

エネルギー産業と地球環境問題 (94・11・18)

小林 料 (昭24・理)

グローバル五〇〇賞の受賞

国連の「グローバル五〇〇」賞を今年の六月五日「世界環境の日」にロンドンで受賞いたしました。「世界環境の日」は、一九七二年にストックホルムで「人間環境会議」がこの日に開かれましたから毎年行われております。一九八七年にこの賞が始まりました。世界で地球環境に功績があった人を毎年何人かずつ合計五〇〇人表彰していこうという賞です。今まで賞を貰った人は立派な方が多く、サッチャー首相、ノルウェーのブルントラント首相、それからヒラリー卿も貰っています。今年は、三十三カ国から三十九の個人と団体が受賞しました。

今年の受賞者で著名な方は、エジンバラ公、団体では、ノルウェーのリレハンメル・オリンピック組織委員会が非常に環境に配慮したと言う事で受賞しました。

賞が始まってから日本では、私が団体を入れて十三番目です。最初に日本でこの賞を貰った方

は本田宗一郎さんです。「低公害エンジン」の発明で貰われて以来、産業人では私が日本で二人目ということになります。

私は京都大学の土木を出て、東京電力に入りました。東京電力にはダムを作るつもりで入りましたが、昭和四十三年、一九六八年に東京電力が初めて、恐らく日本で始めてと思います。公害対策本部というセクションを作りました。そしてその公害対策本部総括課長の初代を私が命じられました。それ以来ずっと今まで二十六年間、東京電力で公害だけをやって参りました。

「グローバル五〇〇」を与える理由、国連の「こういう事情で賞を出す」という書類には「一九六八年以来、企業の中で公害を終始担当してきた」ということが書いてあります。

地球環境問題の発生

東京電力で長い環境問題に携わっているうちに「地球環境問題」が出て参りました。

地球環境問題には、いろいろのテーマがあります。私は五つに分類を致しております。

一つは酸性雨の問題、二にフロンによるオゾン層破壊の問題、三に二酸化炭素など温室効果ガス、これは二酸化炭素だけでなく、亜酸化窒素とか、メタンとかも影響しているといわれますが、それによる地球温暖化、これと関連して熱帯雨林の減少、砂漠化とか、纏めて地球の気候変動があります。四番目は生物多様性の保全、これが非常に難しいテーマで、人類のためにだけ環境を

考えるのではなく、人類以外の生物も考えなければいけない。

最後に廃棄物の越境投棄、最初に問題にされたのがヨーロッパのライン川。上流から、中流、下流と国が違う。しかも、流域にかなり化学工場がある。当然、廃棄物の越境問題が発生します。これが広がりをまして、船で大洋にごみを捨てに行くとかの問題もあります。

この中で電気事業として、関心が深い、直接仕事として取り扱っていかねばならない問題としては、一、の酸性雨と、三、の気候変動の問題があります。

酸性雨について

酸性雨が問題になったそもそものは、ドイツのシュバイツ・バルト地帯、それからチェコ・スロバキアと東ドイツの国境辺りの山だとか、スエーデンの湖や森林が汚染されてきたという事から問題になりました。

酸性雨がなぜ重要な問題であるか。これは、一般の大気汚染と区別して考えなくてはいけないかと思えます。

工場、或いは自動車、その以外のいろいろの人間生活の中から、亜硫酸ガスとか、窒素酸化物が発生します。一般の大気汚染は、こういう汚染物質が発生源の比較的近くに影響を与えます。大きな問題ですが、原因と結果が分かりやすい。したがって、規制も対策も取りやすいのですが、

酸性雨問題の厄介さは、汚染の原因となる物質が一度空まで上がって、雲の中で長距離を運ばれて、ウェット・デポジションという形、すなわち雨の形になる。

原因と結果が、八百キロとか、千キロとか距離がある場合に、酸性雨として、地球環境問題として問題になります。

例えば、カナダが影響を受けている。原因はアメリカである。スカンジナビア半島が影響を受けている。その原因は東、あるいは中央ヨーロッパであるなど原因と結果が掴みにくいし、対策も取りにくいといったことが非常に大きな問題ではないかと思えます。

