

# 「低炭素社会」の実現に向けた 技術開発の取り組み

## 地球環境保全と経済発展の両立をめざすシナリオ

茅陽一  
小豆畑 茂

財団法人地球環境産業技術研究機構 副理事長・地球環境産業技術研究所長・東京大学名誉教授  
日立製作所 地球環境戦略室 室長

2007年のノーベル平和賞が、地球温暖化に関するドキュメンタリー『不都合な真実』を制作したアル・ゴア米国45代副大統領と、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)に授与されたことは記憶に新しい。地球規模での気候変動の進行は、異常気象をはじめとするさまざまな形で、人類を含む地球上の生命の活動に暗い影を落とし始めている。これを食い止め、地球環境を守っていくことは全世界に共通の克服すべき課題と言える。こうした危機感を背景に、世界各国が地球環境を守るための対策を本格化し始めた。地球環境保全と経済発展を両立し、持続可能な社会を実現するために、描くべきビジョン、求められる技術とはどのようなものだろうか。地球環境産業技術研究機構副理事長・研究所長であり、日本における環境科学の第一人者として地球温暖化対策を主導する茅陽一氏に、日立グループの環境経営を推進する小豆畑茂地球環境戦略室長が聞く。

### 地球温暖化は有史以来最大の問題

小豆畑 地球環境問題は、近年、世界共通の課題として認識され、主要国首脳会議でも重要テーマとして議論されています。温暖化を筆頭に、資源の枯渇、生態系の乱れなど、さまざまな環境変化は複合的な問題として深刻化しており、実効性のある対策を緊急に打ち出し、継続的に取り組んでいくことが求められています。

茅先生は、エネルギーシステムを専門分野とされ、早くからエネルギーと環境の問題に取り組んでこられました。その第一人者としてのお立場から、本日は、地球環境保全に関するご高見を伺いたく思います。まずは温暖化の影響についてお聞かせいただけますか。

茅 温暖化問題は、おっしゃるように資源、食糧、生態系など、あらゆる問題と関係しています。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の評価報告書では、大気や海洋の平均温度の上昇、広範囲にわたる氷雪の融解、平均海面水位の上昇などが観測されており、地球が温暖化していることは今や明白であると言及しています。原因は、大気中の温室効果ガス濃度が高まったことにあると考えられますが、その大半を占めるCO<sub>2</sub>の年間排出量は、1970年から2004年の間に約80%も増加しています。

このまま放置しておけば地球の気候が大きく変動し、海面上昇、極端な高温や大雨、干ばつなどの異常気象、それに伴う食料危機、水不足の深刻化、生物多様性の喪失など、私たち人類の生活にも大きな影響を及ぼすと予想されます。これは、その影響の大きさ、対策の難しさからして、人類にとって有史以来最大の問題だと言える



### 茅陽一 (かやういち)

1934年東京都生まれ。1957年東京大学工学部電気工学科卒業、1962年同大学数物系研究科電気工学・制御工学専攻博士課程修了。同工学部講師、助教授を経て1978年から教授。1995年に退官し、東大名誉教授。慶應義塾大学政策・メディア研究科教授。1996年京都大学、名古屋大学客員教授。1998年から現職。この間、米国マサチューセッツ工科大学講師、カリフォルニア大学研究員、スイス・パツテル研究所研究員などを併任。ローマクラブ本部会員を長く務めた。

電気学会会長、エネルギー資源学会会長、科学技術庁参与、通商産業省資源エネルギー庁総合エネルギー調査会会長、通商産業省産業構造審議会地球環境部会長、環境庁中央環境審議会委員、環境管理監査企画審議会委員委員長などを歴任。

主な著者は、『地球時代の電気エネルギー』、『エネルギー新時代』、『社会システムの方法』、『エネルギーアナリシス』など多数。

でしょう。

ローマクラブは、1972年に『成長の限界』という報告書を発表しました。その中で、経済と人口という成長要因に対して、地球上の土地やエネルギーなどの資源が成長を制約する要因になる、ゆえに、経済と人口のゼロ成長によって、地球社会は持続可能になると主張したことが、当時大きな話題となりました。いかにして成長と制約のバランスを維持するか。このローマクラブが提起した問題は、現在も変わらず、と言うよりさらに大きな問題として人類に突きつけられているわけです。現在の状況を見ると、もはやゼロ成長でも追いつきません。資源を使い続け、CO<sub>2</sub>を出し続ければ、仮にそのレベルが安定でも、大気中の濃度はどんどん増えてしまう。

