつ時間の問題に過ぎない。しかし、枯渇する前に地球環境の破壊により人類が生存できなくなったらどうであろう？

まえにも述べた通り、現代文明を支える3つの資源は地球を覆う大気を浄化する為に欠かされたプロセスの結果生まれたものである。それらを利用する為には大量のエネルギーを使い、結果として大量の二酸化炭素を排出する。だから、これらの**地下資源は我々が利用する為に存在する**と言うよりは、**利用しない事により環境と言う我々の種を含めたあらゆる生物種にとってかけがえのないもの（環境）を守るために存在する**と言える。つまり使ってはならない物なのである。

持続可能な開発と言う表現がある。中長期的な経済発展と言う表現もある。いずれは枯渇する事が分かっている資源をどの様に開発したら持続可能なのだろうか？ いずれ無くなることは分かっているので、その資源を毎年100分の1ずつ使おうが、1万分の1ずつ使おうがいずれ無くなることは分かっている。無くなった時にどうするか？ あるいは、無くなる前に環境悪化に対してどうしたら良いか？ 無くなる前に人類が死に絶えているかも知れない。また、中長期的とは10年なのか？100年なのか？ あるいは 100万年なのか？都合の良い表現ばかりが先行して、内容を伴わない。

当面の言い逃れの為の表現は誤魔化しにすぎない。もっと本質的な解決は無いのか？では、化石燃料とか鉄とか石灰岩などの資源を使わない現代文明は存続できるであろうか？可能性はあると信じる。

もし、化石燃料資源が過去の太陽エネルギーを保存したものであるとしたら、現在日々地球が受けている太陽エネルギー、風力、潮力、波力などと地球内部から来る地熱を利用する事は出来るはずである。これらのエネルギーは二酸化炭素を含め他の温暖化ガスも発生しない。現状ではこれらのエネルギーはコストがかかり過ぎるとか、需要が少ないとか、実用的で無いとか言われる。昔、公害物質をまわりの住民の健康や未来を考えず放出していた企業が大きな賠償問題を抱えて、存続が危ぶまれていることを考えれば、我々の進むべき道は自ずと明らかになる。真面目に、真剣に、しかも目先の事にとらわれず、自然に害を与えない方策を取る事が長期的にはベストとなる。

## 2. 物流分野におけるフェアネス

アメリカをはじめ多くの先進国の過去半世紀間の交通手段の変化は鉄道などの公共交通システムから高速ハイウェイによるマイカー利用へであった。鉄道での旅行や輸送は時代

遅れで、ハイウェイをドライブし、物資をトラック輸送する時代になったが、はたして、このままで良いのであろうか？ 一般にハイウェイ破損の90%以上は大型トラックによると言われている。ハイウェイでのトラックの台数は全体の車数の10%以下であろう。10%以下の台数のトラックが90%以上のダメージを道路に与えている事になる。つまり、90%以上を数で占める普通車は重量が少ない為トータルとしてほんの少ししか高速道路にダメージを与えていない。言い換えると、トラックは普通車の数十倍以上のダメージをハイウェイに与えている事になる。トラックの通行料金は普通車にくらべて、多分、数十%高いかもしれない。しかし、トラックが与えるダメージに比べれば、高速料金は安すぎる事になる。

アメリカの場合ハイウェイ料金は一般に安く、多くの場合無料であり、ハイウェイの維持費は大部分ガソリン税や州税ないし所得税で賄われている。ガソリン税はあらゆる車がダメージの多少に関わりなく、燃費に従って支払う。だからトラック業界は彼らが与える道路へのダメージの程度を考えれば、ハイウェイをほぼタダ同然に利用している事になる。ヨーロッパや日本でもほぼ似た様な状態ではないだろうか。ただ乗り同然の結果、トラック輸送の方が鉄道輸送より経済的で、後者を過去の交通、輸送機関の地位に落として来たことになり、フェアな競争の結果と言えない。一方、鉄道会社は自己責任として、線路やトンネルや鉄橋などの保全をしなければならない。それらにかかる費用を他人に払わせるわけにはいかない。

さて、環境破壊についてはどうであろうか？ 大型トラックは多分、普通車の数倍の二酸化炭素を排出するが、自然に対するそれだけの責任を取っていない。ディーゼル車から排出されるエアロゾルが我々の呼吸器官に与える悪影響については、石原東京都知事が話している通りである。もしこれらの二酸化炭素や有害塵物質を空気中から除去するとしたら、はたして どれだけのコストがかかるであろうか？ 仮にそのような事が可能となった場合においてである。

国土交通省によると、トン・キロメートル当たりの二酸化炭素排出量は営業用貨物車が828gであるのに対して、鉄道はたった100gである<sup>1)</sup>。つまり、トラック輸送は鉄道輸送の8倍以上の二酸化炭素を排出している。だから、もし環境破壊に対するコストが実際、支払われたとしたら、トラック輸送ほどコスト高な方法は無いのではなかろうか。従来、コスト（環境を無視した見かけだけのコスト）と納期だけが優先されてきた物流分野において、ようやく変化の兆しが見え始め、環境問題に配慮して、トラック輸送から鉄道や海運への、いわゆる「モーダル・シフト」が、松下、キャノン、富士通など、いくつかの大企業でようやく始まった。安全や環境の保全を経済と経営に内部化することによって、もっと公平で人間生活にやさしい社会を作りたいものである。しかし、2002年現在46.7%の日本企業はいまだ「モーダル・シフト」を実施する予定はないとのことである<sup>1)</sup>。

輸入食料に関して、フード・マイレージ (Food Mileage) という考えがあり、「輸入相手国別の食料輸入量X輸出国から輸入国までの輸送距離」という指標を計算、総集計すると、我が国のフード・マイレージは約5千億トン・キロメートル (平成12年) となる<sup>2)</sup>。我が国の穀物と油糧種子は長距離輸入に頼っているのでトン・キロメートル値が高く、全ての輸入食糧を合計し、人口一人当たりで見ると、韓国の約1.2倍、アメリカのなんと、8倍となる。つまり、我々日本人が取得している食料は地球環境に大きなダメージを与えた後、得られ

たものである。

### 3. 昔に戻るか？

今から約40年前、1960年ごろの世界人口は現在のほぼ半分、約30億人で、当時は現在よりも一人あたりの炭素排出量も少なかった<sup>3)</sup>。つまり、地球の生態系が毎年吸収可能な30億トンより少ない炭素を排出していたものと考えられる。平成15年度環境白書<sup>2)</sup>の序章によると、1960年の大気中に存在した二酸化炭素量は約320ppmであったが、2000年現在では360ppmを越えるレベルに達している。平均して、一年に1ppmずつ増加したことになる。結論として、1960年頃までは地球大気中の二酸化炭素量の急激な増加はなかったものと考えられる。では、21世紀に入って、1960年当時の人口と生活程度に戻ることは可能であろうか？答えは否である。

