

21世紀におけるエネルギーと環境の考証

九州大学機能物質科学研究所 教授 持 田 勲*

1. エネルギー消費と環境の現状

人類は先史以来エネルギー消費を増加しながら、文明の高度化を達成してきた。今日の高度文明は膨大なエネルギー消費の上に成立している。高度情報化社会が進展し、エネルギー消費がいずれ減少するとの予測もあったが、IT、携帯電話、インターネット、ブロードバンド時代の今日、エネルギー消費が減少することはおろか、年々確実に増加している。今日の地球上のエネルギーは、主に約10億の人口を持つ先進国によって消費されている。高度文明は地球上で急速に拡大を続けており、中国およびインドの経済発展とエネルギー消費の拡大は回避である。人口が20億を越える両国の高度文明化は、エネルギー消費の2~3倍増を意味しており、エネルギー供給、その消費に伴う地域環境、地球環境への影響には十分な配慮が必要となろう。

原子力利用を含めて、現行エネルギーの大量消費は必然的に環境負荷をもたらす。SO_x、NO_x、煤塵、CO、ダイオキシン等健康被害をもたらす急性有害排出物は、エネルギーを利用して、捕捉、除去あるいは無害化が可能である。よりエネルギー消費が小さく、除去を徹底する技術の開発が続けられている。現在の我国では、エネルギー消費の追加なしにSO_x、NO_x、煤塵排出量を10ppm

あるいは10mg/m³以下にできる技術開発に努力している。

これに対して、化石資源の消費に伴って排出されるCO₂は、地球温暖化をもたらす排出物としてその削減が要求され、国際的公約が締結された。気温と平衡のH₂Oも一種の温室ガスであるが、削減は困難であり、自然に生成するCH₄も微生物活動と連結して根元的削減もできない。少量排出温暖ガスであるフロンはすでに削減が決定され、N₂Oについても削減技術が探索されている。これら2者や上記の有害ガスとCO₂が根本的に違う点は、エネルギー消費に見合って排出されるCO₂の変換には獲得したと同量以上のエネルギーが必要であるため、この化学的固定には太陽が原動力の自然エネルギーを利用する以外には解決はない点である。

従って、CO₂削減には、第一義的には化石資源エネルギー使用量の削減、第2に、エネルギーの生産、輸送、利用の効率の向上、つまり、省エネルギーの向上、第3に、原子力エネルギーの活用、第4に、再生可能エネルギーの利用拡大を対策としてあげることができる。ここで、再生可能エネルギーは、一義的には太陽エネルギーおよびそれから派生するエネルギーの直接利用であるが、当面CO₂排出を伴う廃棄物、未利用エネルギーの利用も再生

* (財)九州環境管理協会 常任理事

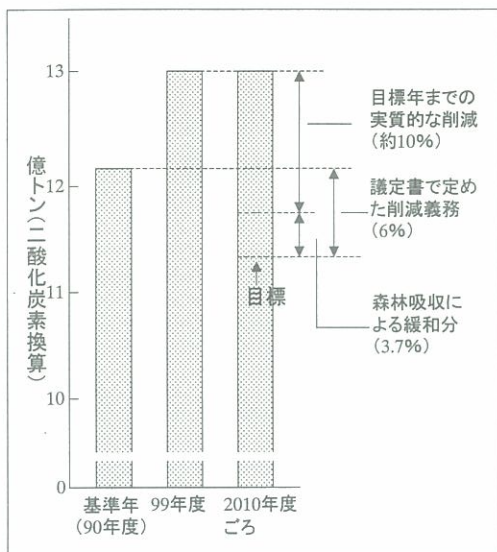


図1 日本の温暖化ガスの排出量と削減目標

可能エネルギーに勘定する政策的な国際約束がある。

一昨年我国の温暖化ガス排出量を図1に示す。90年比6~8%増であり、昨年はさらに増加している。今年9月のマラケシュ会議で、京都議定書がアメリカ抜きで合意され、いずれ日欧で条約批准され、国際公約となる。これに今後従えば、我国は90年度排出量から6%削減を公約した。うち3.7%は森林吸収による削減実効と認められたので、実質2.3%の削減である。しかし、一昨年度の排出量是对90年比6.8%増加しているので、99年度ベースで9.1%のCO₂排出量削減を2010年度には達成しなければならない。今後も1~2%排出量の増加が見込まれていることから、その分も削減対象になるので、10%以上の削減を達成しなければならない。

