

原子力エネルギー： 地球温暖化防止と持続可能社会実現のキーテクノロジー



特 集

大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻
教授 山口 彰

現在では地球温暖化問題に関連して原子力発電を推進しようという声が上がっていますが、しばらく前には地球温暖化でCO₂の放出防止のために原子力だと言うと、それは違うのではないかといった声もありました。私なりに見て、地球温暖化に対し原子力エネルギーがどのように貢献できるのか、原子力をどう捉えればよいのかについて、できるだけ分かりやすく話を進めたいと思います。

安定と不安定

地球温暖化やエネルギーのことを考える際に、よくトリレンマと言われます。環境とエネルギー・経済発展の三すくみ状態のことです。経済発展をしたい、豊かな生活をしたい。一方で省エネルギーをしたい、地球温暖化防止をしたい。しかし、これら両方ともがうまく進んでいくとは限りません。一方を進めれば、もう一方にブレーキがかかるということです。

日本人は21世紀に何を望むのか

日本人は21世紀に何を望んでいるのかについて、日本21世紀ビジョンに関する特別世論調査(平成16年12月内閣府政府広報室)の結果をもとに少し考えてみたいと思います。「豊かで快適な国民生活のために重点を置くべき分野」として最も多いのは少子高齢化対策(50.7%)で、次いで持続可能な社会保障制度の構築(45.0%)、雇用の確保(45.0%)、環境にやさしい社会の実現(43.9%)、適度な経済成長(42.0%)と続きます。一方、「国際社会の一員として取り組むべき課題」では、産業の国際競争力を高めるよう国内経済の構造改革の推進(44.1%)、世界的課題解決への積極的貢献(37.5%)、国際平和維持活動への積極的貢献(28.6%)、日本の文化等に関する情報発信の強化(23.1%)と続いています。

これらを見ると、持続可能で適度な経済成長をしながら、環境にやさしい社会を構築していく。少子高齢化や雇用の確保は、持続可能な社会を意識した

回答だと思えます。一方の国際社会での答えはどうかということ、国際競争力を高めるには、日本がよい国であってほしい、国際社会の中でも一定の役割を果たす国であってほしい。こうしたことが期待されているのだと思います。

どのような社会を望むのか

どのような社会を望むのかということ、1つは地球温暖化や環境汚染を回避したい。その中には最近では気候が定常から逸脱しつつあるのではないかという不安や、生態系の変化、大気・海洋などの汚染への不安があります。また、豊かな暮らしで安全な社会を続けたいと望んでいます。別の調査結果によると、まずは国民の7割程度が今の生活にほぼ満足し、今後も悪くならないと安心している。もう1つは、物質的にある程度豊かになったことで、これからは心の豊かさやゆとりのある生活をするに重きを置きたい。3つ目は国際社会の中で認められる国でありたい。こうしたことが望んでいることだと思えます。

人間価値観

次に違う見方(調査)も紹介してみます。見田先生が価値意識の理論ということで調査をされていま



講師 山口 彰氏

す。この中では、縦軸に時間的パースペクティブという面から「現在中心」「未来中心」、横軸に社会的パースペクティブという面から「自己本位」「社会(他者)本位」という分類をして、私たちがどこに重きを置いているかを調べています。「現在中心で自己本位」というのは、その日その日を自由に楽しく過ごすという考え方。「現在中心で社会本位」というのは、身近な人たちと和やかに毎日を送るという考え方。一方、「未来中心で自分中心」では、しっかりと計画を立てて豊かな生活を築きたい。「未来中心で社会本位」では、みんなと力を合わせて世の中をよくしたい。このような価値類型です。