小豆畑 もうほとんど排出できないというレベルですね。IPCC第4次評価報告書によると、想定されるいかなる社会シナリオにおいても、今後20年間に10年あたり0.2の昇温が予測されているようです。

茅 WMO(世界気象機関)の調査によれば、地球温暖化の原因とされる大気中のCO<sub>2</sub>平均濃度は、2006年の時点で381.2 ppmとなり、産業革命以前の水準と比べると36%も増加したとされております。ここまで濃度が高まってしまった以上は、現在の排出量をドラスティックに減らし、自然の排出レベルにまで近づけなければ、平均気温を安定化させることはできません。CO<sub>2</sub>の大気中濃度が上昇している原因の第一は、化石燃料利用です。そのため私は、ほんとうに持続可能な社会を実現するうえで重要な条件は、今やゼロ成長ではなく、「低炭素化」だと主張しているのです。炭素に大きく依存した現代の社会システムを変えずに、大幅なCO<sub>2</sub>排出量削減を目標とするのは現実的ではないでしょう。化石燃料資源は、基本的には有限です。その問題を解決するためにも、「低炭素社会」の実現に総合的に取り組まなければならないと考えています。

#### 高効率化技術で、環境と経済の両立を

小豆畑 CO<sub>2</sub>削減には、先進国だけでなく途上国も含めて同じビジョンを共有すべきという意見がある一方で、これから生活水準を向上していく途上国に制約を課すことに対する反発も見られます。そういう状況下で削減を実現していくには、技術だけでなく政治・経済とも協調した取り組みが必要になると思われます。

茅 京都議定書では先進国だけに目標が設定されていますが、途上国が何の制限もなく発展すれば、2050年にはCO<sub>2</sub>排出量が現在の3倍になると言われており、地球

が危機的状況に陥ってしまうでしょう。それを防ぐには、何らかの形で途上国の協力を得なければいけないものの、それは非常に難しい問題です。ただ、そもそもの目標設定についても、私は再考の余地があると思います。日本や欧州では、世界全体のCO<sub>2</sub>排出量を2050年までに現状から半減させるという世界目標を提案していますね。そうした長期目標を掲げること、それ自体はとても大切です。しかし、実現可能性については慎重に検討する必要がありますと思うのです。

小豆畑 やはり高すぎる目標なのでしょうか。ただ、そこまでしないとCO<sub>2</sub>濃度は450 ppmを超え、地球全体の平均気温が2 上昇すると言われていていますね。

茅 温暖化への取り組みが本格的に始まったのは1980年代後半、以来、盛んに研究や分析が行われる一方で、実際の排出状況も年々変化していますから、影響度に対する認識、見解にもさまざまな相違が生じています。実は2050年までに排出を半減しても昇温を2 以内に抑えることはできないという見方もあります。このような混乱の中で議論が進められていること自体も温暖化対策における課題の一つだと思います。確かに昇温2 以内が実現できれば、それが望ましいわけですが、現在求めら



小豆畑 茂 (あずはたしげる)

1949年茨城県生まれ。1975年東北大学機械学科修士課程修了。同年日立製作所入社、日立研究所配属。同研究所所長を経て現職。現在、日立グループの地球環境戦略の策定・統括に従事。工学博士。日本燃焼学会会員、日本機械学会会員。



れているのは、理想と現実を冷静に受け止め、排出量と温暖化への影響をきちんと見極めて、現実的な最適解を見出すことではないでしょうか。

小豆畑 茅先生としては、どの程度の目標なら現実に達成可能だとお考えですか。

茅 まずは「2050年の排出量を現在と同程度に抑え、その後、段階的に削減する」というのが実現可能性の高い目標と考えています。この場合と、2050年までに排出量を半減した場合を比べても、劇的な差は生じないと見えています。もちろん平均気温は少しずつ上昇しますから、サンゴの白化のような局所的な影響拡大は当然生じるものの、ただちに人類が減びてしまうというような極端なことにはなりません。