経団連発表の2000年度主要産業種のCO₂排出量は、表1に示すように、対90年比1.2%増(前年比1.1%増)であることから、上述の増加は民生あるいは運輸輸送部門でのCO₂排

表1 主要業種の2000年度CO₂排出量増減率

業種	年度比(%)	
	1990	1999
電力	9.1	1.5
ガス	-27.0	-5.6
石油	27.3	-2.3
鉄鋼	-1.7	2.8
化学	8.7	-0.2
製紙	7.6	3.1
自動車	-17.7	-2.5
製薬	27.0	0.0
ビール	-5.6	-5.5
全体	1.2	1.1

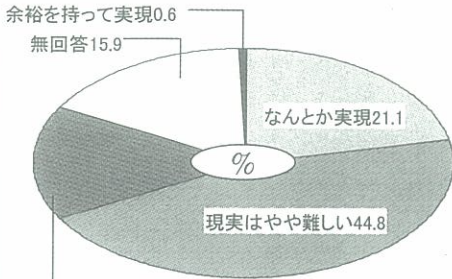
出の割合が大きいのことを意味しており、公約達成をエネルギー消費の削減で達成するとすれば、民生用電力消費と自動車用燃料の削減が必要となる。

図2に日本経済新聞が国民に尋ねたCO₂削減に対する達成可能性と削減法を示した。国民の60%強が達成は困難(15.9%)あるいはかなり厳しい(44.8%)と考えている。すでに国際公約の実現が不回避であり、その削減が基本的に省エネルギー(照明・空調等の節電)に期待しているとすれば、ライフスタイルの変更と景気浮揚とを同時に追求することになり、意識の改革、相当の覚悟ならびに発想を転換するアイデアと実現の知恵が必要となることを認識しなければならない。そのアイデアも知恵も覚悟もなく、国際公約に合意(議長国としての見栄からスタートしたのでなければ良いが)した政府、それを受け入れる国民各層の責任は重い。

2. エネルギー転換・利用効率の向上によるCO₂排出量の削減

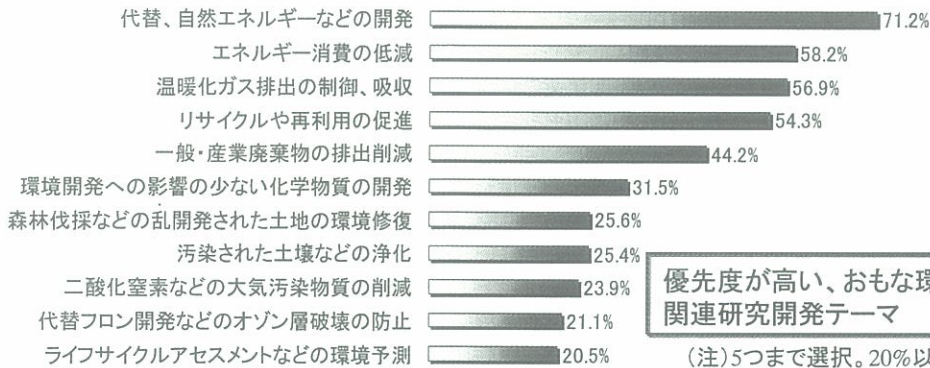
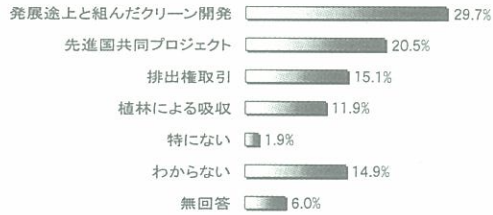
産業部門でのエネルギー利用の高度化は、コスト削減の手段として、既存技術レベルでは相当進んでいる。個々の工程、一企業での