酸性雨については、今から十五年くらい前にスエーデンのエアテボリにあります国立研究所に行つて貰つたデータで、非常にショックを受けたグラフがあります。

湖の中にある藻、沈着物のPHを計つた。それで、紀元前一万二千五百年位から一九六〇年くらいまでほとんど変わっていない。ところが、一九六〇年あたりからこの二十年の間にPHが二下がってしまった。一万年変わらなかつたPHがこれだけ下がつたということは、どう考えても人為的な影響といわざるを得ない。スエーデンは、自国が原因ではない。他の国が原因でこうなつたという事で騒ぎ始めた。非常にショックな数値です。

しかし、私は、酸性雨問題はどうかやら片が付いた、とくに日本では今や十分な対策が取られてゐるということをおいておるわけですが、誤解を招きやすいのですが、もう一つの地球環境問題、

地域温暖化と比べまして、酸性雨の場合は、因果関係が解明できている。スエーデンの研究所に行きますと、何パーセントはドイツから、何パーセントはポーランドから、何パーセントはイギリスからと。計算過程には条件があるのですが、こういう事をいってもおかしなくらい因果関係が判っている。

被害をなくすためには、原因の発生箇所の硫黄酸化物や窒素酸化物といった原因物質を減らせばいいわけです。因果関係が分かっているということは問題解決に大きな意味を持っています。

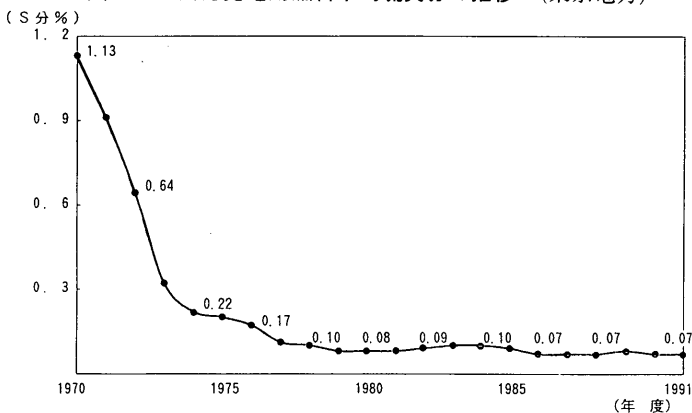
日本の亜硫酸ガスの環境濃度は、極端に減っております。一九七六年以降、日本ではすべて基準値をクリアしております。それ以前は日本もかなり汚染していました。しかし、窒素酸化物の方は、なかなかそうはいきません。環境基準が幅できめられておりまして、その幅の中にかろうじて入っているのです。横ばいといいますか、むしろやや右上がりになってきているという状態でございます。これは自動車が原因でしよう。

しかし、かつて四日市とか、大阪とか、川崎で問題となった硫黄酸化物の濃度が劇的に下がったと言う事は、それなりの対策を取り得たからです。

まず、大気中の硫黄酸化物を減らすためには燃料に含まれる硫黄分を減らせば良いわけです。

図―1は東京電力の例ですが、一九七〇年から最近までの間に東京電力が使っております火力発電所の燃料の平均硫黄分は、このように下がってきました。

図一 1 火力発電用燃料平均硫黄分の推移 (東京電力)



一九七〇年当時は、東京電力の火力も国内産の石炭を使っていた。それ以降、国内炭はほとんど使わなくなりまして、ほとんど外国からの石油に頼るようになりました。その石油も硫黄分の低い石油に切り替えていきました。

日本でこういう公害対策上有利な燃料対策が取り得た理由は、日本に資源がなかったことが非常に幸いしているのではないか。

要するに大気汚染の原因が硫黄酸化物であるならば、硫黄分の少ない燃料を使えば良いわけです。ところが、東ヨーロッパ、ポーランドとか東ドイツとかは、今でも質のよくない石炭を使っております。その燃料が自分の国に在るから、大気汚染上は悪いと知りつつ使っている。日本はあえて幸いにしてといえると思いますが、国内に資源がなかったから選択ができた。選択の条件に大気汚染

対策を考慮できた。

もちろんそういう燃料を買うだけの経済力、技術力を日本が持っていたと言う事ではありません。一九九三年現在、東京電力では、発電電力量の三十七パーセントが原子力です。それから二パーセントが石炭です。十九パーセントが石油です。三十二パーセントがLNG、液化天然ガスです。それから九パーセントが水力になっております。