「昔は良かった」的発想はほかにもある。徳川後期の江戸では物質の循環がほぼ完全に行われたため、当時の世界の大都市中で最もクリーンであったと言われる。人家から出る「糞尿」は農家が肥料として引き取り、出来た作物を都市部に売りにゆく自給自足の循環社会であったと言われる。肥料を提供してくれた家庭には野菜などで多少のお礼をすることが習慣であった<sup>4)</sup>。循環都市江戸に比べて当時のロンドンでは石炭すすで汚れ、樹木の幹が黒ずんでいたため白っぽい昆虫類は鳥に捕食されて、絶滅に近づいたという話がある。また、当時のパリは市内に放置された廃棄物の悪臭のため、王家の家族や貴族達が住みきれなくなって、ついに郊外のルーブル地区に御殿を建築して逃げ出したのが、現在のルーブル博物館であるといわれる。

江戸的な循環社会は現在のインドネシアにも存在するらしく、そこでは大きな池の周りに人家が取り囲む形で建ち並び、トイレからの排泄物は池に落ちて、そこに住む魚のえさとなる。成長した魚は住民の食料となる。これらの話は聞いているだけなら良いが、実際にその現場に行くと、人糞で育った魚を現代日本人が食べようとするかは疑問である。江戸の話にしても、当時の日本人口はたった3000万人で、現在の約4分の1に過ぎなかったことを忘れるわけにはゆかない。3000万人の粗食に絶えていた日本人を養ってきた日本の農地は明治以後の開発によって大きく破壊され、現存する農地ではどのような近代農法が使われても、おそらく3000万人すら養えないであろう。しかも、現代日本人はアメリカ式の食事にも慣れ親しんで、飽食を習慣としている者が多い。

現代人、とくに先進国に住む人間に途上国での生活に近い状態を期待することは無理であるし、実行不可能な「我慢」を強いたり、無意味な「精神論」を吹き込んでも、成果は上がらないであろう。これらは皆、筆者の考える「消極的環境論」である。現代の生活状態(Living standard)を維持しながら、実現可能で、かつ地球環境を守り得る「積極的環境論」は無いのか？これが本稿の主題である。

### 4. 京都議定書

化石燃料の燃焼に原因する地球温暖化問題を国際的に最初に討議したのは1985年の国際環境計画(UNEP)によるオーストリアでのプラハ会議であった。その後、1988年の気候変動に関する政府間パネル(IPCC)と1992年の気候変動枠組み条約、1995年ベルリンでのCOP1(第1回条約締結国会議)が続いた。しかし、地球環境問題について、具体的にかつ詳細

に検討されたのは、1997年の京都議定書（COP3）であった。COP3の主な点は次の通りである<sup>5)</sup>。

- A. 先進国全体で2008から2012年の5年間平均で1990年に比べて、二酸化炭素、メタン、フロンなどの温暖化ガス排出を5%削減する。
- B. この目的達成のため、先進国ごとの削減量を割り当てる。
- C. 気候変動枠組み条約締約国のうち55カ国以上が批准すること、および基準年において先進国排出量の55%以上を占める先進国が、議定書を批准すること。

さらに、京都メカニズムとして、次のような温暖化ガス削減の補完的な仕組みを取りいれる<sup>5)</sup>。

- A. JI(Joint Implementation)共同実施  
先進国同士が共同で温暖化ガス削減を実施し、削減できた分を実施国間で分けて、目標達成量として、利用できる。
- B. CDM(Clean Development Mechanism)  
先進国と途上国との間で、温暖化ガス削減を共同で行い、先進国が途上国に環境、省エネ・省資源技術や資金を提供し、成果を先進国の温暖化ガス削減のクレジットに加える。
- C. 排出権取引 (Emission Trading)  
先進国間で排出の割り当て量を取引する制度。

アメリカ政府の否定的な態度により、暗礁に乗り上げそうになっていた京都議定書にロシアが加わることが決まったため、2005年早々には実施に移される方向性がでてきた。今後の進展を見守りたい。

## 5. 積極的環境改善の可能性

「江戸時代の日本人がいかに資源節約的であったか」などの、懐古趣味的やせ我慢論や精神論ではなく、現代の科学と技術に基づいて、現代人の生活レベルを維持しつつ、地球環境を守り、かつ改善する方法はないか？ もしそのような方法があるとするれば「積極的環境改善法」と呼ばれるべきものとする。

大きく分けて、5つのグループの方法があり、それらはA. 光合成の活性化、B. 自然エネルギーの利用、C. 二酸化炭素を含む廃棄物質の処分、D. 環境上、より優れた地下資源への変換 E. エネルギー効率改善、である。

- A. 光合成の活性化
  - A1. 植林による人工林造成

京都議定書（COP3）のメカニズムB. Clean Development Mechanism では先進国と途上国が協力して、破壊の進んでいる途上国において植林を行うことになるが、すでに多くの国際的企業により、植林が報告されている。COP3が国際的な条約になれば、将来、大規模植林活動が進展するであろう。荒れた土地に植林する事は、勿論、奨励されるべきであるが、