長期的に見て大気中のCO<sub>2</sub>濃度を安定させるには、最終的にCO<sub>2</sub>排出量を現状から少なくとも90%以上は削減しなければならないというのが、世界の科学者の共通認識です。このことを留意しつつも、当面の温暖化対策は、環境影響と世界の経済発展とのバランスを考えて進めるのがふさわしいでしょう。バランスと言うと、しばしば妥協のように思われますが、現在の発展のチャンスを逃したくないという途上国の気持ちも理解しなくてはなりません。

小豆畑 その目標でも相当な努力は必要ですね。

茅 ええ、先進国は半減、途上国は現在の1.5倍以内の増加に抑えなければなりません。経済成長を続けつつその目標を実現するには、省エネルギー技術をはじめとするさまざまな先進技術を駆使する必要があります。途上国では、産業技術などで日本と比べて効率の悪い部分が数多くあります。そこを改善していくことは、環境面だけでなく経済面でもその国にとって利点になる、問題解決の最適手段ではないかと思えます。

小豆畑 日本の提唱している「セクター別アプローチ」という方策ですね。電力、鉄鋼、輸送、建築など、業種や分野ごとにエネルギー効率を算定し、効率が悪くCO<sub>2</sub>の排出量が多い分野に、先進技術の移管などの重点的対策を行う。温暖化対策と経済発展を両立させる方策として期待されています。

茅 計測や検証の方法、技術移管の方法なども検討しなければなりません、世界全体で協調した取り組みを進めるうえでは効果的な考え方だと思います。

#### 「環境ビジョン2025」に基づく日立の環境経営

小豆畑 温暖化対策は、企業活動にも大きな変化をもたらしています。日々の業務はもちろんのこと、製品を

通じて環境負荷を軽減することは企業価値に直結します。日立グループは、社会的責任として環境保全に長年取り組んできましたが、地球温暖化問題がクローズアップされる中で、具体的な達成目標を掲げて取り組みを強化することが重要と考え、2006年に策定した中期計画「環境ビジョン2015」、2007年に策定した長期計画「環境ビジョン2025」を推進しています。環境ビジョン2025では、2025年度までに、日立グループ製品により世界全体で年間1億tのCO<sub>2</sub>排出抑制に貢献したいと考えています。その達成に向け、2008年1月1日付で「地球環境戦略室」を新たに設置しました。

茅 日本の全排出量が現在約13億tですから、1億tと言うと、その7%程度に相当する大きな数字ですね。

小豆畑 地道にしっかり取り組みれば、世界全体でそれぐらいは可能だろうと考えています。日立グループの事業分野は多岐にわたっていますが、例えば、CO<sub>2</sub>の大きな排出源である電力に関しては、発電、需要の両方にかかわる製品を提供しています。発電側は、原子力や再生可能エネルギー、火力発電のさらなる高効率化など、可能な限りCO<sub>2</sub>の排出を抑える技術を提供します。需要側では、家電製品から産業機器まで含めて、徹底的にエネルギー効率向上を追求します。このように、それぞれの事業の特性に応じてCO<sub>2</sub>削減を進めようと、現在、各事業グループやグループ各社が、製品のCO<sub>2</sub>排出量と、具体的な取り組みによって見込まれるCO<sub>2</sub>排出削減量を算出しているところです。1億t抑制という目標は、その結果をある程度見込んだものになります。

茅 そういう総合的な評価をされることは非常に大事ですね。特に発電システムや、産業用の主要機器の効率化を進めることは、グローバルに見ても大きなインパクトがありますし、きちんと評価を行いながら対策を考えていくのはとても意義深いことです。

小豆畑 CO<sub>2</sub>削減のほか、日立では独自の基準で各製品の環境負荷を評価し、一定レベルを満たしたものを「環境適合製品」に認定する取り組みも行っています。環境ビジョン2025では、日立グループ全製品を環境適合製品とすることをめざしています。

#### リサイクルとともにリユースの拡大も検討

茅 そうした製品の開発とともに、私が日立のようなメーカーにぜひ取り組んでいただきたいと願っているのは、リユース(再利用)です。いわゆる3R[Reduce(リデュース)、Reuse(リユース)、Recycle(リサイクル)]の中で、リデュース(廃棄物の発生抑制)とリサイクル(再資

源化)は進んできましたが、リユースはなかなか進展していません。例えば、家電リサイクルの際には、まだ使える部品なども資源化してしまう。それらが再利用されるようになると、総合的なエネルギー効率はずいぶん高まるはずです。