一九七三年から今までの経過を御覧いただきますと火力の燃料で何が変わっているかと言うと、何と言っても石油からLNGに転換した。

LNGは、硫黄分をまったく含んでおりません。したがってガスを使っている限り亜硫酸ガスの排出量ゼロになるわけです。窒素酸化物もゼロにはなりません。したがって、石炭から石油、石油からガスへの良い燃料に転換していったことが、日本で亜硫酸ガスの濃度が下がった原因です。

燃料を良くしただけではなくて、この図12のように、日本は良い燃料を使っている上に設備対策にも力を入れております。脱硫、脱硝装置は、世界の八十パーセントが日本にあります。これだけの努力を日本はしているのですから、日本の立場からいうと、酸性雨はなくせると声を大にして言いたいわけです。

技術は持っているても装置は設置しない国だとか、お隣りの中国は、これから作る石炭火力に日

図一 2 各国の排煙処理装置の設置数
(1989)

	日 本	米 国	旧西独	その他
脱 硫 装 置	1,800	300	160	100
脱 硝 装 置 *	350	30	80	30

*アンモニア触媒法

出典：安藤淳平「世界の排煙浄化技術」1990

本が技術援助をして、脱硫、脱硝装置をつければと言っても、公害対策装置全体で設備投資の三十パーセントくらいかかるわけです。その分開発の方に回したいと言うのが中国の現実であるわけです。

どうすれば、先進国も、途上国も日本のように対策を取ることができるか。そのために日本が何をすればよいかがこれからの課題だと思います。

酸性雨につきましては、簡単ではないが日本がやってきたことを参考にして解決に進むのではないかと申しましたが、そうはいかない問題が残っています。

地球温暖化の問題

地球温暖化問題すなわち二酸化炭素の問題であります。三段論法で申しますと、大気中のCO₂濃度が増える。そのために地球の気温が上昇する。その結果海面が上昇する。

太平洋に在るキリバスという国は全土が水没する。バングラディシユの三分の一が水没するというような事がいわれております。

CO₂の濃度は、最近二百年くらいは、一方的に上昇していることは明らかです。

一八六〇年頃、産業革命で人類が、石炭など化石燃料をどんどん使い始める前が、二八〇ppm、現在では、三六〇ppm 近くになっております。化石燃料の使用が原因で二酸化炭素の濃度が上昇していることは否定できない事実だと思います。

問題は気象がどうなるかと言う事ですが、NASAのハンセンが一九八八年、アメリカの上院で地球温暖化問題を提起しました。ハンセン博士は、グラフで「地球の温度は上昇している」と言ったわけです。確かに全体として右上がりです。数字で言いますと、温度差を基準にとつてマインス〇・八度からプラス〇・六度、百数十年間で一・四度、地球温度は上昇していると言ったわけです。この問題については、私と三高でほぼ同期で、京大で気象をやっておられました山元龍三郎先生がご専門です。

しかし、CO₂の濃度上昇と地球温度の上昇が比例するなら、一九四〇年から六〇年のように途中で下がる事はないのではないか。上下するのはほかに原因があるからではないのか。もう一つは、地球全体の平均値だと言うが、ほとんどの測定場所は陸上ではないか。地球は当然海洋の方が面積が広いが、海洋にある観測局は極端に少ない。ほとんど陸上だけの観測値で地球の温度と言えるのか。こういう問題が指摘できるわけです。

このように因果関係がはっきりしないのに、金をかけて対策を取るのはおかしいと言う議論が

一方ではありません。アメリカが、No regret policy「後悔しない対策」と言う言い方を良くします。後悔しない対策と言う事は、裏を返すと何もやらないでおこうと言うふうにもとれます。只、冷静に考えて、本当に対策を取らなくてもいいのか。そうではないのではないか。

