

21世紀の環境共生社会技術の方向

JICEでは、創立30周年記念事業の一環として、毎年開催されている、技術研究発表会において、エネルギー・環境システム工学を専門とされ、幅広い分野でご活躍中の茅陽一先生にご講演を頂きました。



講演者

地球環境産業技術研究機構 副理事長・研究所長
慶應義塾大学客員教授、立命館大学客員教授

茅陽一氏

昭和9年生まれ。東京大学工学部卒業。同大学院博士課程修了、工学博士。東京大学教授、慶應義塾大学大学院教授等を経て東京大学名誉教授、平成8年より科学技術振興事業団環境関連研究統括。10年より(財)地球環境産業技術研究機構副理事長・研究所長。専門はエネルギー・環境システム工学。著書に「エネルギーアナリシス」(電力新報社)、「地球時代の電気エネルギー」(日経サイエンス)他多数

量的拡大と質的拡大の バランスが重要

環境共生技術を考えると、20世紀後半での世界の動きが非常に大きなポイントになるかと思えます。

1960年代は世界的に好況の時代で、経済が大幅に拡大をし、わが国も高度成長を遂げましたが、それに付随して、水俣病や川崎病、四日市病などさまざまな公害問題が出てきました。

一方、世界的には、その当時から地球の容量限界に基づくいろいろな問題に注目する動きが出てきました。1968年にイタリアのオリベッティの副会長であった故ベッチェー氏が、地球規模の問題の解決を図ろうと、世界の人々に呼びかけてつくったローマクラブもそのひとつです。つまり、この当時から、いかにして地球の自然的な容量と文明を共存させるかがわれわれの抱える大きな問題であるという認識で、現在まで来たわけです。

しかし、文明の中には必ず拡大の要請があります。われわれは1つの目標

意識を持って今まで動いてきました。

最近では、中国をはじめとした途上国の経済の発展は急速ですし、アジアの諸国も同じような状況です。人口の増加の勢いはかなり鈍りましたが、依然として増加の方向にあることは間違いありません。

こういった途上国の人口、経済の発展を見た場合、これをまったくゼロに抑えてしまうことは実現不可能といっただいでしょう。また、物を度外視した考え方も現実的ではありません。実際に途上国が要求しているのは、食べる物や消費財という、まさに物を中心とした文明です。これを単純に、省エネルギー的、省資源的な文明にしようといったところで、現実的には意味がないといえるでしょう。

こうした状況を見ても、この分野において量の拡大が必要であることは明らかです。一方で地球そのものの容量は、少なくとも今までのやり方では限界があるのも事実です。

では、どうしたらよいかといえば、今まで使っていなかった空間を使うし

かありません。われわれは今まで地球の表面を二次元的に使ってきました。それを、三次元、具体的には宇宙、あるいは地中の開拓を進めて量的拡大を図っていくしかないので。

もう1つは質的拡大です。われわれの持っている文明の質を向上させ、それによってわれわれ自身がより高い生活を実現するという。これに一番近いコンセプトが循環社会です。循環社会のコンセプトの中には、これ以上増やさないという意識がありますが、同時に質の拡大が起きなければいけません。質の向上があるとすると、そこでは単なる循環というよりも、効率化が必要だろうと思えます。

循環社会への 3つの方策

質の拡大は循環社会というコンセプトで捉えられていますが、これを歴史的にみると、ドイツの動きがおそらく一番明確に出ているのではないかと思います。

ドイツでは、70年代に廃棄物が非

常に増えて、これをいかに処理するかに法体系が集中しました。80年代になると、出てきた廃棄物を処理するのではなく、出さない、いわゆるリデュースの概念をもっと強く押し出す形に法令の精神が動いていきます。90年になると、それをより積極的にして循環させるという考え方になり、包装リサイクル法が90年の初めに出て、それをベースにして循環経済法が90年代の半ばに成立しました。

日本はそうしたドイツの流れを横目に見て、80年代から急激に法制度を整備してきました。90年代に入って包装リサイクル法、90年代後半には家電リサイクル法が整備され、それに基づいて2000年に循環社会形成推進基本法ができ、今年3月にそれに対応する基本計画がつけられました。

このように、日本も循環社会という方向へ動こうとしていますが、これを実現する方策として3つあると思います。

まず、資源の循環利用の促進です。従来からのリユースあるいはリサイクルに、リデュースを一番大きなものとしてつけ加えたことは循環社会のコンセプトのポイントです。

2番目はエネルギー資源の効率化です。わが国の場合、化石燃料、その他のエネルギーソースといった一次エネルギーを変換して、電力や石油製品という形にして使っていますが、その最終エネルギーは一次エネルギーの約3分の1しか使っていません。これは、実にもったいない話です。この効率をいかに上げていくかが大きな問題です。

