

原子力委員会

長計についてご意見を聴く会（第1回）

議事録

1. 日 時 平成16年1月28日（水）19:00～21:10

2. 場 所 原子力安全委員会第1、2会議室

港区虎ノ門3-8-1 虎ノ門三井ビル2階

3. 出席者

ご意見を伺った方々

内山 洋司 筑波大学教授

山地 憲治 東京大学教授

原子力委員会

近藤委員長、齋藤委員長代理、町委員、木元委員、前田委員

内閣府

永松審議官、藤嶋参事官、後藤企画官、犬塚補佐

4. 議題

(1) 将来のエネルギー需給の展望：エネルギー基本計画と今後の課題

(2) 地球温暖化対策における原子力の意義 - 定量的政策評価の事例として -

(3) その他

5. 配布資料

長聴第1-1号 将来のエネルギー需給の展望：エネルギー基本計画と今後の課題

長聴第1-2号 地球温暖化対策における原子力の意義 - 定量的政策評価の事例として -

(参考資料1) 年頭に当たっての所信（第1回原子力委員会資料第1号）

(参考資料2) 長計についてご意見を聴く会の開催について（第2回原子力委員会資料第2号）

6. 議事概要

冒頭、近藤委員長より、長計についてご意見を聴く会の趣旨の説明と、お招きした内山洋司 筑波大学教授の紹介があった。

事務局より、配布資料の確認があった。

【近藤委員長より開会の挨拶】

(近藤委員長) このご意見を聴く会を、1月中には開催したいということを委員会として決定し、講師をお願いする方々といろいろ日程調整をしまいましたが、今日、この最初のご意見を聴く会を開催できることになりました。講師の方にも大変無理を言ってお願いして本日もご出席いただけるようになったこと、また傍聴の方々には、このような遅い時間にご参集いただいたことについて厚く御礼を申し上げます。

この会の趣旨は、参考資料1と2を合わせて読んでいただくとおわかりいただけると思います。参考資料1には「3. 新たな原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画の策定」とございます。そこには現在の長期計画(長計)が平成12年11月の時点で策定されたもので、その時点において前提とした社会環境等々が変わってきているということの認識に立つと、これを見直す必要があると考えるということでございます。

ただ、その変化は、そもそも長計とは何ぞやと、あるいは今後、原子力委員会の決める長計はいかなるものであるべきかということも検討しなければならないと考えております。すなわち、原子力委員会が内閣府に移り、かつ、内閣府に総合科学技術会議が設置され、あるいはエネルギーとしての原子力に関して言えば「エネルギー基本計画」が制定されるという、そういう状況になってきているところで「原子力長期計画」というものがいかなる機能を持つことが国民のためになるのかということについても少しく考える必要があるということがあります。以上あわせて、長計の中身についての問題、そして長計の性格についての問題等についてご議論をいただいて、そしてこういう論点についてこういう格好のものをつくっていくかのいいという結論をまず出して、その上で、もし長計を引き続き制定すべきとすれば、その中身の議論、検討に入っていく、そんなことを考えているということが書いてございまして、その意味でその前段の予備的検討というコンテキストで、さまざまな方にご意見を伺うということにしたいというふうに考えてこの会を設立したわけでありませう。

今日は、ご紹介がありましたように、最初に筑波大学の内山教授からお話をいただくわ

けであります。内山先生については皆様ご承知と思いますけれども、念のためご紹介申し上げますと、1978年に東京工業大学の工学修士、81年に東京工業大学の工学博士の学位を得ておられます。その後、電力中央研究所経済研究所で上席研究員としてご活躍され、この間、もう世界中に有名なライフサイクルアナリシスという面で業績を上げておられて、しばしばいろいろな学術資料あるいはエネルギー関係の資料にライフサイクルアナリシスの結果が使われているということでございます。その後、2000年からは筑波大学機能工学系の教授として活躍され、現在はそこで教育研究に従事しておられて、主として化石燃料、原子力、再生可能エネルギー技術について、産業連関分析法によりそのさまざまな特性を分析し、将来の地球環境のあらましき姿を実現するべく、その基礎的なデータを定量的に明らかにする作業をしておられます。

大変簡単なお紹介で申しわけございませんが、早速、先生にお考えをお聞かせいただきたいと思います。「将来のエネルギー需給の展望、エネルギー基本計画と今後の課題」ということで、よろしく願いいたします。

【内山先生のご意見】

(内山教授) ただいま紹介に預かりました筑波大学の内山です。

今日は、約30分にわたって今後のエネルギー需給問題について説明させていただきます。

冒頭、まず昨年10月に出されました「エネルギー基本計画」についての私なりのコメントを述べさせていただきます。

この基本計画は、ご存じのようにエネルギー政策基本法をもとにしてつくられておりまして、安定供給の確保、環境への適合、市場原理の活用という基本方針が具体的に打ち出されたものであります。その内容は、エネルギー需給について長期的、総合的、かつ計画的に構すべき施策で、その施策を実現していく上で必要となる技術的、社会的課題を示しております。今までこういう基本計画はなかったわけですが、より踏み込んだ形でエネルギー政策を考える一歩として、高く評価できるのではないかと思います。

基本計画に書いてあります項目は、どれをとっても非常に納得いく必要な課題ではないかと思います。しかし、それを達成していくときに、いろいろと難しい問題が発生すると思います。それらをどのようにして具体的に実現していくかで、いろいろな議論あるいは政策が必要になるかと思います。

といたしますのは、将来のエネルギー需要があまり伸びそうもないということがあります。

従来、エネルギー政策は、エネルギー需要が伸びるということを前提にしてつくられてきました。需要増加のもとにさまざまな供給技術の開発があり、新しい技術の導入が可能でありました。将来のエネルギー需要が伸びない中で、企業は果たして投資していくことは可能でしょうか。基本計画に掲げられているさまざまな新技術は、一体だれによって投資されるのかといった素朴な問題があります。特に、皆さんもご存じのように、最近エネルギー産業には、電力も含めて自由化が進んでいます。企業は、生き残りをかけて、互いに競争し合わなければなりません。そういう中で、果たして「エネルギー基本計画」に掲げられているエネルギー安全保障あるいは地球環境問題といった外部不経済の問題、その具体的な対策に向けて企業が積極的に取り組むことは考えられません。