6%削減は実現できるか



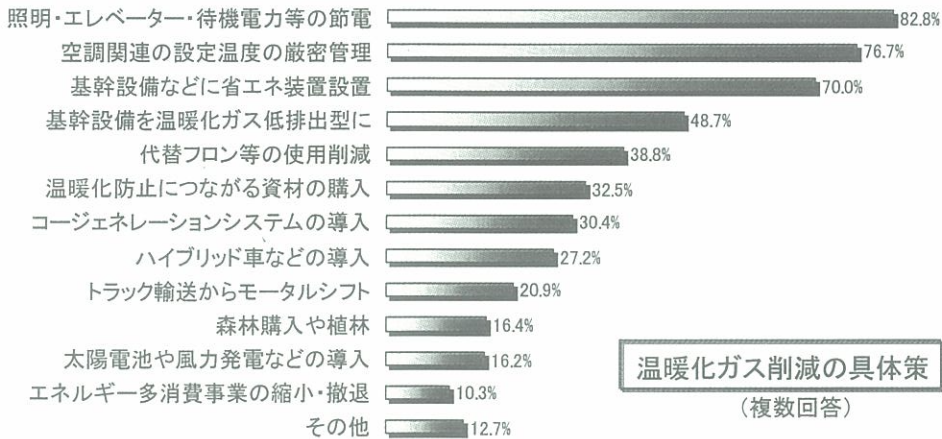
現実には困難15.9

温暖化ガス排出削減 どの補完的支度が有効か



優先度が高い、おもな環境 関連研究開発テーマ

(注)5つまで選択。20%以下の
テーマは除いた



温暖化ガス削減の具体策

(複数回答)

図2 日本経済新聞が国民に尋ねたCO₂削減に対する達成可能性と削減法

利用高度化はほぼ限界に達しているため、大幅な投資、コスト上昇の必要な水準に対しては、今後さらに高度化を目指すとするれば、新しい研究成果の追及、更に成果の実用化、

商業化であり、また企業の枠を越えたコンピナート社会インフラストラクチャーの整備が必要になる。十分な考察の上で、大胆かつ果敢な実施を開始しなければならないが、巨大

な投資も必要となる先端技術の産業空洞化を加速するのではなく、環境と産業の調和する新しい社会の実現の実施例として国際的に輸出できる技術にすることが、基本的方向のひとつになる。

大規模発電効率の向上を最近20年追求し、一定の効果が挙がっているが、実用化、商業化まして技術輸出に至る例はほとんどない。これは、化石資源エネルギーの供給価格が安定している現在、効率向上はコスト上乘を招来する場合が多く、設備投資の大幅削減を実現しなければ、現状では実施できない。石炭ガス化複合発電等の高度技術もその陥穽に落ち込んでいて、開発のテンポは遅く、投資の回収見込みはない。我国には、成果を確実にしていく執念と国際的競争力向上を展望する視野が必要なのではないかと。

民生におけるエネルギー利用技術の高度化も追求されている。そのひとつが、分散電源、コージェネレーションである。マイクロガスタービン、低温高分子電解質型燃料電池等が注目されている。現在の大規模発電効率が約40%であることから、分散電源はこれを越えるためには、併産する熱の利用が不可欠である。一方、電気需要に対して熱の需要が少なく、両者のバランスをいかに達成するかが鍵となる。熱需要に合わせた発電では、電力貯蔵を考えても、バックアップ電源が必要となり、2重投資、待機電力の2重投資になる。その意味で、大規模発電における熱利用の向上、インフラストラクチャー整備も考えていく必要があろう。一方、小規模発電については、熱の質を高め、冷房への応用を可能にし、かつ小規模産業への利用、ミニ温室なども考えていくことが必要であろう。ここにも実用的技術開発が期待されている。

運輸部門における最大のターゲットは、自動車の効率向上であろう。交通機関の整備や渋滞解消のため道路整備も効率向上に有効であるが、極めて低い燃費を向上することも大きなターゲットである。その利得も極めて大きい。空間的安全安定性からの制約が大きい移動体上での改善・改良・大幅な変更は容易でないが、種々の試みがある。勿論、NOx、パーティキュレートなどの排出削減も同時に達成しなければならないので、それに必要なエネルギー消費も極小にしなければならない。燃料、燃焼設備、排ガス処理を一体として考える事が必要な一方で、経済市場原理もあり、協力は一筋縄ではない。車体やエンジンの改良、天然ガス、メタノール、水素自動車、ハイブリッド自動車、電気自動車、燃料電池車等数多くの可能性に事欠くことなく、世界的規模で大競争が始まっている。国の枠組を越えた発想力、開発力、商業力に加えて、材料、システム等の基盤技術力をいかに発揮できるか、私達の覚悟がここでも必要である。