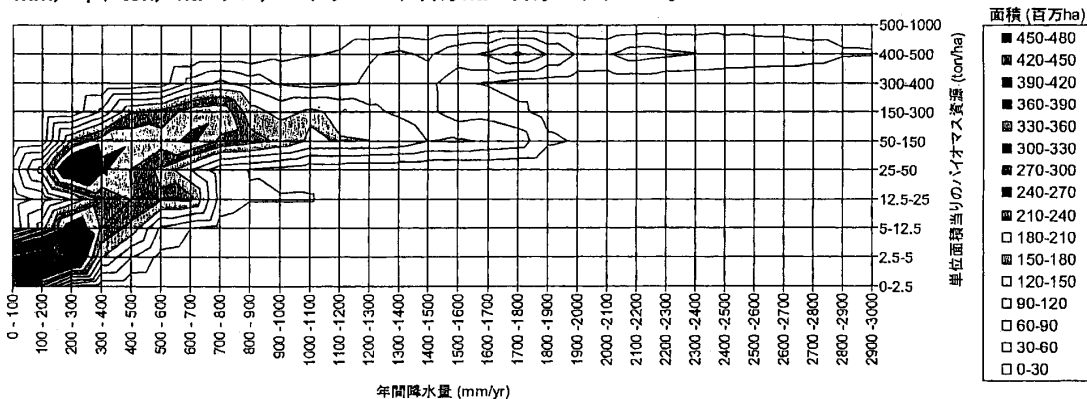
人工林は生物の多様性の観点からは、自然林には及ばない。

過去半世紀の間に中南米で37%、アフリカで52%、アジアで42%の森林が失われ、2020年頃には世界の森林面積は陸地のたった7分の1に減少すると予想される<sup>6)</sup>。生物多様性(Biodiversity)は遺伝子、種、生態系の3つのレベルでとらえられると言われる<sup>7)</sup>。遺伝子の多様性と言うのは、同一種の中でもDNA塩基配列の違いによって、個体の色、形、大きさなどが異なる事を指す。種の多様性とはある地域内の生物種数の大きさを言うが、一般的にリンや窒素などの栄養塩が生物体のなかに多く存在し、無機的なものが少ない生態系は種の多様性が高いと言われる。リンネ(18世紀、スウェーデンの博物学者)以来、分類学者による研究の結果、約140万種<sup>8)</sup>が記載されているうち、何と云っても昆虫類の種が多い(約75万種)。第2は多細胞植物で、これらの種を多く含む熱帯雨林は生物種と遺伝子の宝庫と言われる。

植物の光合成には太陽エネルギー、気温、湿度、高度、土壌の状態などが影響を与えるが、水が不足していれば勿論不可能である。図1には年間降水量(mm/年)と合成されるバイオマス資源量(トン/ヘクタール)との関係が示されている<sup>9)</sup>。降水量の増加にともなって、光合成されるバイオマス量が増加する傾向が示されているが、年間降水量700-800mm以下の地域ではバイオマス資源量が減少する。降水量の少ない半乾燥地域では、適切な集水施設を構築することにより、植林が可能になるばかりか、バイオマス生産量を増加させる可能性がある。

半乾燥地でしばしば行われているAgroforestryは穀物や野菜を育てるのに、強すぎる太陽光を避け、土壌からの水の蒸発を弱めるために農地に植林をし、樹木や灌木の間に作物を植える半乾燥地のための農法であるが、この方法は乾燥の激しい土地で人口林を作る方法でもあり得る。平均湿度20-30%の土地で、従来使われていた高圧スプリンクラーを使用すると、約3分の2の灌漑水が蒸発で失われる(Texas A. & M. 大学 L. New教授談)。そのため、蒸発の少ない低圧スプリンクラーや点滴農法をTexas A.& M. 大学で開発した<sup>10)</sup>。これらを応用すれば、水不足の地域で植林と農業を同時に始め、地球環境改善にも貢献し得ると信ずる。

図1 「年間降水量」と光合成される単位面積当たりの「バイオマス資源量」の関係は植物の繁殖「面積」で示す図。年間降水量が700-800mm/年以下の地域ではバイオマス資源量が減少する<sup>9)</sup>。mm/yr=mm/年、ton/ha=トン/ヘクタール、百万ha=百万ヘクタール。



## A2. 沿岸地域と海洋で光合成活性化

環境破壊は地球のすみずみにまで及んでいるが、人口密度の高いアジア・太平洋地域に



おいては、とくに顕著である。この地域は陸地面積としては、世界の4分の1しか持っていないが、人口は世界の約58%を有する。つまり、アジア・太平洋地域の人口密度はその外の地域の約4倍となる。過去20-30年間にこの地域で起きた高い経済成長により、内陸農村部から、富や仕事を求めて、沿岸部への顕著な人口移動が起こり、環境破壊をはやめている。この傾向は中国においてとくに顕著である。

陸からの各種の汚染物質が海に流れ込んだり、沿岸部に工業地帯、住宅地帯、観光施設などを建設するために、大規模な破壊が進んでいる。被害は海岸に近いマングローブ林、やや沖合いにあるサンゴ礁だけでなく、多くの海藻や魚類を含む海の生態系全体に及んでいる。サンゴ礁やマングローブ林は海の熱帯雨林とも言われ、光合成の最も活発な生態系であり、地球環境保護にとって、大切なものである。とくに、マングローブは海水を吸収して成長する沿岸植物で、貴重なものであるが、1990年代以降、アジアの途上国の外貨稼ぎの手段としての高級魚（とくに鮭とエビ）の養殖池を沿岸部に作るため、大規模な伐採が進行している。世界のサンゴ礁の約80%、そしてマングローブ林の約40%が人口過密で環境破壊の進むアジアの沿岸部と海洋に存在することは、誠に皮肉なことかも知れない。つまり、これらの貴重な自然資源がもっと人口密度の低い地域に存在していたら、あるいは、地球の将来は少し明るかったかも知れない。

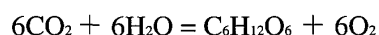
アジア大陸には世界の屋根といわれるヒマラヤ山脈があり、陸地の標高差が大きい。またこの地域にはモンスーン雨が降り、台風やサイクロンによる雨水によっても、土砂が削剥され、海に運ばれる。水系面積としては世界の17%に過ぎないアジアの河川は大量の土砂と水を、汚染された混濁液として海に運び、沿岸近くで沈殿させる。その堆積物量は世界全体の量の約半分に達するといわれる。この様な膨大な量の堆積物を海岸付近でせき止めるのに、マングローブ林と各種海藻が有効に働いている。しかし、近年の工業用地、住宅地、観光施設、養殖池の建設によるマングローブ生息地の破壊は沖合いのサンゴ礁の存在さえも危うくしている。サンゴは太陽光線をいっぱい受けられる水深100米以浅の暖かく、透明な海で育つ。つまり、混濁液を好まない。

一方、はるか沖合いに生息するサンゴ礁は台風やサイクロンに伴って起きる高波を弱める働きにより、沿岸部にあるマングローブを守る。結論として、マングローブ、海藻、サンゴ礁は沿岸と海洋地域で共生し、地球を守っている。海底深部を震源とする地震によって起きる津波から人間を守るためにも、この生態系は有効であろう。

京都議定書に準拠するための手段の一つとして、新エネルギー・産業技術総合開発機構はマングローブ植林、サンゴ礁の造成、大型海藻の育成などを提案している<sup>9)</sup>。マングローブは約65カ国、16万平方kmの地域に存在するが、もともと陸棲であったものが、進化の過程で、沿岸に進出すると同時に海水を吸収し、葉を含む樹木の部分に塩類を蓄積する能力を持つことになった。マングローブの枝は横方向に成長後、海底や陸上に垂れ下がり根をはりながら、繁殖範囲を広げて行く。枝や幹に海藻類がからまり、砂、シルト、粘土や泥をフィルターし、堰き止める。混濁している河川水を浄化すると同時に、堆積物で洲を作る能力をもつユニークな植物であるが、近年、伐採が進んでいる。新エネルギー・産業技術総合開発機構はマングローブの大規模な植林を低温限界24度C以上の沿岸地域で提案している。しかし、それにも増して、現存するマングローブ林を破壊から守ることが大切である。マングローブの年間の光合成による炭素固定能力は2.2トン/ヘクタールと評価されてい