今回、提出された循環社会形成推進

基本法に対する基本計画では、3つの数値目標が出ています。その1つが、効率化の指標です。ここでは、エネルギーや資源すべてを含めて一次投入されるものの量と、それによってつくられる経済活動（GDP）の比がどのくらいになるのがよいかを具体的なターゲットとして掲げています。もちろん、その比ができるだけ少ないほうが望ましいわけですが、いずれにせよ、効率化が今後の社会を見た場合の大きなポイントになることは間違いありません。

3番目は自然の利用で、特に問題はエネルギーです。日本も世界の国々も80%以上を化石燃料に依存しています。これをフロー型の自然エネルギーの利用に変える。自然エネルギーをどのような形でうまく使っていくかがポイントだろうと思います。

これについては、昨年、RTS法と略称される新エネルギー推進の法律が制定され、電気事業者は自分のつくるエネルギー、電力の一定比率を自然エネルギーからつくる、あるいはつくったものを買わなければいけないことになりました。しかし、法律ができたからといって、すぐに問題が解決するわけではありません。やはり具体的にどのような形でこれを拡大していくかという方策が必要です。

この2番、3番を拡大することが、結局は循環社会、環境共生社会の形成に一番のポイントとなると考えています。

身近な技術の拡大と 長期技術の開発が共に必要

ここで、エネルギーについて申し上げたいと思います。

温暖化問題が出てきて、CO₂の発生を抑えることが現在世界的な要請になっています。その際、よく言われるのは、産業革命以前の280ppmの倍ぐらいうまで大気中の濃度を抑えようという考え方です。それを実現するためには、世界のエネルギーの構成はどの程度になればよいかしばしば議論されます。

私どもの研究所で検討した結果によると、多くのCO₂がエネルギーから出ています。比率的には、現在はカーボンオリエンテッドなエネルギーを使っています。CO₂を今後減らしていかなければなりません。エネルギーはこれからも使うわけですから、エネルギー消費そのものも増えていきます。この増加分をも考慮して脱炭素が必要ですが、これを何でやるのが問題です。

これには、3つの方策が考えられます。1つは、出てきたものを何らかの形で処理をするという従来型の公害技術。2番目がCO₂を出さないものを増やそうというリデュース型の技術。3番目が効率化です。

将来を考えた場合、地上で自然エネルギーを大規模に利用するのは面積からいって非常に困難です。そこでよく言われるのは、約3万キロの宇宙空間に衛星を上げて、そのエネルギーを地上に送って利用するという方式で、俗にSSPSと呼ばれています。ただし、これはまだSF段階です。宇宙に打ち上げるだけで大変なお金がかかりますし、まして大きな構造物を組み立てるとなると、莫大な労力も技術も必要です。とはいえ、将来を考えればやはり、

the Content of a Lecture

こういったイメージを持っておく必要はあるでしょう。

今後、私は基本的には2つのタイプの技術の組合せが必要だろうと思っています。

1つは従来の技術。今まで使っていた技術を何らかの形で改良し、手を加えて使うタイプのもの。もう1つは、抜本的な技術、長期的な対応をする技術です。

従来の技術に問題があるとするとき、われわれは往々にして一足跳びに新しいものをやりたくなります。その典型が車です。1972年に環境省ができ、車のNOx規制は非常に厳しくなりました。これを実現するために、自動車会社が一斉に手がけたのはエンジンの改良でした。NOxをできるだけ発生しない、いわゆるリデュース型の技術をまずやろうとしたのです。

これは一見、成功したように見えたのですが、1980年ごろになって結局、何が使われるようになったかという触媒技術でした。出てきた排ガスから触媒によってNOxを取るという従来型の公害技術、エンド・オブ・パイプ・テクノロジーが結局勝ったのです。

それから30年を経た現在、エンジンに直接燃料を噴射するDFIや燃料電池を使った車といった、これまでとはまったく違うタイプのものが出てきました。言い換えれば、30年という時間を要したということです。

このことからわかるように、リデュースという考え方はたいへん望ましいのですが、最初からCO₂を出さないことが現実に可能かということ、非常に難しいと思います。

温暖化でも同様です。温暖化の対応策として、従来のCO₂を出す化石燃料から、自然エネルギーや化石燃料でも比較的水素分の多い天然ガスといった、CO₂を出さないものに変えていくとよく言われます。

しかしながら、世界の八十数パーセントが化石燃料という状況を見ると、これは容易なことではありません。むしろ直近の技術をまず使っていくほうが現実的です。

現在、大きく浮上してきているのがCO₂の回収と貯留という技術です。

そのやり方はいろいろあります。1つは帯水層と俗に呼んでいる、比較的ポーラスで水分の多い地層に押し込む方法。もう1つは、海の中に押し込み、拡散させる海洋貯留の考え方です。