しかし、そうはいっても、社会における産業活動は企業にあります。それが中心となって、さまざまな新しい技術が生まれてきます。それを考えますと、これまでの政策を思い切って転換していくことが必要になると考えられます。要は、低成長化でどうやって民間の活力を生み出して行くかが課題ではないかと思えます。

最初に、エネルギー需要ですが、これは皆さん方もいろいろな情報でご存じのように、21世紀に入って、日本社会全体が何となく息切れしているような感があります。これは必ずしもエネルギー産業だけでなく、他の国内産業においても共通しています。

これまでの産業の発展というのが、右肩上がりを中心に発展してきました。将来の道路の路線整備や住宅の着工数など、あらゆるものが右肩上がりを中心に計画されてきました。そういった発展の流れで首都圏、あるいは地方都市も含めて、住宅、公共施設、道路といった社会基盤施設は、十分とは言えませんが、一通り整備されました。また、私たちの家庭の中を見ましても、家電製品とか家具や車など耐久消費財もかなり普及してきておりまして、もうこれ以上買うものはないのではないかというくらい物が豊富にあります。戦後の半世紀の間に日本は欧米と同様に物質的に成熟化した社会に入ってきました。次の半世紀はどのように発展していったらよいのかが問われています。おそらくそれは量を確保するよりも、質を向上する発展ではないかと思えます。

当然、エネルギー産業も、社会の産業構造の変化に伴って変わっていかざるを得ません。最近の産業構造は、ご存じのように、ソフト化あるいは情報化という流れの中で変化しています。そして社会のエネルギー需要は、それほど大きく伸びない傾向にあります。特に、産業部門のエネルギー需要は、最近ずっと横ばいですし、この傾向は長期的になると考えられています。それに対して情報産業やサービス産業の発展と、そちらの方への雇用シフ

トによって、運輸部門や業務部門、さらに家庭部門のエネルギー需要が伸びています。エネルギー政策も他の産業政策と同様に、これまでの素材産業など重厚長大の産業を中心としたものから、エネルギー需要の伸びが大きい民生・運輸部門、すなわち国民を対象とするきめ細かい対策が必要となってきました。

エネルギー需要の伸びが停滞する傾向は、一過性のものでなく、構造的なものと考えられます。日本経済は、今後さらにソフト産業に支えられて発展せざるを得ません。さらに将来は高齢化、少子化の流れの中で、産業もいろいろな面で変わっていかざるを得ないと考えられます。また、一方で、地球環境問題を初めとする環境意識も高まり、それによって省資源、省エネルギーという流れが出てきております。そういったことを考えますと、日本のエネルギー需要は、長期的に見ると欧米と同じように、年率でそれほど大きく伸びるとは考えられません。せいぜい年率1%程度、あるいはそれ以下の低成長が続くのではないかと思います。

もちろん、社会の発展とともに、人々はよりクリーンなエネルギーを求めるようになります。エネルギーの中で一番クリーンであるのが電気です。また、電気は、最も使いやすいエネルギーであります。最近、水素というエネルギーがいろいろなところで話題になっております。車に使われているガソリンを水素に置き換えれば化学反応で大気に放出するのが水となり、NO_xやばいじんなどの大気汚染を防ぐことができます。利用しているときは非常にクリーンな燃料です。

ここに、エネルギー問題の1つの落とし穴があるのではないかと思います。使っている人私たちは何も汚染していない。電気も使っているときは、私たちはクリーンなものを使っているのだから、何の汚染もしていない。水素も同様です。しかし、電気も水素も、両方とも2次エネルギーです。それをつくるためには、電気と水素は1次エネルギーから変換しなければいけない。その変換のときに問題が発生します。環境問題や安全問題、あるいは信頼性の問題といった、すべてのエネルギー変換技術に共通した問題が発生します。二次エネルギーとはたとえ使っている時にクリーンであっても、それを生産する過程で数多くの課題を抱えております。一般の人々やマスコミの多くは、常に利用者の立場で物事を判断し、変換過程を含めてエネルギー問題を理解しようとしないうちに問題があります。

すこしエネルギー需要の話からそれでしたが、クリーンさと便利さということから、今後も、電気の使用量が増えていくと考えられます。すなわち、電力へのシフトは今後も続くと予想されます。全体のエネルギーの需要については、先ほど1%かそれ以下と申しま

したが、電力需要については当面は年率1.5から2%ぐらいで伸びていくのではないかと思います。今、需給部会等でも検討している問題であります。もし政府が今後、京都議定書の公約を達成するためには環境政策をもっと重視して省エネが必要であるとし、その政策として、基本計画に掲げてあるさまざまな省エネ技術の開発を積極的に導入していくとなれば、エネルギー需要と電力需要の伸びは0.5ポイントから1ポイントぐらい下がる可能性があるかと思います。そういう点で、将来の需要想定は、今後の政府の政策に大きく影響を受けると考えられます。

もちろん省エネルギーについては、政府の施策によって最近、エネルギー需要の伸びの高い民生部門、運輸部門において効率のよいエネルギー機器の普及というかたちで、だんだんと対策が施されるようになってきました。しかし、その効果は住宅とか交通システムといった社会インフラにまで必ずしも及んではいえません。これまでは経済産業省を中心とするエネルギー政策でしたが、国土交通省、あるいは農水省、環境省や財務省、さらには教育関係も含めると文科省と、省庁が協力し合って進めていく総合エネルギー政策が大切になってきています。例えば、ESCO事業（エネルギーサービスカンパニー（Energy Service Company）事業）が新しい産業の発展として期待されていますが、それを支援していくには経済産業省だけでなく国土交通省、環境省、財務省、さらに地方自治体の協力が必要になります。