る<sup>11)</sup>。マングローブは塩水でも成長できる能力を持っているので、この植物のDNAを他の野菜や樹木に移すことによって、塩害の進んだ土地での農業や植林を可能にできないか？

一方、海生生物の集合体であるサンゴ礁については化学変化の状況はもっと複雑であり、今後の基礎研究の成果が待たれる。光合成により、大気中から二酸化炭素、根や葉から水分を吸収して、炭水化物 ( $C_6H_{12}O_6$ ) を生成し、酸素を放出する化学方程式は次のとおりである。



サンゴ礁では、同時に石灰石 ( $CaCO_3$ ) も生成されるが、それに伴って二酸化炭素と水が生成される。



しかし、石灰石の原料である  $HCO_3$  はもともと海水中に含まれている  $CO_2$  に起因するので、トータルとして、酸素の大気中への排出が多く、サンゴ礁は海の熱帯雨林と考えられ、保護されるべき共生体と思われる。年間固定可能な炭素量は1.7トン/ヘクタールであるが、造成可能面積は1億5000万ヘクタールと評価されている<sup>11)</sup>。この面積はマングローブの約6000万ヘクタールの2倍以上である。

海藻の造成については、太陽光が通過し得る水深100米以浅の海域でなければならないが、どれほどの面積が地球上に存在するかは不明である。年間炭素固定量は8.7トン/ヘクタールである<sup>11)</sup>。

先にも述べたとおり、地球創世の頃の海には鉄イオンが充満していたと言われる。約40億年以前に進化した単細胞植物、ラン藻類の光合成作用により、その後、これらの鉄イオンが酸化鉄として大量に海底に沈殿し、縞状鉄鉱床となった。その結果、現在の海水は鉄イオン不足の状態にあるので、海洋に鉄分を散布することにより、海藻の生長を促し、光合成を再び活性化できるという考えがある。バハマ海域などでの実験や北海道海域での実験も報告されているが、その実効果については不明な点が多い。

## B. 自然エネルギーの利用

太陽光または太陽熱、風力、潮力、波力などは、二酸化炭素を発生しないとは言え、季節や昼夜や気象によって影響されるエネルギー資源で、人間生活のパターンとほとんど一致しないため、現在は補完的エネルギーになり得るのみである。つまりエネルギー供給の主力は化石燃料や水力や原子力に頼らねばならない。水力も自然エネルギーの利用であるが、発電のためのダム建設には多くの環境破壊が伴う上、建設されたダムに堆積物が溜まったり、自然災害によりダムに亀裂が入ることもあるので、半永久のものではない。多分、地熱発電のみが自然エネルギーのうちで、あまり環境破壊的ではなく、しかも半永久的に使えるものであろう。

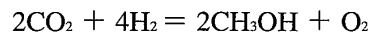
太陽熱などの「利那的(?)」エネルギーを定常的に使い、主力エネルギーとするためには、エネルギーを保存する方法を考えねばならない：三つの方法があり、熱として保存するか、電気として保存するか、あるいは、水を電気で分解して水素として蓄えるかである。カリフォルニア州では太陽熱をコンピューターでコントロールされている反射鏡で集め、

岩塩を3000度Cくらいに加熱、地下保存し、電力需要に応じて、蒸気タービンにより発電する。もう一つの方法は太陽電池で発生させた電気を蓄電し、必要に応じて使用する。しかし、蓄電コストは高い。最後の方法は発生した電力を使って水を分解し水素を保存する。

図2によると、太陽電池の生産は1997年以来、年30%以上のすばらしい成長を続けている<sup>12)</sup>ものの、現在までに世界中で設置された1140メガワットの太陽電池発電能力は、全世界の電力需要のたった1%以下に過ぎない。太陽電池の生産では、我が国が世界No.1であり、2001年現在、世界の44%シェアを占める。

途上国のうちの多くが赤道を挟んで北緯、南緯30度以内のゾーン、つまり太陽光の豊富な地域に存在すること、並びに、これらの国々の多くが送電線を含むインフラを持っていない事実を考慮すると、家屋やビルの屋根に取り付けた太陽電池で発電した電力により、夜間の光とコミュニケーションを獲得する可能性が出てきたことは望ましいことである。現在、世界中で17億人が電力の恩恵なしに暮らしている事実は我々を驚かせる<sup>12)</sup>。1991年以降、太陽電池設置のために5億2000万ドル（約550億円）が世界銀行によって、融資され、50万台以上の施設が作られた<sup>12)</sup>。アジアの途上国ではインド、スリランカ、ベトナムなどで多くの施設が建設されている（1万6000台以上）。

未だアイデアの域を出ていないが、先進国で発生した二酸化炭素を液化後途上国へタンカー輸送し、太陽エネルギーを使って、燃料として使えるメタノール（Methanol, CH<sub>3</sub>OH）を製造する。



一方、途上国で製造されたメタノールを先進国へ輸出する循環システムの構築が考えられるが、実現には時間と投資が必要である。

地域の景観と渡り鳥などの自然物への影響はあるものの、風力発電の成長はすさまじい。ドイツ、スペイン、デンマークなどのヨーロッパ諸国が70%以上のシェアを占める風力発電能力は2001年現在、2万4800メガワット（太陽電池の20倍以上）に達した（図3<sup>12)</sup>）。

現在、ドイツは総電力重要の3.5%を風力に頼っているのみであるが、2025年までに25%に上げ、現在30%を占める原子力を廃止する計画である。スペインは風力発電産業の育成に力を入れ、2002年現在、デンマークに続いてヨーロッパ第2位の生産能力を持ち、ラテン・アメリカや中国へも輸出している。アジアではインドで2001年に300メガワットが追加され、総発電能力1500メガワットに達するまでになった。

世界的に見て、潮力や波力による発電方式に顕著な動きはない：潮力発電は沿岸での海面の満潮、干潮による上下運動を水力発電と同様な方法で発電し、波力発電は波の動きを空気の動きとして、コンクリート製のフードに閉じ込め、空気タービンを動かして発電する。これらの方法はいまだ実験の段階にある。浅い海と深海の海水温差を利用した発電法なども考えられているが、コストと海洋環境問題を含めて実用化のめどは立っていない。