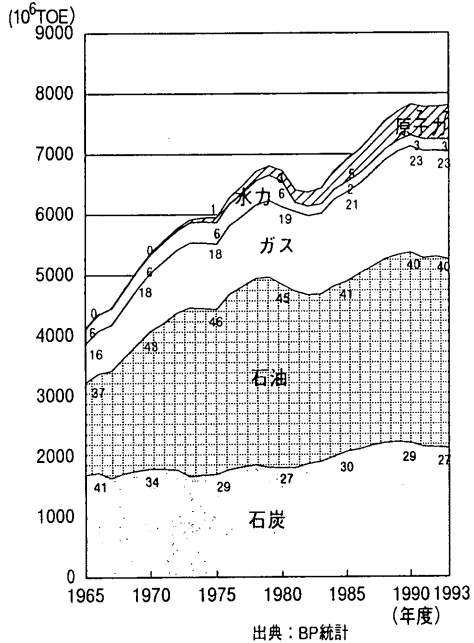
世界のエネルギーの現状

今、世界のエネルギーはどういう使われ方をしているか(図13)。世界も、日本も大体同じような形です。エネルギーの使用量全体はほぼ右上がりに増えており、現在世界で八十八パーセントを化石燃料に依存しております。日本は八十五パーセントです。このように地球全体が化石燃料に依存している限り、地球の温度が上がるかどうかは別にして、二酸化炭素濃度は増える。化石燃料は有限資源であることは明らかなのでこのままで良いのかどうか。やはり反省しなければいけない。

二酸化炭素の濃度上昇と関連して言われている気候変動を地球の人類に対する一つの警鐘としてうけとめて、地球のエネルギー体質を見直さなければならぬと考える事が素直な対応ではないでしょうか。

図14はいろいろなデータから作りしました。横軸は一人当たりエネルギー使用量、縦軸は一人当たり二酸化炭素排出量を示しています。

図一 3 世界の1次エネルギー消費の推移
(エネルギー源別)



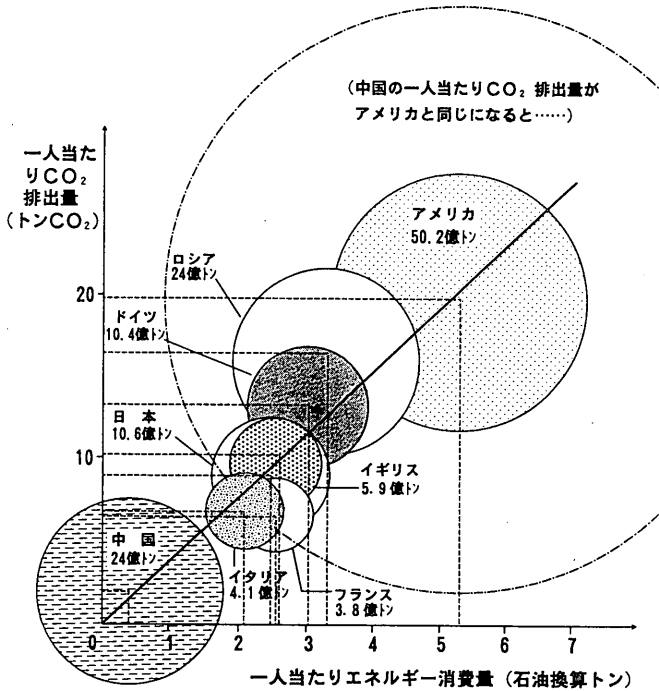
す。国別には、アメリカ、ロシア、中国の順になっています。

この図で御覧いただきたいように、エネルギー使用量と二酸化炭素排出量がほぼ比例しています。

中国は、今、人口が多いがエネルギー使用量は少ない。したがって二酸化炭素の排出量も少ない。しかし、中国は経済発展途上で石炭火力をどしどし作っています。人口が十二億で日本の十

中国は、エネルギーの使用量が、日本の五分の一、アメリカの十分の一です。二酸化炭素は、今のところ一人当たり〇・四トンです。アメリカは、五・三トンくらいのエネルギーを使って二酸化炭素を二十トン出している。それぞれに人口を掛けたものが円になっており、その国全体の二酸化炭素排出量を示しています。

図一 4 主要国のエネルギー消費と CO₂ 排出量 (1990年)



出典：IEA統計

倍ですが、発電電力量は今は日本と同じくらいです。しかし、これから日本並みの一人当たりエネルギーを使うようになれば、この中心が上がって、アメリカ並みになればさらに上がって、それに人口を掛けますとても大きな円になってしまうわけです。