エネルギー基本計画に書いてあるさまざまな省エネルギー対策を、より実効あるものにしていくためには、経済産業省だけでなく国土交通省、環境省、農水省、厚労省、財務省、あるいは文科省や内閣府といったそれぞれが、互いに協力し合って実施していくことが求められており、分散型エネルギーを開発していくためには、地方自治体の協力も必要になると考えられます。そういう点では、従来とは全く違うエネルギー政策を推進していく時期に来ているかと思います。

さて、長期の技術開発の問題ですが、先ほども申しましたように、エネルギー産業の自由化が進みますと、当然のことながら、民間企業は長期の投資リスクの回避から、設備投資を回避するようになります。基本計画には「安定供給の確保」と「環境への適合」が掲げられております。その具体策としては、原子力の核燃料サイクルの確立、天然ガスのパイプラインの整備、GTL（Gas To Liquid）やジメチルエーテルの開発、水素利用のインフラ整備、メタンハイドレートの開発、核融合の開発、といった技術課題が挙げられています。これらはすべて長期の課題でありますし、また膨大な資金を要するものばかりであ

ります。

こういった長期的な技術開発を、我が国がどのように進めていくのかということですが、自由化の流れの中で民間企業にそういった負担を強いるのは非常に難しい状況にあるのではないかと思います。相分の負担は、やはり国が責任を持たざるを得ないというふうに考えられます。

また、アジア地域の発展が目覚ましいということが、これからの社会の発展方向の1つかと思えます。中国を中心とするアジア地域は、今、経済成長の最中にあり、まさに我が国が過去に経験した高度経済成長の時期と同じような状況にあります。当然のことながら、社会基盤施設の整備といったものが中心になっておりますし、耐久消費財もますますこれから普及していく。おそらく、車もさらに普及していくことが考えられます。そうなりますと、アジアにおけるエネルギーの安定供給あるいは環境問題、これがどのように維持されるのかということが非常に大きな課題になってきます。まずエネルギーの安定供給でいいますと、ご存じのようにアジア地域というのは、1人当たりで見ますと、石油、天然ガス、石炭を初め化石燃料の資源量が極めてわずかな地域であります。すなわち、アジア地域はヨーロッパやアメリカと比べて、そういった基幹エネルギー源の供給状況が基本的に違うのだということを実感することが大事かと思えます。

おそらく、将来は、アジアの諸国はエネルギー源として原子力に依存せざるを得ないことは間違いないと思えます。原子力の導入については国民各層で、いろいろな意見があります。しかし、大量に消費するエネルギー社会には大量にエネルギーを供給できるエネルギー技術が必要であるということが理解されていないように思います。今日の社会を支えているエネルギー変換技術のほとんどは化石燃料をエネルギー源としています。原子力も世界のエネルギーの6%を支えています。それらは熱機関です。熱機関というのは、これは工学から考えますと、当然のことながら規模を大きくしないと性能が上がりませんし、コストも安価になりません。現に、これまでの技術は大型化に向けて開発が進められてきたわけです。熱機関というのは小型技術ほど性能が悪くなりますし、当然コストも高くなるという問題があります。

今、エネルギー需要が伸びない状況で大型技術の新たな建設のニーズは確かに下がっております。しかし、社会のエネルギー供給を支えているのは、やはり大型技術です。これも、はっきりしております。エネルギーを供給する基幹技術は、原子力発電や火力発電という大型技術であります。恐らくこれからも、社会のエネルギーの供給を基本的に支えて

いくのは大型技術です。分散型技術は、補完的な技術にしかならざるを得ません。といいますのは、エネルギーの供給は基本的には社会基盤施設の整備になります。分散型技術として期待が大きいコージェネレーションや水素燃料電池等は、燃料を供給する社会基盤施設を整備しなければなりません。天然ガスのパイプラインやタンクローリーのような輸送手段で燃料を供給するインフラを整備するのと、電力供給ネットワークによって整備していくのとどちらが有利であるかを判断しなければなりません。インフラ整備には膨大な資金が必要となります。エネルギー需要が伸びない中で、民間企業が新たな投資をすることは大変難しいことです。既存のインフラ施設である電力ネットワークやガス供給配管をリフレッシュする程度で有効に利用していくことが現実的な選択肢です。

分散した需要家にエネルギーを供給するには大型技術で集中して発電し、電線で輸送する方が非常に楽であります。もちろん暖房や給湯といった熱需要が多い需要家のような場合は、ガスや灯油を燃料とした分散型のコージェネレーションシステムでエネルギーを供給するほうが有利になる場合もあります。しかし、最近は電動ヒートポンプの成績係数が向上しており、冷房需要が多い需要家の場合は総合効率で電気を使って供給する方が有利になっています。それを考えますと、大型技術によって効率の高いエネルギーを導入することによって、社会に電気で供給する方が有利にならざるを得ないという面があります。もちろん、既にあるインフラを使ってガスパイプラインを使ったり、あるいは石油等のインフラ施設を使って分散型技術を普及することは、ある程度可能かと考えられます。しかし、基本的には、やはり電力供給ネットワークによる供給システムというのはいろいろな面で有利になります。

大型発電と大規模送配電ネットワークの課題は老朽化対策です。既設の発電設備や、あるいは送配電施設の信頼性をこれからどうやって確保していくかが大事になります。だんだんと施設の老朽化が始まり、さまざまなところに材料の欠陥があらわれてまいります。これからは材料劣化に伴う老朽設備の維持基準をしっかりと確立していくこと、それからまた特定プラントでトラブルが発生したときに、すべてのプラントを停止する、そういった必要がないようにしていくことも大事かと思えます。そういった安全管理システムあるいは制度を確立していくことは、社会の経済損失や社会的な影響を小さくすることにもなります。

また、原子力発電について申しますと、寿命延伸と更新計画の早期着手が大事ではないかと思えます。これは、制度を含めてその対策を検討していくことが求められます。

さらに原子力の場合、プルトニウム利用技術の確立も大切になります。中国を中心とするアジア地域の経済発展は大変目覚ましく、エネルギー需要が非常に高い伸び率で増加しております。長い目で見るとアジアにおける原子力開発は、不可欠です。我が国は、アジア地域では先進国であり、原子力については非常にすぐれた技術力を持っております。わが国の優れた原子力技術でもって、アジア地域におけるエネルギー安全保障を高めるための役割がわが国にあるのではないかと思います。