地熱発電は地球各地で安定的に発電を行っているものの、総量としてはとるに足るものではない。ゴミを地下に貯蔵して、メタン・ガスを発生させる「ゴミ発電」については、ヨーロッパの例などが報告されている。

これらの自然エネルギーの保存法をして、最も期待されるのは水の分解による「水素」

の製造であるが、①インフラ整備や、②エネルギー濃度（単位容積あたり、発生可能なエネルギー量）の増加、③安全な水素エネルギーの保存法（特に自動車などで）、などの問題があり、それらを解決するには永い時間がかかる。

図2 世界の太陽電池生産 1971-2001<sup>12)</sup>

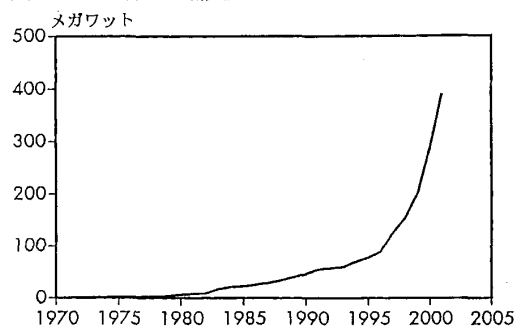
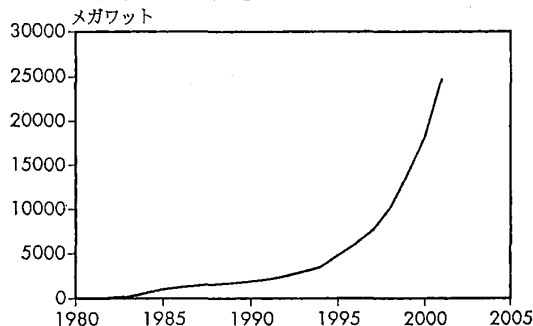


図3 世界の風力発電能力 1980-2001<sup>12)</sup>



### C. 二酸化炭素を含む廃棄物質の処分

廃棄ガスである二酸化炭素を地下に閉じ込める方法である。世界の約600箇所で行われている天然ガスの備蓄に適する地下構造は「二酸化炭素の地下貯留、固定」にも適するもので、アルジェリア<sup>13)</sup>やノルウエーなど産油諸国の帯水層で実施されている。油田によっては、石油と共に生産される天然ガスの中に燃焼しない二酸化炭素が混合（随伴ガス）されているため、分離後、空中に放出されるのが通常であったが、近年の地球環境問題の重要性に鑑み、地下の帯水層に圧入、貯留されるようになってきた。邪魔なガスを地下に押し戻すという消極的な理由からだけではなく、アルジェリアの場合、二酸化炭素貯留によって減少する温暖化ガス排出量を将来の排出権取引で有利に使う可能性を求め、ノルウエーの場合は国策会社スタットオイルが北海油田からの随伴ガスを閉じ込める（年間100万トン規模）ことによって、新しく国内で始まる炭素税支払いを避けることを意図している。

二酸化炭素という不燃性のガスを地下に圧入する作業はテキサス州西部とニューメキシコ州東部に広がるPermian盆地の油層に対して、1972年以来行われている。Permian盆地での目的は石油の回収率を向上させることにあった。通常、油層内にはフリーガス（主に可燃性のメタンガス）と地層水は存在するが、これら3相（ガス、石油、水）間には界面張力が働くために、石油の流動が妨げられる。簡単に言うと、メタンガスや水が石油を動きにくくする。だから、普通の状態（つまり、自噴とポンプによる一次回収）で石油生産を続ける限り、回収率はたかだか、30%（つまり、70%は生産できない）である。二酸化炭素が超臨界状態（高温、高圧）で油層に圧入されると、石油の界面張力が大きく減少するために、15%程度の石油増産が見込める。同じ方法を帯水層に行い、二酸化炭素と閉じ込めようとする試みもある。

日本国内でも新潟油田地帯の関原ガス田で実験が行われている<sup>14)</sup>。実験の目的は1) 圧入された二酸化炭素の帯水層内での挙動を把握し、2) 帯水層ガス貯留システムの安全性を確認し、3) その管理方法を確認することである。二酸化炭素圧入後の経時的な変化をモニターすることに主眼がおかれている。日本国内と近海地域の帯水層は、約900億トンの二酸化炭素貯留能力を持つと評価されるが、この値は火力発電機一基当たり年間約300万トンの排出量と比べても、充分大きな値である。しかし、地震の多い我が国の地下に二酸化炭素を

圧入・固定するには、長期的なモニター実験と具体的な災害対策やテロ対策さえも必要であろう。

今世紀前半に実行に移される可能性のある国際的な排出権取引において有利な地位を築くために、地下に火力発電所、製鉄所、セメント工場などから大量排出される二酸化炭素を貯留、固定する基地を建設することは、最も安全で安価な方法である可能性が高い。京都議定書を遵守するためにも、二酸化炭素を効率よく、しかも安全に処理する方法を考えねばならないが、地下固定がその選択肢のひとつであることは間違いない。二酸化炭素以外の毒性ガス、例えば硫化水素や一酸化炭素も、地下貯留できれば、空中に放出するよりは安全であろう。

二酸化炭素を海底に貯留する実験が静岡大学で行われている。この場合海底のエコシステムに対する深い配慮がなされるべきであると信ずる。もう一つの可能性は深海に存在するメタンハイドレート<sup>15)</sup>ゾーンに二酸化炭素を圧入し、置換する。つまり、二酸化炭素を閉じ込めると同時に、メタンガスを回収すると言う、夢のような可能性であるが、アイデアの段階を出ない。

Permian盆地の地下にはフリーな二酸化炭素ガスを含む地層が存在するので、そのガスを圧入すれば良いわけであるが、火力発電所などから排出される気体の場合は約8%程度が二酸化炭素であるので（残りは主に窒素と水蒸気）、効率的なCO<sub>2</sub>分離法も確立しなければならない<sup>16)</sup>。

#### D. 環境上、より優れた地下資源への変換

自然エネルギーへの変換が早急に進展しないとすれば、次善の方策として、化石燃料中最もクリーンな天然ガスをガソリンに近い液体（GTL）<sup>17) 18)</sup>に変換できれば、ガソリンをベースとした現在のインフラや自動車をそのまま使える。GTLとは「一酸化炭素、水素を経て液体燃料や、石油精製の間留分を合成する技術」の総称を言う<sup>19)</sup>。1バレルのGTLを得るのに1万立方フィートの天然ガスが必要である。これは熱効率、約57%を意味するとのことであるが、原料が天然ガスであるので、GTLは石油を原料とするガソリンよりクリーンである。GTL技術を開発している主要6社（多分、Sasol, Shell, Exxon, Mobil, BP, Syntroleum, Conoco）のプラントは十分な経済性を持っている<sup>19)</sup>。