今年(2008年)の3月に、京都議定書の目標達成計画の改定を行ったのですが、その中で一つの重要なポイントは家電機器の効率向上です。ただ、それが現実に効果を発揮するには、消費者の皆さんに省エネルギー製品に買い換えていただかなければならない。一方で、まだ使えるものを買い換えるのは「もったいない」とも言えます。その際に、部品レベルでも再利用ができるのであれば、心理的にも、また実際のエネルギー効率の面でも負担が少なくなり、買い換えも促進されるでしょう。こうした再利用は、メーカーの協力なしにはできないことです。小豆畑 古い製品よりは新しく性能のいい製品のほうがCO<sub>2</sub>を削減できるのは事実ですが、確かに買い換えると省資源にならないというジレンマがあります。おっしゃるように部品レベルでも再利用を検討していくべきですね。

リサイクルについても、現在は家電のリサイクルを中心にっていますが、資源の枯渇が心配される中で、すべての日立製品を対象としたリサイクルを真剣に考えていく必要があると思っています。特に、レアメタルの枯渇は深刻な問題になっており、一方では「都市鉱山」という言葉があるぐらい、電子機器などに使用されるレアメタルは相当な量にのびますから、その回収と再利用は、今後の企業活動における重要な命題です。

茅 都市鉱山には私も注目しています。現実に都市鉱山を開発するには、やはりリユースの技術も必要ですね。生かせるものは生かしながら、資源はきちんと循環させる。そのためには、設計段階から考えて、リユース、リサイクルしやすい製品づくりを行うことも不可欠になるでしょう。

#### CCS技術への取り組み

小豆畑 製品の価値が、3Rといった観点から評価される時代は間違いなく来ると思います。使えるところまで使い、最後には素材ごとリサイクルするという流れを確立するのが理想ですね。資源の循環利用は、温暖化対策と並ぶ環境ビジョン2025の大きな柱の一つでもあり、日立はグループ全体で完全なりサイクル社会の形成をめざしています。

また、もう一つの大きな柱は、大気、水、土壌などに関係する生態系の保全です。最初に茅先生がおっしゃっ

たように、特に水の汚染や枯渇の問題は温暖化に伴って深刻化すると予想されています。日立は上下水道にかかわる機器やシステムを手がけてきており、その中で培ってきたポテンシャルをうまく生かして、水処理関連装置などで貢献したいと思っています。大気に関しては、特に火力発電所の排気脱硫・脱硝装置、集塵(じん)機などの環境装置など、電力会社各社と連携しながら技術を磨いてきました。これらの技術の延長上に、CCS(Carbon Capture and Storage)があると考えられていますが、乗り越えるべき経済的、技術的ハードルが高いですね。

茅 現実にCCSを火力発電所に適用する場合、そのように燃焼後の排気から回収する方法と、燃焼前のプロセスで回収する方法の二つがあり、今後、火力発電所の建設においては、重要な選択になるでしょうね。CCSに関して、米国エネルギー省では、IGCC(石炭ガス化複合発電)とCO<sub>2</sub>地下貯留システムを組み合わせた「FutureGen(フューチャージェン)」プロジェクトを推進しています。石炭ガス化技術で石炭から取り出した水素で発電し、CO<sub>2</sub>は燃焼前に回収する方式の実現をめざしたのですが、こうした米国の技術的方向性が、米国内外でどこまで支持され、進展するのか、私は大いに関心を持って見守っているところです。いずれにしても、このプロジェクトをはじめ、CO<sub>2</sub>の回収・貯留技術の確立をめざした技術開発は世界中で行われていますから、近い将来には実用化できるはずですね。

小豆畑 CCSについては、いろいろな機関と協力して技術開発を進めていく計画です。

また、石炭ガス化に関しては、J-POWER(電源開発株式会社)の「EAGLE(イーグル)」というプロジェクトに参画しています。

茅 CO<sub>2</sub>というのは化学的に安定した気体ですから、回収・貯留には克服すべき課題も多く、特に日本の場合には貯留場所の確保が懸念されます。しかし貯留技術については私たち地球環境産業技術研究機構(RITE)のプロジェクトでも実証実験の段階に入っており、温暖化対策の強化のために注力すべき技術だと認識しています。