原子力技術がもし必要であるならば、我々は子孫に対して安心できる技術開発と環境への負荷をできるだけ小さくする義務があるかと思います。原子力は燃料サイクルが整備されて初めて完成した技術になります。再処理技術の先送りというのは基本的には責任逃れです。いずれ、子孫がそのツケを負うことになるかと考えられます。我々はできるだけ安全性の高い再処理技術、あるいは環境負荷を低減していく再処理技術を開発し、それによって将来の子孫の不安を小さくしていく努力が必要であります。

大型技術の開発というのは一朝一夕で完成するものではありません。原子力発電の信頼性を確保するのにも、半世紀がかかっています。そして未だに、国民から信頼される安心できる技術になっていません。核燃料サイクル技術も、同じような問題があるのではないのでしょうか。信頼性を確保していくためには、地道な技術の積み重ねが必要です。原子力を利用していくとなると、将来はプルトニウムを利用せざるを得ません。そのための道を今ここで閉ざすということは、大きな問題ではないかと思います。我が国は、六ヶ所村の核燃料サイクル施設を基盤技術として確立していくことが必要ではないかと思います。現状では、核燃料サイクル施設は経済性を考えると非常に厳しいものがあります。電力自由化の流れの中で実施していく難しさがあります。何もやらなければ経済負担はないわけですから、中間貯蔵が最も楽な選択肢です。しかし、それは子孫へのツケ回しだということも、忘れてはいけないのではないかと思います。

以上、将来のエネルギー展望と原子力についての私なりの考え方を述べさせていただきました。どうもありがとうございました。

【内山先生との質疑応答】

(近藤委員長) どうもありがとうございました。委員の先生方からご質問をいただければと思います。どうぞよろしく。

(町委員) 2つほどお聞きしたいことがあります。まず、開発途上国のエネルギー消費は間

違いなく増えていく。特にインドや中国など大人口を抱えている国は、かなり爆発的に増えると思う。それで、インドネシアやベトナムも、既に原子力発電をやりたいと言っているのですが、先生のおっしゃったCDM (Clean Development Mechanism) に原子力が今入っていないということについて、特に途上国における原子力発電のファイナンスの面も含めて、いろいろ問題があるのではないかと考えています。どうして原子力がCDMに入らないのか、また、この点は今後どういうふうにしていくべきなのかということが1つです。

それからもう一つ、全く違う質問なのですが、炭酸ガス、日本のマイナス6%というオブリゲーションというのは、結構厳しいオブリゲーションで、現実に今もうかなりオーバーしてしまっているわけです。8年から12年の平均ですが、2012年までに本当に達成できるかということ、私は相当厳しいと思います。その間、オブリゲーションを達成するために、例えば風力発電を今の30万キロワットぐらいから300万キロワットに増やす計画や太陽光発電も相当のところまでいくことなどが書かれています。けれども、電力の自由化ということを中心に置きながら、企業がやるとしても、国も補助はするのでしょうか。税金を使う話ですからある程度限界はもちろん、どういうふうに税金を使うのが一番よしいのかというようなことを考えてみると、この新エネルギーというものを、比較的近い将来において、地球温暖化との関係で本格導入できるのか。内山先生はどういうふうにお考えになっておられるか、この2点を教えていただきたい。

(内山教授) まず最初に、CDMの問題ですが、これはCOPおよびCDM理事会で定められたものを含めてCDMの条件として、持続可能な技術という定義があります。その中で原子力は持続可能な技術ではないというふうに評価されております。そのために、CDMの対象技術から原子力が除かれています。

もちろん、何が持続可能な発展なのか、その問題に立ち返ってもう一度考える必要があることだとも思います。温暖化対策という面から持続可能性を見れば、原子力が最も有効な技術であることは明らかで、これは間違いないと思います。しかし、原子力には、放射性廃棄物の問題や事故への不安、あるいは核拡散といった別の問題があるために、温暖化問題だけで持続可能性を評価していくことの難しさがあります。今後、国際社会の中で持続可能性がどのように判断されるのかが問題です。

ただ、ご存じのように、COPの投票権は、日本は1票しかないわけですね。ヨーロッパは、EUが1票ではなくて、各国がそれぞれ票を持っているために、COPで決められる内容の多くはEUの考えで決まってしまうわけです。COPの中で日本の主張を認めて

もらうことの難しさもあります。今後、この温暖化問題は具体化するまでに、アメリカを含めてさまざまな問題が発生し、紆余曲折がまだ考えられます。そういった中で、温暖化問題だけに絞って持続可能性についての議論が進むことが望まれます。

それから、2番目のマイナス6%の達成、これはもうほとんどの方がご存じのように、達成はできないと考えられます。その中で、最近は新エネルギーに期待が高く、何とか達成に向けて少しでも貢献できないかということでその研究開発が進んでおります。これは、大変望ましいことであり、新エネルギーをできるだけ導入することで温暖化対策の役割を担ってもらうことは大変大事だと思います。

しかし、ご存じのように、電力供給というのは温暖化問題だけではありません。社会に安定した電気を供給するには、電力供給の信頼性が重要になります。太陽光や風力は、電気の供給信頼性の面では非常に劣っている技術です。発電が自然任せですから、電力需要に合わせて供給できません。ですから、火力発電や原子力発電、あるいは電力貯蔵技術などでそれを支えてあげなければ、普及量は限られてしまいます。ましてや、電圧や周波数の不安定性問題といった技術的・経済的な課題もあります。そういった電力の供給信頼性を考えると、太陽光発電や風力発電など不安定な電源の導入量は送電容量のせいぜい1割以下にしかありません。それも、最低負荷の送電容量で評価することになり、電源としてはそれほど大きな役割は担えなくなってしまいます。信頼性を独自に確保するとすると電池の導入が必要になりますが、その費用を含めると太陽光発電や風力発電の発電コストは今の値の2倍から3倍になるのではないかと思います。よっぽど皆さん方にお金があって、そういう問題があってもその対策に費用を払ってもいいという社会的なコンセンサスが得られればいいのですが、恐らくそれは非常に難しいことではないかと考えられます。現実的な選択肢からいうと、やはりかなりの面で補完的にならざるを得ない。今後、技術進歩によって、どれだけそういった信頼性を高める技術のコストを低減できるかが課題ですが、なかなか難しい問題でもあります。

