地球温暖化と現代文明

Global Warming and Modern Civilization

茅 陽一

Yoichi KAYA

- 1934年5月生まれ
- 1957年東京大学工学部卒業、1962年工学博士、1978年東京大学教授、現在に至る。システム制御工学、特に社会・エネルギーシステムへの応用を専門とする
- 東京大学工学部（〒113 東京都文京区本郷7-3-1）

地球環境の問題は、現在世界的に大きな注目を浴びている問題の一つである。だが、地球環境問題と一口にいても、その内容は問題によりさまざまである。環境庁によるとこれは9種類に分類出来るというが、その性質はかなり異なっており、ひとまとめにして論ずることはむずかしい。

そうした中で、もっとも重大な問題とみられるのは地球温暖化の問題である。これは、二酸化炭素を中心とする温室効果ガス（以下 greenhouse gas の頭文字をとって GHG と略称する）の排出に起因するが、従来の公害問題とはその問題の影響の大きさ、対策の深刻性などの点で大きく異なっている。恐らく、この問題は、今後少なくとも数十年から100年以上にわたって人類がその解決に頭を悩ますことになる、と考えられる。そこで、この小文では、温暖化の問題が従来の環境問題とどのように異なり、いかなる対応が必要かについて私なりの考えを示してみたい。

1. 環境保全と経済発展

環境問題を議論する際に必ず出てくるのが、経済発展との相克の問題である。環境の保全のためには、従来の観点とは異なる動機での投資やコストの支払が要求される。これが、経済発展にマイナスの影響を与えるのではないか、というのは誰しもが当然持つ考えであろう。ところが、少なく

とも過去の我が国の実績を見ると、この疑問はほとんどき憂に過ぎなかった、といえる。公害規制が厳しくなり、さまざまな公害防除投資が行われた1970年前後の状況を経済分析した論文がいくつかあるが、いずれもその我が国経済への影響は無視出来るほど小さかった、との結果が示されている。これには、投資の持つ需要効果、企業の対応努力、当時の経済の好調などいろいろな要因があげられるが、環境保全が決して経済悪影響という副作用を恐れずとも達成出来る可能性があることをよく示している。

特に、このことを明確に示す好例として知られるのはガソリン使用乗用車の NO_x 規制である。1975年前後に、アメリカのマスキー法にならって、数年で NO_x 排出原単位を 1/10 に削減する、という思い切った規制が採用され、これは自動車業界に大きな足かせとなるのではないかと心配されたものだ。しかし、結果的には、業界の努力によって、この規制は見事にクリアされ、その上、このための技術開発努力が燃焼技術の改善となってかえって我が国の国際競争力向上をもたらすこととなったのである。

こうしたことから、地球温暖化問題に対しても、同様の論議があてはまる、として、技術開発で思い切った規制を行っても、環境保全と経済発展が両立出来る、という主張をする人々がいる。筆者は、このことはたしかにフロンによる成層圏オゾンの破壊などの場合には成立するように思うが、地球温暖化の場合には必ずしもあてはまらない、と考えている。

では、なぜそう考えるのか。それは、温暖化が、これまでの環境問題とはまるで次元の異なっ

た、いわば現代文明の根幹にかかわる問題だからである。温暖化の主たる原因とされている二酸化炭素は、化石燃料の消費に伴って必然的に発生する。その化石燃料は、世界で広く 200 年近くにわたり利用されてきており、現在でもエネルギー源のほぼ 9 割を占め、これにとって代わる他のエネルギー源は取りあえずは見当たらない。しかも、発生する二酸化炭素は、年間で世界で約 200 億 t、我が国でも約 9 億 t と膨大な量で、気体の形で大気中に放出され、その約半分が海洋などに吸収されきれずに大気中に残留している、と見積もられている。これを処理する手段としては、従来の公害対策のような排出源からの回収と廃棄ないし資源化利用は、量からもコストからもきわめて困難で、当分は省エネルギーや化石燃料から非化石燃料への転換によって、化石燃料の消費を低減するしか方策が見当たらない。しかも、エネルギー需要そのものも、経済発展に伴ってほとんど必然的に増大する。