生活目標の選択肢

これをNHK放送文化研究所が継続的に調査をしていて、2003年までの調査データを見ると、どの座標軸を選んだのが多いかというと、「現在中心で社会本位」というのが年々増えて2003年には41%。その次に多いのが「未来中心で自分本位」。減りつつあるものの26%。「現在中心で自己本位」が23%。ところが、「未来中心で社会本位」は7%で、非常に少ないということです。生活目標のキーワードは、身近な人たちと和やかな生活を送って、それで自分が中心。どちらかといえば未来より現在というような傾向があります。本来、地球温暖化やエネルギーの問題を真剣に考えるとすれば、「未来中心で社会本位」の領域を重視することがあってもよからうかと思いますが、必ずしもそうでなく、「現在中心で自分本位」を重視するという特徴が見られます。

日本人の描く将来像

これらの調査結果を踏まえて私なりに考えた「日本人の描く将来像」は、環境にやさしく、経済成長を維持できる持続可能社会。さらに、産業の国際競争力を高め、世界的課題解決のため国際貢献する国。このあたりが私たちの目指す方向であり、そのために技術は何ができるのかを考えていくことが重要だと思います。

サステナビリティとは

本日の講演タイトルに持続可能社会という言葉を入れているのですが、英語ではサステナビリティ(sustainability)、日本語では持続可能性と言われ

ますが、そもそも持続可能性とは何かを調べてみると、国連のブルントラント委員会で1987年に定義されたものが使われているようです。そこには「将来世代のニーズを犠牲とすることなく、現在のすべてのニーズを満足すること」が持続可能性であると書いてあります。これは非常に重要なことで、1つは将来世代のニーズを犠牲にしないこと。そして、現代世代のすべてのニーズを満足すること。そもそも、すべてのニーズを満足することができるのかという問題はあるのですが、これは、現代世代においては公平にニーズ(幸福)を享受できる。そして将来については、不確実さの中での選択や意思決定(ability)を求められているということでもあります。

「Cultural Map of the World」で見た世界諸国の価値観

世界の環境関係の会議では、国によって議論の合点み合わない場合がありますが、世界諸国の価値観を「Cultural Map of the World」という図(マップ)に示した研究成果があります。この図は何を示しているかといえば、縦軸の上方向は宗教的な価値、下方向は伝統的な価値に重きを置く国。横軸の左方向は生存価値、つまり生き延びることに重きを置く国、右方向は自己実現に価値を置く国。この研究では、自己実現に価値を持つ国は環境問題にも非常に熱心であり、生活の質を重視するとしています。世界の国にはいろんな価値観を持つ国があるという研究成果なのですが、どのように価値観を共有できるのかを考えなければならないと思います。それをまとめると、豊かな国は将来にわたっても豊かでありたいと考えていて、リスクは回避したい。そして安定を目指したい。一方の発展途上の国は豊かな国に追いつき追い越したいと思っていますから、多少のリスクは背負ってもよくて、不安定は許容する。そうし

Inglehart-Weizel Cultural Map of the World
http://img.socsci.greiner.com.se/GeoText/News/articles/folder_publications_base_54



た2つの社会が混在するのが今後の世界であると思います。

ニューヨーク大停電

私の専門分野が原子力ということで、ここからはエネルギーの話をしていきます。この写真は2003年夏に起きたニューヨーク大停電。夜に起きたのですが、衛星写真で見ると停電した地域がすっぽり抜けたように真っ暗になっています。経済的な損失は相当なものでした。こうした大停電は、実はアメリカだけでなく世界の各地で頻繁に起きています。安定な社会、豊かな社会、リスクのない社会とは、こうした停電なども起きることがないようにするのが、1つの大きなポイントだと思います。

ニューヨーク大停電



わが国の政策・方針

これらを踏まえてのわが国の方針ですが、地球温暖化防止行動計画では 環境保全型社会の形成 経済の安定的発展との両立 国際的強調 - を掲げています。エネルギーは非常に重要な役割を果たすのですが、エネルギー政策基本法（平成14年6月）では、安定供給の確保 環境への適合 市場原理の活用 - が示されています。これを受けて、具体的なエネルギー基本計画（平成15年10月）が策定されています。