わが国だけでCO₂は年間13億トンが排出されています。こんなに多量に出るCO₂を捨てるなんて現実的ではない、と思われるかもしれませんが、よく調べてみると既存技術にかなりあります。炭酸飲料のためのCO₂の回収はその一例です。地中に押し込むことについては、石油増産のために油田中に炭酸ガス田から出てきた炭酸ガスを押し込むEORをアメリカでは普遍的にやっています。

CO₂貯留で一番有名なのは、北海のスライブナーというノルウェーが持っている天然ガス田で、その下の帯水層に年間100万トンのCO₂を押し込むことを5年前から行っています。また、日本でも一部実験的に行われています。アメリカでも一昨年から、アメリカ中部カナダ国境の近くのワイバー

ンで石炭ガス化から出てくるCO₂をカナダの油田まで約300キロぐらい運び、EORに使っています。

今年6月下旬、アメリカのワシントンで、こういった技術を世界的に広めていこうという政府レベル、大臣レベルの協議「CSLF」(カーボン・シークエストラクション・リーダーズ・フォーラムの略)が開かれています。

このように、身近な技術を拡大していくことと、SSPSのような長期の技術を開発することを並行してやらなければ、将来の絵は描けないと思います。

環境共生都市の4つのポイント

環境行政の将来を考えると時のポイントは都市、街だと思えます。街の中で環境行政をするときに必要なことは、1つには住宅、建物をどのように環境に共生させるかということ。2番目は、それに対してどのようにしてエネルギーを供給するか。3番目が廃棄物の問題。4番目が街の中での交通の問題です。

これらを全部叶えるにはどうしたらよいでしょうか。個別のエレメントについて、それぞれの技術を開発していくことは確かに必要ですが、その場合、直近の技術、従来技術の延長からスタートして抜本的な技術の方向に向かう姿勢を常にとると同時に、トータルな絵を頭の中に描かなければなりません。

エレメントについてのポイントの1つは、建物そのものです。建物は住むことと同時に、その創出する資源やエネルギーをいかに少なくするか、効率化するか、あるいは自然を利用するかが大事

です。世界的には、これについて、いろんなタイプでの新しい動きが出てきています。

例えば、ドイツのピースパーデン、ライン川の縁に、パッシブハウスと呼ばれる単純な縦割りの棟割り住宅があります。この家の特徴は、外に出ていく空気から熱回収をし、断熱と換気だけで、暖房機器を一切省略している点です。われわれの生活の中には調理、給湯、われわれ自身の体という熱源があります。それらの外部への流出を十分抑えることができれば、驚くことに、冬でも家の中は十分暖まるのです。この住宅は47棟あり、最初から人が住み、商業住宅として成り立っています。1棟、2万マルク、約1,200万円ととても安い家です。

パッシブハウスは直近の技術で工夫すれば実現でき、現在でもすぐ使えるタイプですが、その逆の例がドイツの環境で有名なフライブルグにあるアウトキーハウス、つまり自立型住宅です。これは、外部からエネルギーの供給なしですべてやるという住宅で、太陽電池はもちろん、この家では断熱その他にあらゆる工夫が考えられています。

南部ドイツのフライブルグでは、夏は晴天が続くので電気が余ります。その余った電気で水を電気分解し、水素をつくり、その水素を燃料電池に貯めて燃料電池を動かして電気を冬、供給します。全エネルギーをここだけで賄うというこの家は、エネルギー技術者の夢の家と言ってもよいでしょう。ただし、全体の値段が10億円もする高価な家です。

先の2つの事例の間にあるのは、日本

の科学技術振興事業団のスポンサーでつくったローエネルギーハウスという北海道・札幌にある家です。ここでは、地面にパイプを約10m埋めて、地中との間の熱交換を

やっています。札幌のような寒いところでも地面下10mぐらいでは約10度あり、1年間ほとんど変わりません。したがって、冬はたいへん暖かく、地中との間で熱交換をすればヒートポンプのCOP、つまり成績検査がうんと上がります。結果的には、地面から組み上げたエネルギーが全体の約4割になっています。地面の中は太陽に暖められた自然エネルギーですから、ローエネルギーハウスは自然エネルギーを利用した典型例と言えます。

エネルギーという側面で見ると、建物だけではなく、地域全体という問題でもいろんな方式が知られています。例えば、地域熱供給は全体的に非常に効率が高くなります。これが一番発達しているのはヨーロッパです。ヘルシンキでは、街の8割が市で運営をしている発電所の廃熱でカバーしています。