化石燃料依存をなんとかしなければならいのではないか。二酸化炭素をなんとかしな

ければならないのではないか。

二酸化炭素の抑制は可能か

今地球上で化石燃料の燃料によって発生する二酸化炭素のうち、日本は大体四・七パーセントと言われています。アメリカが四分の一くらいで、中国とロシアと合計するとこれも四分の一、ですから米、中、ロシアで世界の半分を占めています。

では日本の電気事業として二酸化炭素は抑制できるのか。私は現状より絶対量を削減する事は難しいと思います。只対策を取らなければ、どんどん増えますのでそれではいけない。どうしたら増える分を減らすかと言うことに注目すべきでないかと言うことが私の考えです。

二酸化炭素を抑制する方法の第一は、発生予防です。方法の一つは、発電効率の向上、熱効率を上げれば、同じキロワットアワーをだすのに二酸化炭素の発生量が減る。これが一番良い方法です。

それから原子力をはじめエネルギーの転換、化石燃料を使わないようにすること。さらに、新エネルギーの開発、電力貯蔵。次はエネルギーの節約です。エネルギー利用機器の効率向上。それからヒート・ポンプとか、コ・ジェネレーションなど未利用エネルギーの活用があります。

それから、リサイクル。リサイクルについては、エネルギーの節約になるかどうか十分に見極

める必要があります。と言う事は、リサイクルにコストがかかるとよく言われます。コストがかかっても資源を大事にしなければならぬとする意見がありますが、コストの中には、エネルギーコストが入っている。特定のパーセント資源を大事にするために、他の資源を使つては何にもならない。もちろん、十分に検討したうえでのリサイクルは価値があります。

最後に、排煙中の二酸化炭素を除去、固定する技術開発があります。

技術的な方法から離れますが、制度的な手法がないか。今まで環境問題は主として技術的に解決して参りましたが、これからは、社会システム、経済システムそのものの見直しの中から解決すること。そのための意識改革も必要だと思えます。

二酸化炭素抑制の各論

最初に熱効率の向上をお話します。

一九七〇年に、東京電力で一番良い熱効率の火力発電所は四〇パーセントでした。今稼働している発電所は四十三パーセントです。建設中の発電所は四十八パーセントです。四〇パーセントから四十八パーセントまで効率がよくなりますと、二酸化炭素の発生量は、二十パーセント減少するわけです。すなわち、二十パーセントエネルギーが増えても二酸化炭素の発生量は増えませんが、熱効率向上は非常に効果があります。

先進国の火力発電所の熱効率を比較すると、日本は、アメリカよりも五・七パーセント熱効率が低い。これは二酸化炭素にして十五パーセントの減少効果になります。

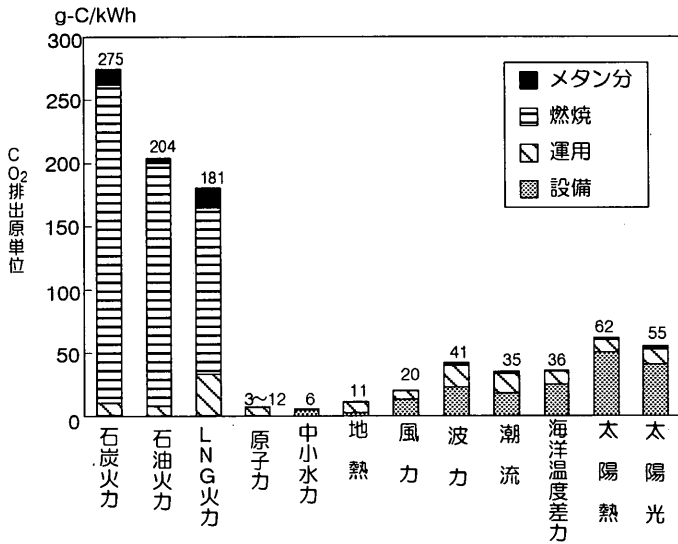
二酸化炭素の発生量が、アメリカ、中国、ロシアの合計で世界の半分だと言う事と考え合わせますと、大胆な推定でこれらの国々が日本並みのエネルギー効率を取ってくれれば、世界全体の二酸化炭素発生量はただちに十パーセント以上減るのではないかと思えます。