原子力の基本方針

原子力政策の基本方針では、エネルギーの安定供給に貢献 地球温暖化対策に貢献することを謳っており、原子燃料サイクルの推進は、原子力発電の供給安定性を一層改善することが可能です。具体的には 2030年以降も総発電量の30～40%の水準かそれ以上の供給割合を担うことを目指すこと、使用済燃料を再処理し、プルトニウムやウラン

などの有効利用を基本とする、高速増殖炉は2050年頃から商業ベースの導入を目指す、高レベル放射性廃棄物の地層処理について理解と協力が得られるように取り組む - と書かれています。

つまり、まずは現在軽水炉で発電しているものを今の水準程度で維持したい。あるいは供給割合を少し増やすことは考えようというのが1つの政策の柱です。また、使用済み燃料をどうするかがいろいろ議論になるのですが、再処理をしてプルトニウムとウランなどを有効利用しよう。そのためには高速増殖炉は必要になってくるのですが、それは2050年頃から商業ベースに乗せる。原子燃料サイクルをきちんとやるのが2つ目の柱となるかと思います。3つ目が高レベル放射性廃棄物の地層処理について、理解と協力が得られるように取り組む。現在の発展、将来の原子燃料サイクル、廃棄物処理の3つが大きな柱だと言ってよいと思います。

火力発電と原子力発電

ここからは、原子力発電とは何か、原子力燃料サイクルとは何か、それがなぜ地球温暖化防止に役立つのかについて、技術的な面から話します。この図は、火力発電と原子力は発電システムという面からとらえれば同じだということを示しています。蒸気を通してタービンを回し、発電をして、変圧器を通して送電する。送られた蒸気が水になって、中に戻ってくる。この部分は火力発電と原子力発電はほとんど同じ仕組みになっています。違うところは、火力発電では石油・石炭・天然ガスなどをボイラーで燃やして蒸気をつくるのに対して、原子力発電ではウランの核分裂で発生した熱を使って蒸気をつくります。

核反応

原子炉では核分裂でエネルギーをつくるのですが、核分裂とはどんなものか、核分裂が原子燃料サイクルにどうつながるかについて図で説明します。ウランに中性子がぶつかったときに、ウランの原子が2つに分裂して、比較的スピードの速い中性子（高速中性子）が出てきます。比較的スピードが速い中性子は軽水（普通の水＝減速材）とぶつかりながら、次第にスピードが遅くなり、それが熱中性子になった時にもう一度ウランとぶつかると核分裂すること

ができます。ウランの場合は速い中性子だと核分裂はできないので、減速をしてやって、ウランにぶつけることでエネルギーを取り出す。核分裂したときに中性子が出てきますから、また水にぶつかりながら次のウランと衝突する。これを繰り返すのが軽水炉です。

これが核反応の仕組みですが、高速炉では核分裂で出てきたスピードの速い中性子をそのままプルトニウムにぶつける。なぜかといえば、プルトニウムはスピードの速い中性子にぶつかって核分裂をするからです。高速増殖炉と呼ばれるのは、高速の中性子を使うからです。もう一つ、ウランは核分裂したときに次の中性子が2個程度出ますが、プルトニウムの場合は3個近くになります。つまり高速炉の場合は中性子が若干多く出ます。多く出た中性子をどう使えばよいのか。ウランの中には核分裂をしないウランがほとんどを占めているのですが、中性子がぶつかると、これがプルトニウムに変わります。ですから、プルトニウムが核分裂して出てきた1個余った中性子をウラン²³⁸にぶつけてやると、プルトニウムができる。そうすると核分裂した時よりも、さらに多くの新しい燃料がつけられる。だから増殖炉と呼ばれるのです。ですから高速増殖炉では、1つは高速中性子を使って核分裂をしてやる。もう1つはプルトニウムを使うことによって、出てくる中性子を有効利用し、資源を増やしてやろうという考え方になります。