表2に新規エネルギー利用の普及状況をまとめた。クリーンエネルギー自動車、天然ガス、コージェネレーションの着実な成長が見られるが、リン酸型燃料電池は逆に減少している。高分子電解質燃料電池に期待がかかるところであるが、上述の技術制約解決が必要である。

3. 省エネルギー

発展する高度文明を支えながら、資本主義、競争主義のなかでエネルギー消費を制限することは容易でない。図3に示すように、電力需要と実質GDPの間には相関があり、消費電力量からみると民生用電力が総量として産

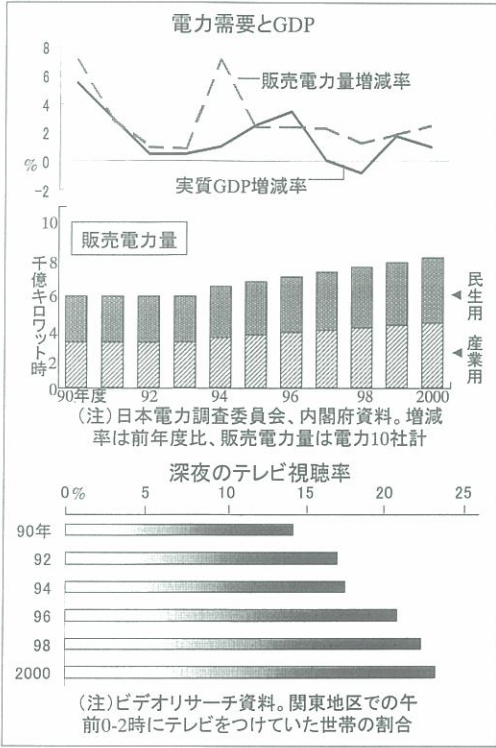


図3 電力需要とGDP・消費電力量・深夜テレビの視聴率の経年変化

業用を越え、しかも依然増加の傾向にある。その象徴が深夜テレビの視聴率増加であり、携帯電話、インターネットの普及である。一方、環境庁の試算によれば、

- ①冷房の設定温度を1℃上げ、暖房温度を1℃下げる。
- ②シャワー時間を1日1分減らす。
- ③炊飯器の保温をやめ、電子レンジを使う。
- ④テレビを見る時間を1日1時間減らす。

等、10項目の省エネルギー努力によって日本全体でCO₂発生量を3430万トン、90年度排出量の2.8%削減できるとしている。増加分を含めた削減率10%に対して25%に達するが、さらに上積みできるだろうか。景気回復のための個人消費の拡大と省エネルギーの両立のために、これ迄とは違ったQuality of Life

の追求を考える必要がある。

4. 再生可能エネルギー利用の推進

太陽の恩恵を直接利用することが、CO₂排出削減の根本的解決である。人類の歴史の大部分は、太陽の発する光と熱、それによって成長する樹木、気候を利用することにあつた。エネルギー密度の高い化石資源を使うことによって、近代文明産業が始まり、拡大してきた。これ迄に発展してきた科学技術によって、太陽の恩恵、気候、樹木の利用を再生することは、長期的には正しいアプローチである。利便性の向上、コストの削減、供給安定性、質の向上の幅は極めて大きく、現時点で政策としての採用、研究技術開発の加速、根本的原理の追及等水準をどれに合わせるかの判断が肝要である。つまり、

- ①利用できるエネルギーのコスト、設備ならびに運用のコスト
- ②LCA エネルギー利用効率
- ③供給の安定性、質からエネルギー貯蔵、既存エネルギー供給のバックアップの負担
- ④利用拡大に伴うコスト低減の推算

を考えておく必要がある。

表2に再生可能エネルギーの供給実績をまとめた。一見着実に増加しているが、表3に掲げた政策と実績を比較すると、かなり立遅れている。2010年時のCO₂排出削減の手段となるか、技術、コスト、設備投資、実施のための国民的合意、意識を確実にしなければならぬだろう。