次にエネルギーの転換です。東京電力の例ですが、電源構成によってどれだけ二酸化炭素の発生を減らしてきたか。全部を石油火力で賄ったときと比べますと、原子力による減少分が大きく、次が水力、それからLNGは、石炭に比べて四十パーセント、石油に比べて二十パーセント単位当たり二酸化炭素の発生量が減りますから、この分も大きい。ただし、長期的なエネルギー・セキュリティを考えますと、ガスだけに頼る事はできません。

電源のベストミックスは、環境要素だけが条件ではありませんが、結果として水力、原子力は効果を示しております。

では、長期的に見て世界のエネルギーはどうなるか。一八五〇年で石炭四十パーセント、薪炭六パーセント。一八七〇年くらいから石油が使われ始めた。現在は、石油と天然ガスがほぼ同様、原子力が世界全体で十パーセントくらい、石炭完全に下り坂で、石油も峠を越した。今上り調子なのは、天然ガスと原子力である。では、将来どうなるかと言う事なのですが、二〇三〇年頃に

図-5 発電プラントの温暖化影響の分析結果 (耐用年数：30年)



化石燃料の時代はピークを過ぎるのではないかと言うのが定説です。二〇三〇年頃から太陽光、それから核融合が期待されています。太陽エネルギーは現実にすでに利用されていますが、今のところコストの点でまだ普及しません。このような新エネルギーが大量に投入されるだろうと言う事です。

今の時点でいろいろなエネルギーと地球温暖化の影響を二酸化炭素排出原単位で比較したのが図-5です。一キロワットアワーの発電をするのに、どれだけ二酸化炭素を排出するかと言いますと、石炭では、二七五グラム、ついで石油、ガス火力が

多いことは当然ですが、原子力が一番少ない。意外なのが現在の技術では、太陽光、太陽熱が多い。設備費がかかるわけです。一度設備をつくってしまうと燃料がいらないのですが、太陽光の例でいうと、太陽電池はかなり進歩していますが、日本のように地震、台風の多いところで屋根の上に架台をのせるとかなりコストがかかる。コストがかかると言う事はエネルギーが必要だと言う事です。同様に波力エネルギーなどもコストはかかりますが、部分的には実用化しています。港湾のブイに使われているそうです。地熱も風力も、量は少ないが利用できる場所は多い。

地熱については、東京電力では、今八丈島に三〇〇〇キロワットの地熱発電所を作ろうとしています。八丈島は全体の需要が九〇〇〇キロワットですからこの地熱発電所はとても価値があります。東京電力全部の需要は、今年の夏で五千七〇〇万キロワットなので系統全体からすると微々たるものですが、八丈島では地熱のエネルギーが生きてきます。

電力系統は、今日本全部で約二億キロワットの規模になっていますから新エネルギーの開発は、その何パーセントと言う意味ではなくて、TPOを考えて価値があるところから開発すべきだと思います。

原子力は、発電の段階で二酸化炭素を発生しませんし、一ユニットの容量が一三〇万キロワットと大きくなっていますから建設費も効率的ですし、大系統には有利な電源です。

そのほかいろいろの試みをやっております。箱崎と言う成田へいくバスセンターのところで

が、IBMのビルを中心とする一帯、東京電力が電気の供給と一緒に熱供給もやっております。火力の熱効率を四〇とか三〇パーセントとか申しましたが、残りの六〇パーセントのエネルギーを利用して総合効率を高めようと実用化している例です。こういう地域を銀座など二十数か所持っております。熱と電気と一緒に供給しますと、六〇乃至七〇パーセントの総合効率を得られます。熱源が別に必要なわけですが、箱崎の場合は、隅田川です。川は、夏は大気のほうが温度が高くて、水の方が低い。冬は逆に水の方が温度が高くて大気のほうが温度が低い。したがって常にある温度差をエネルギーとして旨く利用して供給すると言うシステムです。このシステムをヒート・ポンプと言っています。

最後に、発生した二酸化炭素を処理できないかと言う実験と研究をやっております。

火力発電所の排煙に含まれる二酸化炭素の処理の考え方です。脱硝、脱硫装置を通した後、二酸化炭素を煙の中から取り出します。二酸化炭素を取り出す事自体大変な事ではあるのですが、ドライアイスの製法、煙から二酸化炭素を取り出す事は工学的にすでに可能です。問題は、ドライアイスのままにしておけば元の気体に戻ってしまいますからこれを生活環境に影響のないところに納めなければならない。この後処理が問題です。