もう一つは、再生可能エネルギーのポテンシャルについての評価があまりしっかりしていないことに問題があると思います。世界を見れば、確かに賦存量は多い。それなりに有望な地点はいっぱいあります。そういった地点での開発を日本がリードできるように技術力を高めることは大切だと思います。

しかし、国内の再生可能エネルギーのポテンシャルを見ますと、これは水力開発でこれまでに経験してきたことですが、その供給力は限られたものです。水力など再生可能エネ

ルギーの資源評価というのは、基本的には理論賦存量、技術的賦存量、経済的賦存量で表されます。水力ですと包蔵水力と呼ばれています。この中で最も大切なのが経済的賦存量で、それは化石燃料でいうと確認埋蔵量に相当するものです。水力開発は、経済的賦存量を基にして開発されてきましたが、その量というのは理論賦存量の大体数分の1程度のもので、実際に開発された量は経済的賦存量の7割程度です。それは、ご存じのように実際に開発するとなると国立公園や土地利用などの立地制約、農業や工業など水の利用を巡る競合問題などがあります。あるいは機材を運ぶときのアクセスの問題が大きく経済的でない地点あります。そういう評価が、風力発電、太陽光発電、それにバイオマスエネルギーについてきちんとなされていない。単なる日射量でもって、太陽光はこれだけ利用できるとか、風はこんなに吹いているからこれだけ利用できるでは、あまりにもお粗末な評価ですね。今後の課題としては、水力開発で行ったような賦存量の評価を、各再生可能エネルギー技術について、理論、技術、そして経済の3つの視点からきちんとして評価する作業が必要ではないかと思います。そうすることによって、その技術の役割がどの程度あるかということが、社会にも理解されるのではないかと思います。

(木元委員) 需給部会が30年の見通しで検討しているのですけれども、今、内山先生のお話の中では、将来のエネルギー需要の伸びがそれほど期待できず、とおっしゃっていますが、それは、どれくらい先からとお考えでしょうか。つまり2007年から日本は人口が減りますが、一方、少子高齢化社会ではあるけれども、世帯数は増えますね。それから、車に依存する人がなかなか抜けきれない状況がある。そういうことを考えると、将来どのくらい先から需要が本当に横ばいになっていくのかということが1つ。

それから、ほかのエネルギー資源をみると、石炭をもっと有効に活用しよう、クリーン・コール・テクノロジーを使ってやろうということで、エネ庁で部会を立ち上げます。石炭とか石油とか天然ガス、こういういわゆる化石燃料の将来をどうごらんになっているのか。

それからもう一つ、産業の発展はやはり量から質的な向上にあるということをおっしゃってくださったのですけれども、その質的な向上というのをどう見たらいいのか。暮らしのレベルアップなのか。民需の方でどれだけの質を要求しているのかよく見えないうのですね。だから、それをどのようにおとらえになっていらっしゃるのかということ。

最後に、自由化の流れの中で民間企業に負担を強いることは難しい、国はそういつたりスクをちゃんと考えなければいけないということで、その具体策を明確にしていく必要が

ありますが、いろいろなところで国の責任が今問われてきていますね。例えば、高レベル廃棄物の処分をした場合でも、この施策がうまくいかなかった場合に、最終的な責任は国が負うというコメントは出しているのですが、その国の責任というのを、具体的には内山先生はどうお考えになっていらっしゃるのか。

幾つか言いましたが、お答えいただければと思います。

(内山教授) 非常に厳しい質問ばかりで、全部は答えられないと思います。最初に将来の需要ですけれども、ご存じのようにエネルギー需給部会の下にワーキングがありまして、現在その作業をしております。それはまだ公表できるものでないために、大変申しわけないのですが、具体的な展望は私の立場からは言えません。

個人的には、今おっしゃられたエネルギー需要が増える要因も考えられます。例えば、私も、インフラの老朽化によって再整備がそろそろ始まるのではないかと。そうすると、素材産業は再び国内需要の高まりから復活していくのではないかと、そういうことも言っています。しかし一方で、さまざまな業界にアンケートしてみますと、今後のインフラ整備は維持補修が中心になり、更新需要の伸びはあまり期待できそうもありません。つまり、現存のインフラを保守修繕するような社会の流れを考えると、素材産業を中心としたエネルギー需要は2030年位までの長期にわたりそれほど伸びないのではないかと気がします。

それから、先ほどの民生、運輸のエネルギー需要に関しましても、今後の環境政策、省エネ政策にも依存するわけですが、今の流れの中では、省エネ型の、あるいは環境を守るような技術発展が日本の新しい産業発展の大きな役割を担うのではないかと思います。将来的には、そういう技術がアジア地域あるいは欧米でも広く普及して、世の中の主流になるのではないかと。そういうことを考えていくと、従来型の製品に対して、環境や効率を重視した製品が今後出てくる。また、そういった技術の発展を政府は積極的に推進していく可能性もあります。それが、日本の産業再生の1つになる可能性もあります。環境を重視する製品開発が将来、日本だけでなく国際市場にまで展開するとなれば企業は積極的に努力するようになると思います。となると日本での民生や運輸部門のエネルギー需要も2030年くらいの長期にわたりあまり伸びないのではないかと予測します。

それから、2番目の化石燃料の将来ですが、これは本当に不確実性が大きな問題で、正直言って、私もよくわからない。この資源の埋蔵量評価というのは、だれもわからないのではないかと思います。今は確認埋蔵量ぐらいでしか評価ができないわけです。つい最近、化石燃料の資源量が今後のエネルギー需要に対してどのくらい供給し続けることがで