表4に再生可能エネルギーと既存エネルギーのコストを比較した。廃棄物利用を除いて、再生可能エネルギーのコストは、既存エネルギーのコストに対して2~6倍であり、原油

表2 再生可能エネルギーの供給実績

供給サイドの新エネルギー	1996年度実績		1999年度実績		99年度/96年度
	原油換算 (万kl)	設備容量 (万kW)	原油換算 (万kl)	設備容量 (万kW)	
太陽光発電	1.4	5.5	5.3	20.9	約4倍
風力発電	0.6	1.4	3.5	8.3	約5倍
太陽熱利用	130	—	98	—	—25%
温度差エネルギー等	3.3	—	4.1	—	約1.3倍
廃棄物発電	91	76	120	98	約1.3倍
廃棄物熱利用	4.4	—	4.4	—	横違い
黒液・廃材等	477	—	457	—	—5%
新エネルギー供給計 (一次エネルギー総供給/構成比)	708 (1.2%)	—	693 (1.2%)	—	—
一次エネルギー総供給	約5.97億kl		約5.93億kl		
需要サイドの新エネルギー	1996年度実績		1999年度実績		99年度/96年度
クリーンエネルギー自動車(※)	1.2万台		6.5万台		約5倍
天然ガスコージェネレーション	100万kW		151万kW		約1.5倍
燃料電池(りん酸形)	1.6万kW		1.2万kW		—25%

(※) 需要サイドの新エネルギーである電気自動車、ハイブリッド自動車、天然ガス自動車、メタノール自動車、更にディーゼル代替LPガス自動車を含む。

表3 再生可能エネルギーの導入実績・見通し/目標の占める割合

	一次エネルギー総供給に占める再生可能エネルギーの割合	
	1998年度実績	2010年度見通し/目標
日本	4.9% (※1)	7%程度
米国	7.0%	6.9%
EU	5.3%	11.6%

(※1) 1999年度実績値

(備考) 2010年度見通し/目標については、米国の数値はエネルギー省統計局による見通し的な試算値である一方、EUの数値は欧州委員会で策定した政治的目標的な値であり、位置づけが異なる。

100万klを削減するのに必要なエネルギー供給のために必要な投資コストは、0.3～5兆円に達している(表5)。この導入には、国民として相当の覚悟が必要となる。一方、日本の構造改革による産業の新生が必要であるが、日本のエネルギー、人件費コスト、環境、規制によって産業競争力が低下の一方であり、海外からの投資も将来的な縮小の見通しも考えて減少している。従って、炭素税、環境税を導入して、再生可能エネルギーの導入を推進することも必要と思うが、すでに石油税、電源立地税等のエネルギー税が存在すること

も考えると、税制改革にも総合的判断を可能にするデータの集積とその徹底した議論によって、国民的合意形式が絶対必要である。産業構造の大幅転換に直結する可能性も否定できないことも認識しておくべきである。

COP3では“再生可能”と認定されているエネルギーには、実質CO₂排出削減にならないエネルギーもある。廃棄物利用、バイオマスがその例である。廃棄物の縮減は回避であるので、その回収再利用がその方向にある。エネルギーリサイクルもそのひとつである。廃棄物処理のコストをエネルギーコストから

表4 再生可能エネルギーと既存エネルギーのコストの比較

(経済産業省調べ)

	当該新エネルギーのコスト	既存エネルギーのコストとの比較 (比較するエネルギー)
太陽光発電	70~100円/kWh	2.5~6倍 (電力料金)
太陽熱利用 (ソーラーシステム)	約23円/Mcal	約2倍 (都市ガス料金)
風力発電	16~25円/kWh	2~3倍 (火力発電単価)
廃棄物発電	9~15円/kWh	1~1.5倍 (火力発電単価)
廃棄物熱利用	20~40円/Mcal	1.5~3倍 (都市ガス料金)
温度差エネルギー等	30~50円/Mcal	2.5~4倍 (都市ガス料金)

表5 費用効果 (追加的に100万klを供給するための投資コスト)

(経済産業省調べ)

	必要投資コスト	(a) 必要設備規模	(b) 現下の年間導入規模	(a)/(b)
太陽光発電	約4~5兆円	約400万kW	1.8万kW	222倍
太陽熱利用 (ソーラーシステム)	約3兆円	約280万基	2.4万基	117倍
風力発電	約0.7兆円	約240万kW	0.5万kW	480倍
廃棄物発電	約0.3兆円	約70万kW	10万kW	7倍
廃棄物熱利用 (広域型)	約0.1兆円	約300基	1基	300倍
温度差エネルギー等 (広域型)	約0.3兆円	約300基	2基	150倍
原子力発電	約0.2兆円	約60万kW	—	—