二酸化炭素を藻に食わせる方法があります。藻は植物ですから、炭素で成長します。それを乾燥して燃料に加工して、燃やすとサイクルができる。一番よいと言う事ですが実はこれには大変

なエネルギーが必要になります。当分は難しいと思つています。

もう一つ、取り出した二酸化炭素をそのまま海中に圧入する方法です。今、横須賀で実験していますが、五〇〇メートル、あるいは三〇〇〇メートルまで押し込むともう浮上してこない。上がつてこないと言う事は人間の生活環境に影響は与えません。コスト的には藻の場合より安いですが、問題は、五〇〇メートルでも、三〇〇〇メートルでもやはり生物がいます。プランクトンのような生物がおりまして、こういう二次環境問題を提起されますと、クリアすることが難しくなります。いずれの方法もまだまだ実験段階です。

国際的な協力の中で

結論としてどうしたらよいか。

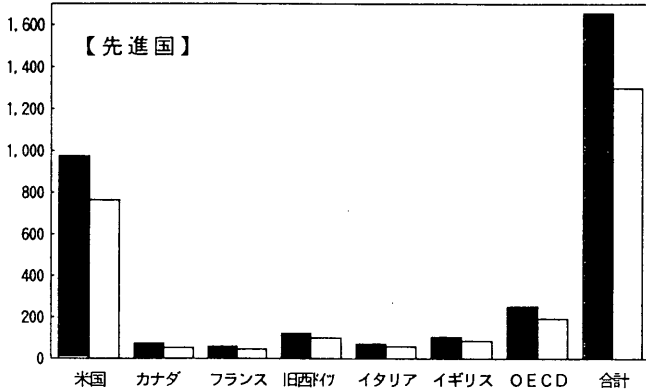
一つの試算の結果を図―6に示します。これは世界各国が日本並みのエネルギー原単位を達成したらどうなるか。日本並みの対策を講じたら、先進国でも二十パーセント二酸化炭素の発生量が減るわけです。発展途上国では半減するのではないかと言う事です。

地球環境問題と言うのはまさに地球規模で答えを出す問題です。

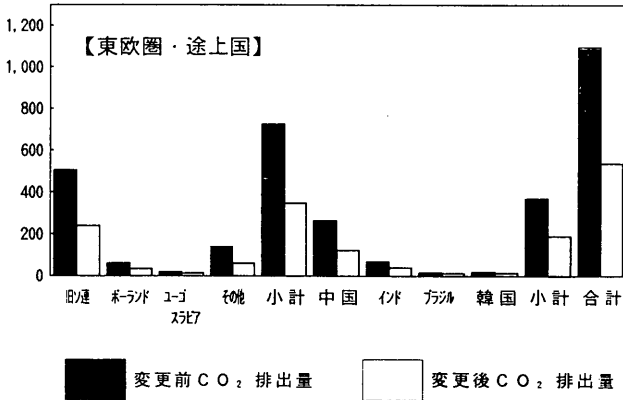
日本の国内だけで対策を考えるのではなくて、一番有効な対策を地球規模で考える事が大切だと思ひます。

図一 6 世界各国が日本並のエネルギー消費原単位を達成した場合の CO₂ 削減効果

(100万t-C)



(100万t-C)



お隣の中国を取り上げても、これから石炭火力を大量に作ろうとしている。硫黄酸化物も二酸化炭素も大量に排出される可能性があります。日本の技術を、日本の資金をどこで活用すべきかを考えなければならぬと思います。

地球規模の広がりの中で考えると同時に、もう一つ世代間の課題があります。「今我々が」ということに止まらず、我々の子や孫がより良い地球環境の中で暮らせるように何をすれば良いか。今我々が地球の有限資源を使うことが良いのか、原子力を使って化石燃料を温存しておいたほうが良いのか。世代を通じた考え方が必要になってきております。経済学者、法学者ですと、環境税一つをとっても、課税されたものに効果が及ばない、世代を通じた負担という新しい課題が出てきております。

また、さきほども触れましたが人類以外の生物の問題といった恐らく、文化、宗教にまで及ぶ課題も生まれております。

ご静聴ありがとうございました。

(東京電力株式会社顧問)