同量のエネルギーを発生するに当たり、石炭を100として、二酸化炭素排出で石油80、天然ガス60、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）排出では石油70、ガス40、そして硫酸酸化物（SO<sub>x</sub>）排出では石油70、天然ガス0（ゼロ）と言われる。アジアの大都市大気汚染の元凶である粉塵（エアゾル）も石炭や石油からは発生するが、天然ガスからは発生しない。だから、天然ガスを原料としたGTLもクリーンである。

環境上最も優れ、かつ無限の資源供給が可能な「水素エネルギー時代」が到来するためには、ガソリン・スタンドを含む現在のインフラを、大変革しなければならないが、変革自体が環境破壊的である。新しい施設を作ることは、通常、自然環境の破壊に繋がるからである。GTL法はもともと「石炭液化法」の基本であるフィッシャー・トロプシュ反応により、ガスから液体を合成する方法であり、今後の技術改善が期待される。

日本からほど遠くない極東シベリア地域に膨大な天然ガスが発見されているが、近くに消費地が少ないこともあって、本格的な開発段階に入っていない。例えば、イルクーツク

州とサハ共和国の境界に跨るベルフネチョン油・ガス田は1978年に発見され、その後98坑が掘削され、16億バレルの石油と6000億立方フィートの天然ガスが確認されたにもかかわらず、未だに生産されていないし、1986年に発見されたコビクタ大ガス田では約30兆立方フィートのガスが確認されているにもかかわらず、未生産のままである。ほかにも多くの大規模ガス田が発見されているが、この広大な地域での天然ガス探査はその端緒を掴んだ段階であり、今後が大いに期待される。

パイプライン敷設に当たってはサハリンー北海道を通る北ルートと北朝鮮ー韓国ー山陰(ないし、北九州)の南ルートが考えられるが、本州の部分は人口密度の低い日本海側を通るべきものとする。近くに人口密集地がない方が建設コストも少なく、万一災害の場合にも被害を小さく止めることが可能である。日本海側を通過するもう一つのメリットは秋田、山形、新潟各県に数十以上の油・ガス田が存在し、それらの多くが枯渇状態に近づいているので、ガスを圧入、貯蔵することが可能である。パイプライン網の近くに備蓄地を持つことは、ガスの安定供給にとって重要なことである。ガス生産地や輸入途中地域での災害や事故(戦争とテロを含む)、夏の不需要期と冬の需要期との間の需給調整、昼と夜の供給調整などのために、国内備蓄は欠かせないものである。

どこを通過するとしても、地震大国である我が国であれば、地震対策は慎重でなければならない。2年前のアラスカ地震では、併走する道路が陥没したにもかかわらず、パイプラインは無事であった。直線ではなくS字型のパイプラインを台座の上に乗せて、固定していなかったため、台座の一部は破損したものの、パイプ自体は無事であった(地球科学総合研究所地質部長、中山一夫氏談)。海域のパイプラインも同様な方法で作られるので、環境破壊は最小限に止められる。このようなパイプラインは地中に埋設したものより、戦争やテロには弱いですが、修復も容易である。

備蓄に当たっては、地上にタンクを建設するよりも、地下の枯渇油・ガス層に圧入する方が、①安全、②低コスト、③新規投資が少なくすむという点で優れている。世界的にみると600以上のガス地下備蓄基地が存在するが、その約4分の3は北米(アメリカとカナダ)に存在し、大半が枯渇油・ガス田の再利用である。ヨーロッパ諸国やロシア、モスクワ近郊にも備蓄基地がある。アメリカでのコスト比較によると、ガス地下貯蔵のコストは地上のガスタンク建設の10分の1以下で、しかも安全性が高い。

だから、もし極東シベリアの天然ガスを輸入し、備蓄可能地に近い日本海沿岸を通過して、山陰から九州への輸入幹線ルートが建設され、この国内幹線から東西方向に本州横断消費パイプラインによって、太平洋側の大消費地にガスが運ばれることになれば、中東石油一辺倒の日本のエネルギー事情の改善ばかりでなく、地球環境問題の改善にも貢献するであろう。輸入された天然ガスはGTLとして、ガソリン同様に車に使用するか、都市ガスとして使うことができる。現在、我が国の本州横断ガス・パイプラインは新潟ー東京と新潟ー仙台の2ルートしか存在しない。

さて、GTLの原料となり得る天然ガスや石炭は、世界的に十分存在するであろうか?表1には各種の資源から製造可能なGTL量(バレル)が示されている<sup>19)</sup>。これらのGTL量は世界の確認石油可採埋蔵量、約1兆1000億バレル<sup>20)</sup>と比較しても、十分、大きな量である。

表1 世界の化石燃料を使って、製造可能なGTL量の試算

原料	製造可能なGTL量 (バレル)
天然ガス (確認可採埋蔵量)	7112億
石炭 (確認可採埋蔵量)	3兆6952億
メタン・ハイドレート (資源量の5%)	5兆5000億
天然ガス (推定+埋蔵量成長)	9445億

出所 注<sup>19)</sup>の表2を修正

## E. エネルギー効率改善

## E1. ハイブリッド車

ガソリン・エンジンとモーターを組み合わせ、信号待ちなどで停車 (Idling) している時に空回りしているエンジンの力を使って、発電し、その電気を蓄電し、利用する「ハイブリッド車」はエネルギーの無駄を少なくして、エネルギー効率を向上させた自動車である。ハイブリッドとは「雑種」とか「混合種」と言う意味である。平成9年以来、発売され、改良が加えられてきたが、平成13年現在7万5000車が国内に存在する<sup>2)</sup>。トヨタ自動車 (株) が平成15年9月に発売した「プリウスS」の燃費は最高35.5km/lである<sup>21)</sup>。同社は2005年には30万台のハイブリッド車を生産する予定である。