きるのかということを経験者に計算させました。これは I I A S A が出している化石燃料の統計データがあり、それは石油、石炭、天然ガスの資源量は現在の可採埋蔵量の約 5 倍から 6 倍あるという推定です。将来のかなり低成長シナリオに基づいて、現在と同じように 9 割の供給曲線を描かせていきましたと、2200 年半ばになると、完全に化石燃料は供給不足になります。良質の石油や天然ガスはもっと早い時期に枯渇し、将来は質の悪い化石燃料に依存してエネルギーを供給していかざるをえません。

実際に、I I A S A のデータがどのくらい信頼あるものかというのは、これもよくわからないのですが、推定されている資源のうち 3 分の 1 くらいしか採掘できないのではないかとかなり悲観的なシナリオも考えられます。

といたしますのは、日本でも石炭は地下にまだいっぱいありますが、I I A S A の資源量にはそれも入っているわけです。しかし、これから将来、日本は石炭を再び掘りますか。よっぽどエネルギー需給が逼迫すれば、また掘り始めるのかもしれませんが、なかなか考えられません。現在、海外で採掘している石炭の坑内掘りというのは、採掘の経済的な生産性を上げるために、直径 12 メートルぐらいのカッターで自動的に採掘しています。採掘した後は掘ったところの岩盤が崩れていくため、地下資源を完全には採っていません。要するに、経済性を追求した採掘法になると採掘できずに取り残される資源の量もかなりあるということです。そういったことを考えると、化石燃料の資源も超長期に見ると、そんなに長い期間にわたり安定して供給することは難しいのではないかと。私は資源枯渇と地球温暖化というのは長期の問題ですが、同時に顕在化するという点で将来の深刻さにおいて両方とも基本的には同じ問題ではないかという気がしています。両方とも不確実性がある、正確に予測していくことは現時点でははっきり言えません。しかし、資源の面でも将来はかなり厳しくなることが予想されます。

しかし、短期的に見ると、非常に楽観的です。今、石油の需給というのはそんなに大きく逼迫していませんから、まして 10 年くらい先まではそんなに不安感もないですし、かなり楽観的な見通し論が、今、世の中全体にあると思います。燃料の取引はプライスが市場でもって常に大きく変動するだろう、ボラティリティー (volatility) が大きくなりすぎるものの、危機にはならないというような展望が、今、大半かと思うのです。

そういった状況を考えると、不確実性のある長期の問題、すなわちまだはっきりしていないものに対して社会の人々を説得し、その対策にお金を使うことの難しさがあります。温暖化問題あるいは資源問題をどうやって説得力あるものにしていくかが課題です。資源

供給や温暖化問題を考えると、アジア地域はかなり厳しいということは事実です。石油と天然ガスの資源量が最も乏しい地域であるアジアでのエネルギー安全保障は大きな問題です。我々は地道な努力が必要で、アジア地域に豊富にある石炭は環境保全を考えながら有効に使われていくことが大切で、クリーン・コール・テクノロジーを開発する必要があります。温暖化が問題だから石炭を使うなというのは全くおかしなことで、世界の全電源の約5割は石炭火力で成り立っている事実を我々は忘れてはいけません。石炭というのは大事なエネルギー源の1つです。

それから、量から質の変換ですが、これはライフスタイルの問題でもあると思う。我々の生き方も、だんだんと価値観が変わっていくのではないかと思う。エネルギー供給でいう質とは、信頼性、安全性、そして環境性になるかと思えます。私はエネルギー技術について質の向上を図るということを、そういう視点から言っております。現在のエネルギー供給をみると、既に質はある程度まで満たされているかと思えます。しかし、社会経済情勢はグローバル化の流れの中で絶えず変動があり、設備は次第に老朽化し、化石燃料も質の悪い資源を使わなければなりません。将来は現状レベルの安定供給を維持していくことも難しくなる可能性があります。

エネルギー産業の発展の方向の1つに、情報技術との連携が非常に大事ではないかと思う。現在、いろいろな分野で情報技術が発展しているわけですから、それらと融合することで、信頼性、安全性、あるいは環境性を高める技術進歩があると思えます。人の体にたとえば情報は神経系のようなもので、これまでつくり上げたインフラの中に神経を入れることでエネルギー供給技術の信頼が社会に得られることを期待しています。

それから、民間リスクが高くなる中での国の責任ということですが、基本的にエネルギー問題だけでいえば、今は楽な時期ではないかと思えます。需要が伸びていないために投資をする必要も小さくなっています。燃料価格も比較的安定しており、供給途絶の心配もありません。現状では大きな原子力事故や深刻な環境問題もありません。エネルギー供給に大きな不安感があるとは思えません。我々がリスクと考えているのは、かなり先の枯渇や環境問題ではないかと思えます。そういった長期のリスク回避の対策は、国だけでなく民間も協力して実施していくことが大切になります。国は中心となって対策を立てることが基本ですが、同時にその対策が産業として成長していく必要があります。

私は、石油、天然ガスとか原子力以外のエネルギー産業というのは、民間企業が市場の中で産業を発展していこうとする努力をしていると思えます。原子力産業も同じような産

業の発展を模索できないのかと思う。従来型の何となく大型技術を中心とするような需要が自然に生まれてくるような発想ではうまくいかない。自ら産業をつくり出すような、そういう流れをぜひ原子力産業にも期待したいと思っています。その芽は、優秀な原子力技術者がたくさんいるわけですから、いろいろなところにあるのではないかと私は思っています。ほかの産業の人たちだって、いろいろ苦労しているわけですから、やはり原子力産業の技術者も、これからそういう意識で産業をつくっていくということに専念してもらえたらということをお願いしていますし、私もその1人として頑張りたいと思っています。

(齋藤委員) 今のお話に関連して、2点ほどお伺いしたい。まず最初に、産業界の原子力技術者がいろいろな意味で知恵を働かせて新しいことに立ち向かっていくようにというお話であったかと思えます。新しい需要、発注がないと、原子力の専門家は他の分野に散ってしまうというような話をよく聞くわけです。民間の中での原子力技術者あるいは研究者は、どんどん消えてしまっているというふうに聞こえてくる。その中で、なかなか難しい問題だと思うが、今、先生のおっしゃったようなことになるには、どういうメカニズムがあればいいか。