今後考えられるものの1つはマイクロ・コージェネレーションです。これは家庭に燃料電池を置いて、これによって電力を供給すると同時に、廃熱を



使って暖房や給湯に利用しようというものです。発電をするためには、最初に来た燃料から電力に変換する必要があります。従来は、この熱電変換効率が低かったのですが、最近、燃料電池の改良が進み、効率が非常に上がってきています。今後の技術の進歩とコストダウンがあれば、従来のシステムよりもエネルギー効率が高いし、値段も安くなる可能性は十分にあります。

3番目は、工場廃熱の民生利用です。工場の廃熱を家庭や集合住宅の給湯や暖房などに利用しようというコンセプトは昔からあり、日本でも製鉄所の廃熱利用計画は何度もつくられました。ところが、実現化されませんでした。ところがヨーロッパ、例えば、デュッセルドルフの北の一角では、石炭火力と化学工場、製鉄所などの廃熱を共同のラインで住宅に送る方式がとられていて、これによってかなりトータルのエネルギー効率が高くなっています。また、最近では工場同士が組んで、熱コンビ

ナートをつくるという新しい試みも始まっています。

ただしこれらは使えるようになるまで時間がかかります。したがって、目の前にある技術を伸ばしていくことがまず重要だと思います。

長期的には、水素社会という問題があります。これは、最終エネルギーとして水素を使えば、われわれの社会はゼロエミッションになるというコンセプトです。これはたいへん望ましいことではありますが、そこまでの道のりはたいへん遠く、解決しなければならぬ問題点がいくつかあります。

1つは、水素は化石燃料からつくっているという実態です。化石燃料から変換する段階でCO₂をはじめ、いろいろな問題物質を排出します。したがって、これを自然エネルギーからつくる、場合によっては核エネルギーからつくるという方向に変わっていかねばいけません。しかし、これにも当然、時間がかかります。

2番目は輸送の非効率性です。現在は1kgの水素を運ぶのに40kg近い入れ物が必要で、輸送効率という点では非常に低い。さらに、貯蔵の問題もあります。水素は、まだ社会に使われないエネルギー媒体です。これを広めた水素社会をつくるために、長期の技術として総合的にやっていくことが大事だろうと思います。

3番目が都市交通問題です。日本での車と、自動車や電車、バスなどの公共交通の輸送分担比を見ると、一貫して車の比率が上昇しています。これをモーターチェンジ、逆方向に戻すことは非常

に難しい。ところが、ヨーロッパではこれを具体的に街としてやろうとしているところがいくつもあります。例えば、シュトラスブルグやフライブルグでは、一度廃止したものを復活させています。また、街への乗り入れ規制を行っているところもたくさん出てきています。

もう1つは、車自体を変えるということで、電気自動車もこれに含まれます。街の中に乗り入れる車としてはゼロエミッションしか認めない、そうすると電気自動車しかないということで、スイスの観光地やフランスの一部の街ではこれを実行しています。

燃費を減らす努力も世界的にいろいろ行われていて、変わった試みでは慶應大学の清水教授が開発した「カズ」という名前のついた電気自動車があります。最大速度300kmという非常に高いスピードを高い燃料効率で実現させています。

将来の都市のイメージ づくりの必要性

しかし、こういった個別のエLEMENT以上に、街そのもののコンセプトが変わることが大事だろうと思います。それが将来どういうものになるのか。1つはガーデンシティ、分散型にして緑いっぱいにするというコンセプトです。イメージ的にはオーストラリアのメルボルン、ノルウェーのオスロなどの街です。ところが、緑の街は、人間が住むという面からいえば、分散型で離れて住むわけですから、交通量も物質輸送も増えるし、エネルギーも分散型になり、非常に効率が悪い。

その逆のコンセプトとして、今から数十年前、ダンツィヒという数学者者が提唱した高層建築中心のコンパクトシティという概念があります。これは、高層建築で職住接近型にして、中にアパートも職場もつくるというコンセプトです。それに対して最近、建築家が盛んに言ってるコンパクトシティの概念は、これとは違った意味での職住接近で、中規模あるいは小規模です。都市学者の伊藤滋さんによると、パリの古い市街がまさにそれに当たるそうです。自分が住み、物が買え、という小さいコミュニティですべてのものが回るという形にすれば、トータルとしての効率がいいという考え方です。この場合には高層建築は不要です。ただし、問題点は面積当たりの人口密度は高くない。そこで現在は、中規模でいかにして良い街をつくるかが中心になってきているようです。

しかし、現実には、東京をはじめ、特に途上国の人口100万人、1,000万人といった大都市がますます人口過密になっている状況があります。ガーデンシティ、コンパクトシティという都市学者が盛んに唱えてきた従来のものをいかにしてニーズにマッチするように変えていくかが今後の最大の問題だろうと思います。

そういった意味で、将来の都市をどのような形にすべきかというイメージをつくっていくことが今後の環境共生への努力の中で、ぜひ必要なことではないかと私自身は感じております。

この文章は、茅先生のご講演を要約したものです。