原子力エネルギーの特質

なぜそんなことをやるのか。エネルギー資源があると何年くらいもつかといえば、石油は40年、天然ガスは65年、石炭は155年と言われています。ウランはどうかといえば、85年くらいしかもちません。そこでプルトニウム利用により、1個余った中性子を使って増殖してやれば、ウランの利用年数は約2570年になるだろうと算定されています。2570年もあれば次のエネルギー技術も十分開発できるでしょうし、そこが資源の少ない国にとって原子燃料サイクルを一生懸命取り組む理由だといえます。

ウラン需要の拡大

最近の新聞報道でウランの話題がよく出ています。1つは原発拡大で需要拡大(日本経済新聞2007年

8月10日)。ウランの値段はずっと安いままだったのが、高騰に転じています。中国が2030年までに100基程度つくろうとしているし、インドでも同様な動きにあり、世界全体で2050年までには300基程度できると言われています。各国が経済成長をサポートするエネルギーに注目していて原発増設の動きが活発化しています。それに伴いウランの奪い合いになっているのが現状です。日本も積極的です。今年、当時の安部首相と甘利経産相がカザフスタンを訪問しました。原子力に取り組むメーカーとしては、ウラン燃料が確保されていることが大切なことで、東芝はカザフ鉱山でウランの採掘権を取得しました。また、フランスの企業・アレバが採掘権を相次ぎ拡大していると報道されています。ウラン採取ができる地域は偏在していて、ロシア、カザフスタン、オーストラリア、カナダなど。こうした国とウランの開発でいかに協力していくかがキーとなります。

高速炉と核燃料サイクル

ウランが原子燃料サイクルの中でどうなるのか、高速炉と燃料サイクルはどんな関係にあるのか、現状ではどこに位置づけられるのか。それを表したものがこの図です。アメリカが政策としてやっていることは、ウランを採掘し、ウラン濃縮をやって燃料をつくり、それを軽水炉原子力発電所で燃やして、それを処分する。少なくとも今のアメリカはこうしたかたち、ワンスルー(一方通行)でやっています。これに対して日本の政策は、軽水炉で燃やした後にそのまま処分するのではなく、再処理してプルトニウムを取り出し、それを再び燃料として軽水炉で燃やしてやる。これがプルサーマルと呼ばれるもので、プルはプルトニウムでサーマルとは熱のこと。軽水炉で使うスピードの遅い中性子のことを、物理では熱中性子と呼びます。いずれにしてもプルトニウムを利用してプルサーマルをやるとというのが、現在の日本の政策です。一方、ここでできた燃料をもう一度プルサーマルで燃やしても、利用効率は伸びません。さきほど2570年も燃料として使えると申しましたが、高速炉の燃料サイクルができて初めて2570年ということになります。西暦2100年くらいになると、ウランを使う軽水炉のサイクルは行われなくなり、次第に高速炉のサイクルへとシフトしていくことになるだろうと言われています。

各エネルギー源の収支比

それでは原子力は他のエネルギーに比べてどうなのでしょう。今年の中越沖地震で柏崎刈羽の発電所が大きな被害を受けたこともあり、本当に大丈夫なのかと安全性の問題が指摘されています。原子力はそんなにメリットがあるのかとも問われます。電力中央研究所がまとめた「各エネルギー源の収支比」によると、原子力は水力と並びエネルギー効率が非常によい電源だと評価されています。次に原子力の発電コストは高いのか安いのか。いろんな見積もりの中でLNG火力や石炭火力と同じ程度にコストが安い領域にあって、1 kWhあたりの発電コストは、LNGや石炭と同じように10円以下で発電が可能です。