それから、木元先生のご質問にあった国がどれだけ負担するのかということに関連して、これからアジアのエネルギー市場がどんどん伸びていく中、原子力技術の移転という問題が出てくる。そこでは産業界にも頑張ってもらうわけですが、その中で国の役割はどこまでが妥当か。今後の開発はすべて国が主体といっても、今の財政状況を考えると極めて難しいのではないのかと思う。その中で、説得力のある解というのがあるかというのをお話しいただければと思います。

それからもう1点、ご専門であるので伺いたいのは、要するに少子高齢化になって、エネルギー需要が伸びないという話はよく聞くわけですが、現にいろいろなメーカー等は、労働力が豊富にあってコストの安い中国とか東南アジアに工場をつくっている。一方、中国などは逆にどんどん経済発展していく。そういうことが進んでいった場合に、私は日本の人口が減っていくけれども、産業をきちんとやっていこうとすると、ヨーロッパでは結構あると思うのですが、労働力を他の国から導入することによって、日本で物をつくるというようにまた戻ってくるようなことはないのか。そうすれば、エネルギーの需要はまだ結構伸びるということもあると思う。ここ5年、10年でそうならないかも知れないが、20年、30年後、あるいは50年後、そういうことは全く考えられないのかというのを私は前から若干疑問に思っていて、ご見解をお伺いしたい。

(内山教授) 原子力産業については、実は昨年3月に、社会経済生産性本部で「エネルギー産業の新たな事業展開に関する有識者アンケート」というのを調査しました。実は、今日、お手元にその概要を添付しております。

その中で原子力に関連するところが幾つかあります。10ページに原子力に関係しているところが入っております。「今後の原子力関連産業の発展についてどのように思うか」という質問に対して、約33%の人が「現在と変わらない」と、最も回答件数が多かったです。それから「かなり成長する」あるいは「ある程度成長する」という人が35%、また「ある程度衰退する」「かなり衰退する」という人が31%いまして、結局、意見が3つに分かれているといったところです。年齢別で見ますと、高い年代の方が成長への期待が高いという傾向が出ております。今後、この原子力に対して、国と電力業界の責任・役割についてのアンケートも同時にしたわけですが、44%の人が「ある程度、国の役割を増すべき」と答えております。それから、24%が「全面的に国が責任を負うべき」ということで、有識者というのはエネルギー関連の専門家の方を対象としたものですが、原子力に関してはかなりこういう意識の方向にあるということがわかりました。先ほどの産業発展ですが、これも基本的には安全性、信頼性、さらにバックエンドで産業を起こしてほしいというのが大半でした。それ以外の新しい技術開発については、それほど大きな産業発展は期待されていないといった状況があります。

産業の発展からみると、既存軽水炉の高度化が最も確実なものになるかと思えます。技術の発展で大切なことは社会に直接役に立つ技術分野で若い人も引きつけるという点ではないかと思えます。既存の原子力発電所の劣化に伴うさまざまなこれからの技術対策に対していろいろな情報技術を取り入れた新たな技術の芽があるのではないかと考えています。原子力産業も、先ほど言いましたように情報という神経を入れることによって技術の発展がある。

個人的には、さらに放射性廃棄物を産業化できないのかということをお願いしています。今の放射線利用というのは、放射性廃棄物の量を増やしているだけで、本来は社会の環境負荷を低減していくためには放射性廃棄物を利用した放射線利用が望ましいのではないかと考えています。再処理した後の放射性廃棄物を産業利用できるような技術の流れも、個人的にはつくってほしいと思っています。そうすれば、「放射性廃棄物も利用できる」ということが社会に認知され、原子力に対する見方も変わってくるのではないかと考えているのですが、そういった技術の発展を理解してもらうのは原子力専門家の中でも難しい状況にあ

ります。

それから、2番目のアジアへの技術移転ですが、アジアの多くの国には、原子力に関しては技術力がありません。で、先ほど言ったような日本の高い原子力技術力がそういった国々への模範となるように、原子力技術が信頼あるものであるということを実績と教育でもって各国に示すことが必要になると思います。そうして信頼性が確保されれば、アジアでも徐々に原子力の開発が進むと思います。しかし、もちろん中国は、日本の技術を使わないで独自にやるということはあると思いますので、そういう点で必ずしもすべてが日本の技術だけにはならない可能性もあるかと思います。しかし、それなりの技術移転は期待できるのではないかと思います。

それから、最後の外国人労働者ですが、これは私、労働問題の専門ではないものですが、ちょっと答えられないのですが、ヨーロッパ、アメリカは、おっしゃるとおり、確かに外国人労働者がかなりある面での産業を支えているかと思っています。日本もそういう傾向があって、欧米の後を追うように外国人労働者が入ってくると思う。しかし、陸続きでないというところもありまして、欧米に比べれば、その入る数が制限されるのではないのでしょうか。

そうはいつでも、今後少子化が急速に進みますと、大量流入の可能性もあるのではないかと思っています。もちろん外国人労働者が増えれば、言語や習慣の違いによる社会問題は発生してきます。しかし、別の面からみれば人口数を減らさず、経済発展を維持していくことになる。欧米でもそういう方向で発展しているわけですので、外国人労働者の増加は避けることができない傾向かと思っています。この問題はぜひ労働問題や人口問題を専門としている方にお聞きになり、正確な情報を得た方がいいという気がします。

(近藤委員長) 最後のところですが、今の日本の人口が1億3,500万人で2050年が9,000万人といわれていますから、4,500万人をキャンセルするだけの労働力が外国から入れられるかということです。統計上の外国人労働者は、今大体200万人ぐらいですから、皆さんの周りに今の10倍、20倍ぐらいの密度でもって外国人がいるという社会を我々は希求しないと、今の人口は維持できないという量的な議論を少ししていただくと大変ありがたいんですが。