※上記数値は、各エネルギー・システムの現時点での設備単価を基に試算したものであり、バックアップ電源、土地代等は含んでいない。

差し引けば、コスト面の改善は大きい。ただし廃棄物の分別回収、前処理等、自動化の難しい工程があり、環境影響への配慮を欠くことはできないため、コスト上昇の抑制には消費者の協力が大切である。

バイオマスの利用拡大と、それに伴う化石資源消費の削減、森林資源の育成等とセットで、CO₂排出削減に効果がある。バイオマスは基本的に小規模、分散、低エネルギー密度であるため、利便性の高いエネルギーへの変換コストが高くなる。従って、まずバイオマスエネルギーの供給入口、集荷、輸送、規模に適切な利用、もしくは転換技術、環境への影響(時としてダイオキシン発生もあり得る)、需要出口、エネルギー輸送のマッチングがなにより大切で、実用化のためには特別な新規技術開発より、コストパフォーマンスを徹密に試算できる実証試験が必要と考える。

私達は大川市の木工業から排出される年8万

トンの端木材に注目し、木工業へのエネルギー(電気と熱)の供給を出口に、高効率転換として接触ガス化複合発電、電気と熱の同時利用を発想している。廃棄物処分と、木工業立地の特性特徴を生かした利用が可能になると確信している。

再生可能エネルギーの多くは、効率のサイト依存性が大きいことがよく知られている。風力発電はコストが低いことから、欧米で急速に拡大し、日本でも拡大が検討されている。それでも前述の欠点から免れることはできない。従って、供給不安定がライフラインに直結するようなエネルギー供給でなく、いわば風が吹く時にのみ発電できれば良い利用法、サイトの検討が必要であろう。海洋、離島、隔離地域、砂漠等に設置し、CO₂削減のための自然環境整備に役立つ手法を探察することがひとつのアプローチであろう。

5. CO₂排出削減のシナリオ

国際公約として批准されることが確実なCO₂排出削減をどう達成するか、早急な国民的合意が必要である。考えられる手段がすべて提示、検証、実証できているわけではないが、いずれにしても多様な手法をNetとして組立て、各々にはわずかでもCO₂排出削減を積み重ね、将来的には化石資源の本格的延命の実現を目指していくことが本筋であろう。削減効果の大きい方法として、

- ① エネルギー科学技術の深化高度化、コストと効率の両立
 - ② エネルギーの選択と適宜な利用
 - ③ 地球生産性の向上のための投資
 - ④ 途上国へのグリーンエイド、グリーン開発
 - ⑤ 排出権の低コスト取得
 - ⑥ 排出権の創成
 - ⑦ CO₂の人為的捕捉貯留
- を挙げることができる。グリーンエイド、グ

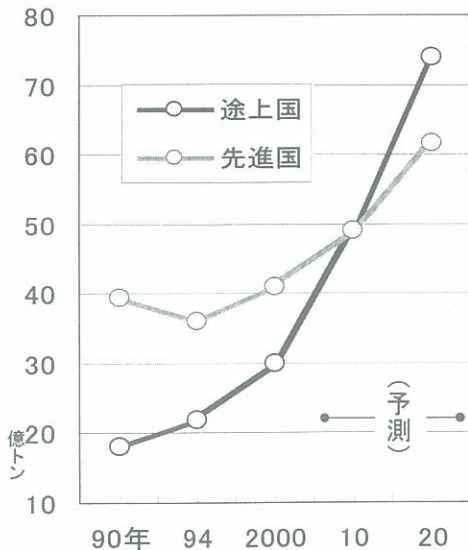


図4 先進国と発展途上国の温暖化ガス排出量 (炭素換算)

リーン開発は技術立国として、我国にとって重要である。

図4、図5に国又は地域別CO₂排出量と割合を示した。途上国のCO₂排出量はすでに多量であり、今後急速に増大していくことが確実である。この削減を文明拡大高度化とマッチさせることの技術余地は、極めて大きい。

産業の空洞化が懸念される今日、CO₂排出削減の要求がいずれ一層拡大せざるを得ない現実を前に、日本の技術を世界に移転し、人材育成にも貢献する機会であることは間違っていない。これ迄の産業技術、環境技術、環境政策の取り組みは、国際社会に誇れると思うが、今現在どの程度の実力があるか、世界を相手に説得力を持つ論理力があるのか、今後の高効率実用技術のスタンバイができているのか、直ちに検証すべきである。途上国には現在日本が使用して実績のある技術を移転すれば良いという考えもあるが、未来と一緒に開拓するという共同開発の意識も同時に持ち、世界に提案していく創造的発想力も要求