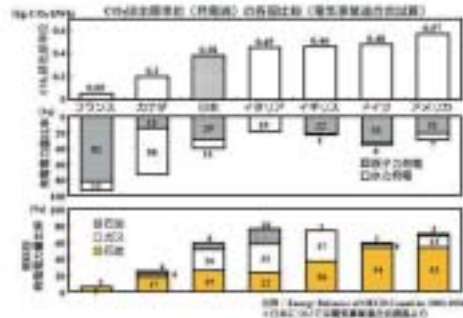
ライフサイクルCO₂総排出量

CO₂削減の面からみてどうなのでしょう。最近、電力会社が海外から排出権を取得するという新聞報道が多く見られるようになりました。国もこうした取り組みを支援策などで促す方向にあります。排出量についてはどうなのか。これも電力中央研究所が評価しています。ライフサイクルCO₂総排出量ですが、原子力は石油等を燃やさないの、再生可能エネルギーと並んで建設等にかかるCO₂排出量だけになります。つまり、再生可能エネルギー、水力、原子力は非常にパフォーマンスがよいと言えます。

二酸化炭素排出と発電方法

国際的に日本と他の国(フランス、カナダ、イタリア、イギリス、ドイツ、アメリカ)とを横並びにして比べたのが、3つのグラフです。1つ目はCO₂排出原単位で、1 kWhでCO₂が何kg出のかを示しています。日本の場合では1 kWhを発電するのに0.38 kg。フランスの0.05kgやカナダの0.2kgと比べれば多いのですが、それ以外の国と比べると少ないと思います。フランスやカナダはなぜ少ないのか、アメリカ(0.57kg)はなぜ多いのか。2つ目のグラフ(発電力量比率)にあるように、フランスの比率は原子力発電が82%、水力発電が11%あり、それによってCO₂原単位が少ないということになります。カナダは水力発電の比率が58%と多いことから、CO₂原単位が少ないわけです。日本は原子力発電が29%、水力発電が11%で、他の国より若干は多いことが影響しているのではないかと思います。

二酸化炭素排出と発電方法



ます。いずれにせよ、原子力・水力の比率とCO₂排出量には相関があるということです。参考までに3つ目のグラフ(燃料別発電電力量比率)は、石油、ガス、石炭の比率で、これら3つのグラフを並べてみると、化石燃料の比率が多い国はおのずとCO₂排出量が多いということが分かります。

米国のGNEP 構想

原子力はエネルギーを出すだけなのか。私は、原子力というのは日本の国際競争を支える重要な輸出の技術、大事な技術であると思っています。2006年1月、アメリカのブッシュ大統領は年頭所感の中でGNEP構想について話し、それを契機にGNEP構想が一気に動き出しました。これはどういう考え方かという、原子力を使っている国を燃料提供国と発電利用国の2つのグループに分けるというのがアメリカの構想です。

何をやるかといえば、燃料提供国では原子力発電をやり、燃料再処理をやり、先進燃焼炉をやり、核不拡散性を高めるかたちで処理する。燃焼炉では廃棄物を燃やして、放射性廃棄物の減容を図る。地球温暖化防止のためには、世界中にある程度の割合の原子力によるエネルギー供給を支援しないとイケないわけですが、核不拡散の問題がありますから、無制限にやるわけにはいかない。それで考えられたのが、燃料提供国が適切な規模の原子炉を開発して、発電利用国に提供する。また、燃料をつくって利用国に提供する。利用国で使い終わった燃料は提供国に戻し、そこで再処理をする。燃料提供国はアメリカ、日本、フランス、ロシア、中国、イギリスの6カ国。それ以外の国は燃料利用国になります。GNEP構想は速いスピードで動いています。

GNEP(Global Nuclear Energy Partnership) 国際原子力パートナーシップ

次世代核燃料技術開発

この新聞報道「日米、核不拡散で協力 日本の原子力技術活用」(日経新聞)は2007年4月,その2ヵ月後の6月の新聞には「中口も開発参加 日米欧と枠組み協定へ」(日経新聞),さらに2007年9月の閣僚会議では参加国は拡大し,「16カ国で機構格上げ 閣僚会議で調印式」(日経新聞)と報じられています。