たしかに、1973 年のオイルショック以降、13 年にわたる状況をみると、我が国も多くの先進諸国も省エネルギー努力がめだった効果をあげている。最成功国は日本で、この間に単位 GDP 当たりのエネルギー需要 (E/G と略記) は実に 3%/年に近い改善をみせた。また、この間に原子力比率の増大、LNG の導入が推進されたため、単位エネルギー当たりの二酸化炭素排出量 (C/E と略記) も 1% 近い改善を示した。すると

二酸化炭素排出増加率 =

$C/E \text{ 増加率} + E/G \text{ 増加率} + GDP \text{ 増加率}$

の関係があるので、二酸化炭素排出を増大させなくとも、GDP は 4%/年 近い成長が可能となることになる。これがオイルショックにもかかわらず我が国がかなりの成長をとげた要因である。

しかし、この事情は、そうそう長期には成立しない。たしかにオイルショック後しばらくはそれまでの蓄積もあって、省エネルギーは可能だったし、無に近かった LNG を増大させることも比較的容易であった。しかし、省エネルギーの種は無限にころがっている訳ではないし、産業でも民生でもそのような種は一応の範囲は出つくした感がある。また、石油価格も 1980 年代は結局ほとんど上昇せずじまいで、現状では再び大きく省エネルギーを推進したり、脱石炭・石油の形での燃料

転換を行う経済条件はほとんどないに等しい。このため、1987 年以後は、我が国のエネルギー需要は増勢に転じ、E/G の変化率はほとんど 0、ないしむしろプラスを示すといった状況になっている。一方、C/E の方も原子力の PA 問題もあってあまり改善は進まず、0.2~4%/年程度の改善率になっている。

このような状況を考えると、オイルショック以後の状況が再現され、かなりの経済成長にもかかわらず二酸化炭素排出が増加しない、という具合のいい事態が起こる、と期待するのは、あまりに楽観的といわざるを得ない。むしろ、今度の場合は、二酸化炭素の排出をある程度以上抑制しようとする、どうしてもパイを小さくする、すなわち経済成長をある程度は犠牲にする、という覚悟が必要だろう。

こういうと、いかにも筆者は、二酸化炭素排出抑制に反対のように聞こえるが、実は決してそうではない。温暖化問題についての科学的知識に不確定性が大きいことは事実だが、一方において二酸化炭素・メタンなどの GHG の大気中濃度が毎年確実に上昇していることは認めなくてはなるまい。言い換えると、人類が、環境に対して大きな干渉をなしていることはデータのにも明りょうであり、それが、人類にとって不確定ではあれ、影響が無視出来るオーダであると仮定するのはあまりにも楽観的な見方であろう。特に、GHG の環境による吸収には数十年~数百年を要し、ために温暖化がほとんど非可逆現象とみられることを忘れてはなるまい。

要は程度の問題であって、経済発展に大きな打撃を与えて、元も子もなくすようなおろかなことをすべきではなかろうが、問題の重大性・非可逆性を考慮すれば、ある程度の経済成長の減速という多少の痛みは我慢しても、我々は温暖化の抑制へ向けての努力を一刻も早く始めるべきであろう。

2. 超長期の技術開発努力の必要

それでは我々は何をすべきか。現在、政治的には一定の GHG 削減目標を設けて、それへ向けての努力をすべきだ、との議論が盛んに展開されている。1989 年 11 月、世界の環境大臣会議でのいわゆるノルドベイク宣言（出来るだけ早期に二酸