## E2. マイクロ発電

20世紀初頭、アメリカでは発電の半分以上が工場などの産業施設で小規模に行われていた<sup>22)</sup>。発電に伴う排熱も利用された。しかし、当時の発電機は騒音を発生し、煙も出て、信頼性の低いものであったが、その後、蒸気タービン、変圧器、電流変換器などが進化したため、大規模で高効率の中央発電所が電力使用者から、どんどん遠くへ離れて行った。1970年には世界の約90%の電力は電力会社が供給するようになった。しかし、発電規模拡大は1970年代に壁にぶつかり、環境への関心、原子力発電事故、発電機の改良、エネルギー危機などの影響で規模縮小へ向かうことになった。アメリカでの1980年代半ばの平均的発電所はほぼ60万キロワットで、92年には10万キロワット、そして1998年には2万1000キロワットへと減少した<sup>22)</sup>。今後も発電機の熱効率向上と共に、小規模化と分散化傾向が続くであろう。

A.から E.までにリストした積極的環境保護政策に優先順位 (Priority) を付けるには、2つの考え方がある：1) 環境保護上、恒久的な意味で重要なものから付ける「順位」、2) 時間的に今すぐ実施できるものから、遠い未来、実施可能になるものに「時間的順位」を付ける方法である。

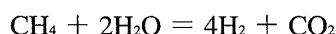
最初の考えに基づけば、勿論、**B.自然エネルギーの利用**が最重要であり、他の方策はそれを補完するものである。一方、第2の考えに基づけば、今すぐ実施できるものとしては、**A.光合成の活性化**、**D.環境上、より優れた地下資源への変換**、があり、一部実用化しているが、今後の技術改善が期待されるものとして、**C.二酸化炭素を含む廃棄物質の処分**、**E.エネルギー効率改善**、がある。インフラの整備と技術開発に時間のかかる**B.自然エネルギーの利用**が最後となる。

## 6. 水素時代への夢

40万年以上前に木材を含むバイオマス（1500-2000Kcal/kg）を使い始めた人類は、19世紀半ばには石炭（5000-8000Kcal/kg）が中心、20世紀は石油（9000-11000Kcal/kg）に移行した。近隣にエネルギー資源を持たない日本には、石油はタンカーで運ばれてきたが、1960年代以降、天然ガスの液化（LPG,LNG）輸送技術の開発により、天然ガス（13000Kcal/kg）も輸入されるようになって来た<sup>23)</sup>。

固体燃料から液体を通して、天然ガスへの移行は、エネルギー効率の向上と同時に環境保護上、より優れた資源への移行でもあったわけで、究極的な水素エネルギー時代の到来を予見するものでもある。炭素分子の発熱量が7800Kcal/kgであるのに反して、水素分子は34000Kcal/kgと高いので、炭素に対する水素の比率が上昇すると共に発熱量も上がる。ちなみに、水素/炭素比は木材が1/10、石炭1/1、石油2/1、そして天然ガス4/1である<sup>24)</sup>。

上に述べたとおり、環境にやさしい自然エネルギーの多くは季節、昼夜、気象などに大きく影響され、人間社会の需要パターンに一致しない。もし、自然エネルギーが発生している間に、そのエネルギーを使って、水を分解し水素を得て保存できれば、燃焼して熱を得るか、燃料電池で発電することができる。メタン・ガス（CH<sub>4</sub>）から水素を取り出すには、次のように水蒸気と反応させることができる。



燃料電池は電池ではなく、発電機である。英語名がFuel Cellであるため「燃料電池」となったのであろう<sup>25)</sup>。マイナス極（アノード）に水素が供給されると、水素原子から電子が開放され、プラス極（カソード）に到達し、電流を生ずる。リン酸形燃料電池は100-200Kwの発電が可能である<sup>25)</sup>。熔融炭酸形、固体酸化物形などの高温型燃料電池は高い発電効率を有するが、現在改良の過程にある。一方、固体高分子形燃料電池（PEFC）は、100度C以下の低温作動燃料電池で自動車などへの応用が可能と考えられるが、現在、早い速度で技術開発が行われている。

燃料電池は環境にやさしいだけでなく、騒音も発生しない上、熱が発生する場合は排熱も利用できる所以、小型の燃料電池を消費個所近くに設置することにより、送電ロスを最小限に止めることも可能となる。高圧、長距離送電に比べて、災害時での対応も容易であろう。

### おわりに

自然エネルギーと燃料電池のコンビネーションで、産業、運輸、民需（ないし民生）のエネルギー需要を満たすには、水素、天然ガス、メタノール、エタノール、ナフサなどを保存、供給するためのインフラを整備しなければならない。環境破壊を伴うであろう。夢のエネルギーと言われるが、夢に到達するためには、多くの苦難を乗り越えねばならない。

インフラの改革、整備を考えると、先進国だけを対象にしても、21世紀中後半までは、この方式が一般的にはなり得ないであろう。それまでの期間は、たとえば、ハイブリッド車のような、現在のガソリンをベースとしたインフラに頼るしか方法はないであろう。

環境破壊が急速に進んでいるアジア地域を守るには、さまざまな方法がとられねばなら



ないが<sup>26)</sup>、ハイブリッド化、自然エネルギー化、そして究極の水素化がなされねばならないと信ずる。環境改善を具体化するためにUNESCO (2001)<sup>27)</sup>は具体的な提案を行っているが、その主なものは「**長期的な視点をもつ、つまり、定期的に環境変化を地域ごとに検証する**」、「**関係機関の連携を強化する**」、「**資金的、かつ、人的に持続可能な政策の策定、実施する**」、「**他の機関、および、公共へのメディアによる情報提供を行う**」、「**総合的な視点を持つ**」などである。

世界的な気候変動、地下水枯渇、塩害を含む土壌の質の悪化などにより、1990年代中葉より世界の穀物生産が頭打ち状態に入っている<sup>28)</sup>。人口増加の影響により、一人当たりの穀物生産となると、1980年代中葉から、下落傾向に入っている。世界の穀物生産の約40%が地下水利用中心の灌漑農法で行われ、その中心がアジア諸国であること、インドの人口が2030年前後には中国のそれを追い越して、世界一になる見込みであることなどを考慮すると、早急な対策の実施が切望される。

人間は一日あたり約4リットルの水を飲んでいるが、一日の食事にはその約500倍にあたる2000リットルの水が必要である<sup>29)</sup>。1トンの穀物生産に必要な水の量は1000トンと言われるが、乾燥地や半乾燥地においては、先に述べたとおり、散布中の蒸発により、この量の2-3倍の水量が必要であろう。加えて、人間、とくに経済発展をとげるアジア人の食習慣の西欧化にともなう肉や海産資源の需要増加にともない穀物のうちの多くが飼料として使われており<sup>30)</sup>、今後も増加が見込まれる。