#### 排熱貯蔵・利用の拡大も温暖化対策の鍵に

小豆畑 貯留、貯蔵という点では、エネルギーの貯蔵技術にもブレークスルーが必要ですね。太陽光や風力といった再生可能エネルギーは、出力変動が天候に大きく左右されるため、数が増えると電力系統の負担となる場合があります。その対策として、電力を大量に、かつ、あまりコストをかけずに貯蔵できる技術が開発できれ



ば、日本でも再生可能エネルギーがさらに普及する可能性が出てきます。

茅 欧州では特に風力発電が普及していますが、出力変動の吸収のために石炭火力発電を用いており、そのコスト負担が課題になっています。一方で、現状の蓄電池も高価なものですから、費用負担が大きい。低コストの蓄電技術は再生可能エネルギーの普及を左右するポイントになるでしょう。

エネルギー貯蔵では、電力貯蔵のほかにもう一つ重要な方向性があります。それは100 以下の低温熱貯蔵です。民生用の熱需要を見ると、給湯や暖房・冷房など、半分以上は低温熱が占めていますが、それを現在は電気やガスで供給しているために、エネルギーロスも大きい。その程度の低温なら、廃熱や自然エネルギーをヒートポンプで昇温するシステムを利用するのが、温暖化抑制の観点からも有効です。特に産業部門の廃熱が利用できれば、総合的な効率の面でも理想的です。欧州では、産業部門の廃熱をパイプラインで運び、民生部門で活用していますが、日本で同じことを行うのは難しい。そこで、廃熱を一時蓄えておいて運ぶなど、貯蔵の技術の進歩が望まれます。現在、潜熱貯蔵技術についても蓄熱材料の開発を中心に多方面から検討されています。これらのエネルギー貯蔵技術は、今後の温暖化対策において大きな鍵を握ると予想しています。

小豆畑 低温熱貯蔵のほかには、どのような技術に期待されていますか。

茅 RITEが取り組んでいるテーマとしては、火力発電所の排気からのCO<sub>2</sub>分離回収技術、回収したCO<sub>2</sub>の地中帯水層への貯留技術、バイオマスを資源としたエタノールなどの有用物質の高効率生産技術、植物によるCO<sub>2</sub>固定技術、温暖化対策の評価方法などがあり、これらに期待するところは大きいですね。また、新たなエネルギー利用に関するアイデアの提案、提言も行っており、その中で私が注目しているのは、地熱利用、それも10 m程

度と浅い部分の地熱利用の可能性です。深部の地熱利用はすでに行われていますが、浅い部分でも地中の温度は意外と高く、空調などに利用することは十分可能です。住宅の地下にパイプを埋め込み、地熱をヒートポンプで利用するシステムは、米国で約50万戸、スイスでは約5万戸導入されているなど、欧米では増加しつつあります。日本ではコストがかかることから、今のところほとんど見かけませんが、温暖化対策において民生部門のCO<sub>2</sub>削減は難しい課題であり、ヒートポンプ技術も進化していることを考えると、いわば天然の蓄熱システムのような形で地上近くの地熱利用を進めることは有効な方法ではないかと考えています。

小豆畑 石油に続いて石炭の価格も高騰し始め、高止まりも予想されている状況では、そういう対策技術に多少コストをかけても見合う可能性が出てきますね。炭素資源の高騰には、物価に跳ね返るというマイナス要素だけでなく、茅先生の主張されている低炭素化が進むという、温暖化対策にとってのプラス要素もありそうです。茅 これを機に、官も民も低炭素社会の実現に本腰を入れて取り組むべきだと思います。世界の平均気温を2-3 程度の上昇にとどめるには、2050年をめどとした、あらゆる削減努力とともに、新技術への研究資源の投資が鍵を握ります。低炭素化には技術面でも社会制度の面でも大きな変革が必要ですが、地球環境の持続可能性を維持するために、私どもRITEも気候変動対応技術に特化した研究所としての役割をしっかりと果たすつもりです。日立には、「技術の日立」としての環境対策技術におけるブレークスルーを期待しています。

小豆畑 地球温暖化対策には、さまざまなビジョンを実現するための新たな技術の開発が不可欠です。そのために、われわれもいっそう研究開発に力を注ぐとともに、地球環境保全と経済発展の両立をめざし、グループ全体で努力してまいります。本日は貴重なお時間をいただき、ありがとうございました。