化炭素の排出を安定化させるべき、という考え方を骨子とした宣言)などは、その典型であろう。

このような目の前の将来での努力は、もちろん重要には違いないが、より重要なのはより長期的な努力である。現在の我々の科学的知識ではあまり明確な判定は出来ないが、GHGの中心となる二酸化炭素の大気中濃度を一定化しようとするには、現在の排出レベルをその50~20%の低水準にまで下げることが必要と見積もられている。今後の経済発展、特に発展途上国の発展を考慮すると、この水準の達成は現在では不可能、といって差し支えない。しかし、長期の人類の将来を考えると、我々はいつまでもGHGの大気中濃度、したがって大気温度を増加するに任せるわけにはいかない。GHGの大気中濃度をいつかの時点、出来るだけ早く一定化させるように図る必要がある。

このことは、よほど革命的な省エネルギー化が起こらない限りは、エネルギーの大勢が化石燃料から非化石燃料へ移行することを意味する。すなわち、我々は、200年、あるいは木材をも考えると、それこそ人類の歴史始まって以来なじんできた炭素燃料を離れて、新しいエネルギー源に移行しなくてはならない。

これは、エンジニアならだれでもわかることだが、恐ろしく大変な話である。我々はたしかに、原子力、それも軽水炉だけでなく、高速増殖炉を知っているし、核融合という可能性もある。地熱もポテンシャルはかなりのものである。太陽エネルギーだって、直接利用なら温水器や光発電、間接なら従来の水力から始まって風力、波浪、バイオマス、あるいは海洋温度差の利用など、いろいろの可能性があげられる。だが、これが化石燃料にとって代わる本命のエネルギー源、と目されるものは正直に言ってない。コスト、環境影響、必要面積などそれぞれ問題は多い。そのために、誰にきいても、炭素燃料を脱却した温暖化の心配を持たない新しいエネルギー世界像が描けないのが実情である。

しかし、だからといって、困ったなあ、と嘆いているだけでは問題は解決しない。しかも、エネルギーのような大規模技術は、その開発に時間がかかるのが通例であるから、なおのことである。したがって、取りあえず答えの方向は見つかっていないにしても、脱炭素燃料にむけての研究開発

努力を推進する必要がある。

太陽エネルギーにしても、核融合にしても、もう既に研究開発はやっているではないか、との反論があるいはあるかもしれない。しかし、それだけで将来がすべて描けるか、といえは自信をもってイエス、といえる人は恐らくあるまい。むしろ、それも一部のエネルギー源にはなるが、恐らく何かわからぬがもっと別の技術・資源が中心になるのではないか、と思っている人が大部分ではないか。また、中には、炭素燃料からの脱却は出来ないが、何らかの形で二酸化炭素の処理技術が出てくるだろう、と思っている人もいるかもしれない。そのいずれにしても、将来の中心となるエネルギー技術を未知としている点は共通している。

それだからこそ、ここで我々に必要なのは、たとえ少々SF的でもよいから、新しい芽を探索していくことである。宇宙発電、マグマ発電などはその例だろう。あるいは、都市の構造、ビル・住宅の構造を思い切って改変し、太陽エネルギーをうまく取り入れた居住システムを考えるのも一つであろう。

今回、我が国の通商産業省は、温暖化を乗り越える案として、100年の超長期にわたっての抜本的な技術開発案を、「地球再生計画」(New Earth 21)の名のもとに提示しようとしている。その内容は正直いってまだまだアイデア不足であり、充実したものというわけにはいかない。しかし、それはこれまで述べたように当然のことであって、重要なのは超長期にわたってこの問題を根本的に解決しよう、という姿勢である。その意味で、筆者はこの計画の提案を評価するし、今後通商産業省が我が国に限らず、世界にこの計画を呼び掛け、具体化に努力していくことを要望したい。

そして、これも当然のことながら、そのような政府の計画の有無にかかわらず、我々は、こうした超長期の目標に向かって努力をしなければなるまい。およそ、どんな分野でも、目的意識は、研究の推進の必要欠くべからざる要因である。考えてみれば、脱炭素燃料による温暖化からの脱却とは、きわめてチャレンジングな目標ではないか。そして、そのような目標を与えられたことを、我々技術者はむしろ大きな幸福と考えてその目標に向け努力すべきではなからうか。

(原稿受付 1990年6月1日)