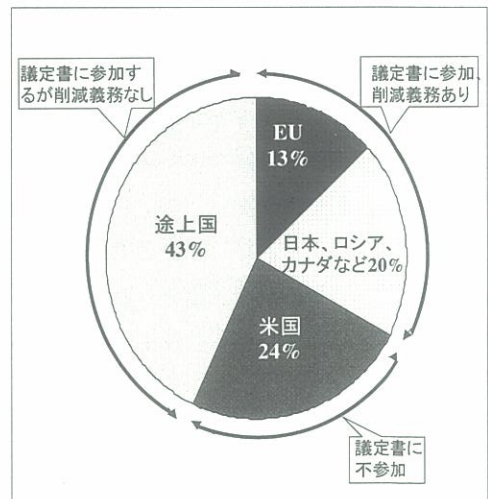


図5 世界の二酸化炭素の排出割合 (1997年)

されていることを認識すべきである。我国は技術立国の旗を立てて、数多くのエネルギーに関する技術開発に挑戦を試みてきたが、完成できた実用技術は少ない。その理由を真剣に考えるべきであるが、“実用化”および実用技術を“世界に発信”するという強力な意志が不足していたことは認めざるを得ない。

過去の業績を基にこれから何をすべきか、

①新しい実用技術の商業化と世界への展開

②夢の技術の発想と挑戦

を調和させていくことが必要であろう。GFRP 廃船の炭化高度利用して藻場や魚礁として利用する研究計画を農林水産省プロジェクトとして立ち上げた。成功には多くの分野の協力が必要になる。さらに、日本のCO₂排出削減の達成のために、排出権の取得は不可欠であろう。すでに排出権付石炭の輸入契約が報じられている。欧米では、10年程前からエネルギーゲームジャーを中心に排出権取得が進められている。日本のエネルギー産業のなかには、排出権取得についてすでに準備を終えた企業もあると聞かすが、排出権コストの上昇が予想されることから、日本全体も早急にとり組む必要がある。その戦略および国際的説得力を期待したい。

一方、日本の国土、海洋と技術を生かした排出権創成の可能性も追求できないだろうか。地球上の不毛地域の緑化開発もその対象になろう。太陽と海洋の恩恵の適切かつ極大利用するサイトの選択、開発構想、技術の革新とその組合せを自由に発想したい。筆者は、風力を用いる砂漠の緑化や海中藻場の形成を考えている。

6. 21世紀のQuality of Life

この年末年始をイタリア中部フィレンツェ

で過ごした。中世の石造りの町並を残したこの市の中央部での生活は、21世紀のQuality of Lifeを示唆している。古い町並のモダンなショウウィンドウには、イタリアの服飾ブランドが並び、現代の魅力を放っている。古い町並を残して内部を現代風に装飾した建物は、ヨーロッパの多数の都市にみられるが、ストックの豊かさ、歴史と機能の調和を感じさせてくれる。

石の壁には、薄汚れが目立ち、都市公害を写しているが、今回の滞在は雨に始まり、風のある晴天が続いたため、大気汚染はほとんど感じられなかった。狭い道路のいくつかは、かなりの数の自動車が高速で走っていたが、多くの道路は歩行者が自由に歩行していた。狭い道路に適合した小型バスが印象的だった。市場街は小屋がけがならび人が溢れていたが、イタリアの印象とは異なり、かなり清潔で猥雑な雰囲気はなかった。

11～12世紀に建造された大小の教会が町並のここかしこに点在している。町中央の花のドゥーモを始め、教会の壁にはミケランジェロ、ラファエロ、ダ・ヴィンチ、…の聖母画が掛けられ、今日も信仰の中心的対象となっているようだ。こうした都市のあり方、都市生活にも、旅行者の目に見えない問題が山積みしているに違いないが、21世紀のQuality of Lifeを考えるひとつのヒントになると思う。

温暖化ガス排出、都市ごみ、環境攪乱物等の課題は、Quality of Lifeに直結して考える以外の解決はないように思える。

本文は、平成13年12月14日に開催された新エネルギー産業技術開発総合機構九州支部主催「新エネルギーを考えるセミナー」での講演をもとに、加筆して構成した。



中世の石造りの町並みを残したフィレンツェ