これも新聞からの情報で恐縮ですが,「原子炉,環境配慮型開発へ 2025年実用化めざす」(日経新聞,2007年7月)。これは政府とメーカーが協力して,次世代軽水炉の世界の標準を日本から発信するプロジェクト。原子力を国際競争力のある技術として,15年程度をかけて開発していこうという話です。原子力関係企業の再編が現在動いていて,「三菱重工,米で原発受注 日本勢,世界展開を本格化」(日経新聞,2007年3月)。じつは原子力のメーカーはアレバ(フランス),三菱重工,ウエスチングハウス(アメリカ),東芝,GE(アメリカ),日立がありますが,東芝とウエスチングのグループ,日立とGEのグループ,三菱とアレバのグループに集約され,経済的な競争が活発化しています。

原子力は国際競争力を支える大事な技術

こうした中で「日本勢優位 一段と」(日経新聞,2007年6月)と書いてありますように,日本は継続的に技術開発に取り組んできたという強みがあり,世界展開をやって日本の国際的経済競争力を発揮しようということです。「東南アジア 原発計画相次ぐ 日本勢が売り込み」(日経新聞,2007年9月)とあるように,タイやベトナムが2020年をめどに原発をつくりたいということで,受注を目指して動き始めています。さらに中国の原発市場でも,アメリカ・欧州と受注を競っています。日本の原子力エネルギーは,日本のエネルギー的セキュリティやCO₂排出削減に貢献するとともに,日本が経済成長を続けていくための外国と競合でき得る非常に重要な技術であると思います。

柏崎刈羽原子力発電所の停止コスト

2007年7月16日の新潟県中越沖地震で,柏崎刈羽原子力発電所が運転を停止しています。発電所の停止コストは深刻な問題で,東京電力のまとめでは

2008年3月期のコストが2820億円増加(燃料費等3200億円,修繕費の減少280億円),稼働率は72%

44%に減少(稼働率が1%下がったときの減益幅115億円)。これによってCO₂排出量はどうなったのかということ,火力発電で代替することにより2800万トン増加(昨年の9760万トンの30%増)。国の排出量(昨年12億7970万トン)が2%増加することになるということです。この数字から見ても,原子力発電はわが国のCO₂排出,エネルギーコスト削減に貢献していたということが分かります。

放射性物質の放出

今回の地震で,柏崎刈羽原発では放射性物質が放出しました。安全の問題で,例えば情報隠しや事故隠しなどはあってはならないし,厳格に対処すべきことです。ここで私が気になるのが風評被害の問題です。事実ではないことで余計なコストを負わなければいけない。それは何とかしなければと思います。今回,使用済み燃料プールの水漏れがあったと報道されましたが,じつは一般公衆の線量限度が年間1mSvと比べると,非常に小さなものでした。ちなみに世界の自然界の放射線量は年間2.4mSvだそうです。

まとめ

持続可能社会構築のために,今できることは全部やるという姿勢が重要だと思います。その1つは,原子力,再生可能エネルギー,省エネルギー,これらはどれが重要でどれが重要でないという問題ではなく,できるものをしっかり着実にやっていくことだと思います。原子力発電は安全性の問題で毛嫌いされる場合があるのですが,本日の講演で強調したかったことは,エネルギーセキュリティ 地球温暖化の防止 コストの安い発電技術 経済成長を支える基幹産業になり得る。原子力の特徴として,こうした面を再認識していただきたいと思います。原子力は国際競争の時代を迎えています。世界の発電技術と安全確保を,日本が牽引していけるような国際的リーダーシップを期待したいと思います。そのためにも,原子力安全に対する規制,原子力技術に対する理解をしっかりと進めていくことが重要だと思います。