人口過密なアジア地域の唯一の先進工業国として、我が国自体が取るべきエネルギー・環境対策として、次のような提案をしたい。

- A. 中東地域中心の石油輸入を徐々に「極東シベリアからの天然ガス」輸入に切り替える。
- B. 天然ガス輸入はLNGタンカーによるよりも、環境にやさしいパイプラインによる。ルートとしては大都市や工業地帯の少ない日本海沿岸を通る。
- C. パイプライン沿線にガスの地下備蓄基地を作る。最も有望な候補地としては、枯渇に近づいている新潟、山形、秋田県内の油・ガス田が考えられる。
- D. 火力発電所など大量の二酸化炭素発生個所の近くに、廃棄ガス地下貯留・固定基地を建設する。対象の地層は高孔隙率、高浸透率の帯水層（砂岩、凝灰岩など）が考えられる。島根県内および、その沖合いに候補地が存在する可能性は高い。
- E. 輸入された天然ガスをそのままガスとして「列島横断、供給パイプライン」を通して、太平洋沿岸の大量消費地に供給するか、GTL(ガス・ツー・リキッド)に変換した後、別のパイプラインにより供給する。GTLは従来のガソリンと同様のインフラにより、乗用車用として市民に供給される。
- F. 天然ガスのために建設されるパイプライン・システムは将来、「自然エネルギー・水素エネルギー・燃料電池」中心の時代が到来した時にも利用できる。
- G. 京都議定書が発効した暁には、石油からガスへの変換、GTL化、二酸化炭素の地下貯留などで得られる二酸化炭素排出削減を世界的な「排出権取引」に活用できる。

## 謝辞

本論文は平成15-17年度、NEAR財団、研究助成金による研究「極東シベリアの天然ガス開発と日本のエネルギー政策」並びに、平成15年度、島根県立大学学術教育研究特別助成金による研究「日本海沿岸、幹線パイプライン建設とわが国のエネルギー安全保障」の研究成果の一部である。両助成に対し、感謝申し上げます。

NEAR財団助成による研究の共同研究者の一人である地球科学総合研究所地質部長、中山一夫博士より、パイプライン建設にかかわる地震対策、並びに「新エネルギー・産業技術総合開発機構」による報告書<sup>9)</sup>についての情報を提供されたことに感謝する。本研究にとって参考になる考えを含むものである。

また、本稿の原案には匿名の査読者から、多くの貴重、かつ建設的なコメント頂き、内容を改善できた。心より感謝申し上げたい。

## 注

- 1) 日経エコロジー、2004、松下、キャノン、富士通・・・始まった鉄道シフト、日経エコロジー、2004年2月号、114-117頁
- 2) 環境省編、2003、平成15年度 環境白書、384頁
- 3) 真柄欽次、2001、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、北東アジア研究、島根県立大学、第2号、109-120頁
- 4) 石川英輔、2003、江戸はエコ産業、日経エコロジー、7月号、86-87頁
- 5) 目黒たみを、2003、環境保全への挑戦、石油技術協会誌、第68巻、2・3号、180-190頁
- 6) JICA、2001、みどりの国際協力、国際協力事業団、森林・自然環境協力部、東京
- 7) ESCAP、1995、State of the Environment in Asia and the Pacific、638 p
- 8) FAO、1993、Forest Resources Assessment 1990、Tropical Countries、FAO Forestry Paper 112、Rome, Italy
- 9) エネルギー・産業技術総合開発機構、2003、「地球再生計画」の実施計画作成に関する調査事業、平成14年度調査報告書51402009-0
- 11) New, L. and Fipps, G, 2000, Center pivot irrigation, Texas Agricultural Extension Service, 20p. Texas A. & M. University System, USA
- 11) 鈴木款(編)、1997、海洋生物と炭素循環、東京大学出版会
- 12) The World Watch Institute, 2002, Vital Signs 2002, 215p
- 13) 金子憲治、2003、アルジェリアでCO<sub>2</sub>地中貯留開始、三菱重工の“脱炭”事業が本格化、日経エコロジー、2003年2月号、15頁
- 14) 大下敏哉、2002、枯渇油・ガス田の有効利用、石油技術協会誌、第67巻、第6号、538-546頁
- 15) 田中彰一、2003、21世紀の非在来型ガス資源確保への挑戦、石油技術協会誌、第68巻、第2・3号、149-155頁
- 16) 飯島正樹他、1998、燃焼排ガスからのCO<sub>2</sub>回収新技術と石油増進回収法への適用、石油技術協会誌、第63巻、第6号、495-502頁
- 17) 栗村英樹、1998、GTL(gas-to-liquids)技術の適用性、石油技術協会誌、第63巻、第6号、467-474頁

- 18) 藤元薫、2001、GTL(Gas To Liquid)技術の展望、石油技術協会誌、第66巻、第2号、151-159頁
- 19) 兼子弘、2002、GTL(ガス・ツー・リキッド)の時代がやってくる、石油開発時報、石油鉱業連盟、No.135、17-31頁
- 20) Edwards, J.D., 1997, Crude oil and alternate energy production forecasts for the twenty-first century: the end of the hydrocarbon era, American Association of Petroleum Geologists Bull, v.81, no.8, p. 1292-1305
- 21) 日経エコロジー、2003、ハイブリッド車、注目の燃費は最高35.5km/l、プリウスは21世紀のカローラになるか、日経エコロジー、2003年10月号、13頁
- 22) Dunn, S. and Flavin, C., 2000, マイクロ発電とエネルギーの未来、地球白書2000-01、第8章、242-275頁
- 23) 岩間剛一、2001、地球環境問題をふまえた天然ガスの21世紀の挑戦—資源経済委員会報告、石油技術協会誌、第66巻、第4号、385-390頁
- 24) 森嶋宏、1999、未来エネルギーへのかけ橋—天然ガス、石油技術協会誌、第64巻、第4号、311-321頁
- 25) 金子彰一、2003、燃料電池は電池じゃない？、石油開発時報、No.137、30-33頁
- 26) 真柄欽次、2003、アジアのエコシステムとその保護、総合政策論叢、島根県立大学、第6号、71-82頁
- 27) UNESCO, 2001, Wise Coastal Practices Toward Sustainable Small-island Living, 120頁、Paris, France
- 28) Brown, L. R.2002, Grain harvest lagging behind demand, Vital Signs 2002, World Watch Institute, 26-27p
- 29) レスター・R・ブラウン、2004、地球環境の改善に向けた企業活動のあり方を語る、日経エコロジー、2004年2月号、52-55頁
- 30) Brown, L. R.,2002, Meat production hits another high, Vital Signs 2002, World Watch Institute, 28-29p.

**キーワード** 自然エネルギー 水素エネルギー 燃料電池 京都議定書 排出権取引 光合成  
GTL ハイブリッド車 マイクロ発電

(Kinji MAGARA)