(前田委員) 当面軽水炉の寿命延長とか、あるいは将来的なりプレイスということをおっしゃいました。それから、やはり再処理技術というもの、そしてそれから出てくるプルトニウムの利用技術というもの、これは子孫に先送りしないできちんと地道に開発していくべ

きだということをおっしゃったわけです。

原子力の産業化ということもおっしゃって、恐らくその産業化という中には放射線の利用もあるでしょうし、小型原子炉みたいなこともあるかも知れないし、いろいろなシナリオが考えられますが、将来的には恐らく高速増殖炉というのが大きな目標になるだろうと思います。そういったいろいろなシナリオが考えられる、まさにそれをこれからいろいろ議論しなければいけないところなんです、先生が考えておられる最も可能性の高い、あるいは我々が追及すべきだと思われるようなシナリオというものをもちまして、教えていただきたいと思います。

(内山教授) 社会の今の状況を考えてみますと、確率の一番高い流れというのはかなりの期間軽水炉を中心とする技術開発でしょう。これは多くの方がそういう考え方を持っておられると思います。自由化のようなことを考えると、バックエンド対策もできるだけコスト負担がないように、すべてを先送りするというような考えもあると思います。

やはり人によって価値観が違いますから、経済の外部性の問題をどの程度評価するかは大変難しいことです。しかしエネルギー政策というのは5年、10年くらいの問題ではないと思います。やはり過去50年のエネルギーの流れを見ましても、大きな流れで変化してきているわけですし、そういう長期の視点をどうしても忘れてはならない。5年、10年後、あるいはそれ以降の状況というのはがらっと変わる可能性があるわけです。

それを考えると、原子力のような大型技術の場合は、情勢が変化したときにまた大きく政策を変更するという事は難しい。当面は経済性を優先する保守的な流れでいくと思います。しかし、将来の社会変化に対する対応はとっておかなければならない。それをどうやってとるかというのは、お金がかからない方法が一番いいわけですが、それを考えると、どの程度のことをやればよいのかということになってくると思う。ですから、再処理は六ヶ所を中心として進めていく。もんじゅに関しては、私はその先の技術だと思います。ナトリウムを使う技術は大変難しい技術であり、プラントとして長期に信頼性を確保していく上で軽水炉と違う問題がいろいろ起きると思う。それは経験によって得られるもので理論から実証できない問題ですから、我々が経験することによってノウハウをつかむ、これが技術開発だと思う。

ですから、確かに今の経済情勢から見れば、高速増殖炉を今つくる必要は全く無いということになるかもしれませんが、軽水炉と違う技術の1つとして開発の必要がある。実用化という面から見ると、高温ガス炉もありますが、信頼性が高いという面では、やはり高

速増殖炉の方が高い。

超長期の技術を見れば夢のような技術は幾らでもある。しかし、今の時点から将来を考えると最も信頼性の高い技術に我々はある程度力を注ぐ必要があるのではないかと感じます。そういう視点で、原子力技術の発展は考えてほしいと思います。

(近藤委員長) 大変お忙しいところおいでいただいたにもかかわらず、大変懇切なご説明と質疑応答をいただきまして、誠にありがとうございました。

私ども、短時間に消化できないところもあったかもしれませんが、また、今後、必要に応じてご質問申し上げることがあるかと思いますが、よろしくお付き合いのほどお願いいたします。それでは、どうもうありがとうございました。

【山地先生のご意見】

(近藤委員長) それでは、次に東京大学の山地教授にお話を伺うことにいたします。

山地先生は、新領域創成科学研究科の先端エネルギー工学専攻というところと電気工学専攻も兼ねておられます。東京大学工学部原子力工学科を72年に卒業されて、77年に博士課程を修了され工学博士の学位を得ておられます。その後、直ちに電力中央研究所に入所されて、経済研究所でエネルギー研究室長、あるいはエネルギーシステムグループリーダーを務められ、その後、東京大学の電気工学専攻の教授として着任されました。この間の業績については皆さんよくご承知のとおりでありますけれども、現在は、IIASA国際応用システム分析研究所の日本代表理事を務めておられ、グリーン電力認証機構の委員長もされておられるということで、エネルギー問題の多方面にわたって大変お忙しく、しかし、大変するどい問題提起をしながらご活躍です。今日は地球温暖化対策における原子力の意義ということで、私どもが定量的分析を重視するということをスローガンにしますと、早速、定量的政策評価の事例としてという副題をつけていただいてプレゼンテーションいただけるということで、大変ありがたく思います。よろしくお願いたします。

(山地教授) 今から30分ぐらい、近藤先生からもご紹介のあった地球温暖化対策における原子力の意義ということで話をさせていただきたいと思います。

年頭の原子力委員会が出された所信に「各種代替政策提案に関する定量的な検討を速やかに開始します」ということでしたので、ご参考になればと思いこのテーマを選びました。

私は温暖化対策に関してモデル解析というのをここ10年ぐらいやってきていますが、

その中で、日本政府が10数年前のヒューストンサミットで提案した地球再生計画という100年計画についてモデル解析するという事に協力しましたので、その紹介をします。その中で原子力が出てまいりますので、原子力がどういう意義があるかを核燃料サイクルの効果を含めて紹介します。

次につけましたのが、CO₂規制の不確実性の影響ということです。地球再生計画は温暖化対策ですからCO₂規制と深くかかわるわけですが、温暖化問題が今後21世紀にどう展開していくか不確実性が多々あるわけです。アメリカが京都議定書に参加しないとか。したがって、CO₂規制は、現在は京都議定書という目標を持っているわけですが、今後どう展開していくかわからない。その不確実性のもとでどんな影響があるのか。それを定量的に解析するという事です。これは私の研究室の学生のやった最近の研究ですが、ホットなところなのでご紹介します。

そして最後に、これらの定量的分析の政策的意味は何かということでもとめたいと思っています。

(図「地球再生計画の概念図」の説明)これは我が国政府がヒューストンサミットで提案した地球再生計画とは何かということです。この縦軸は温室効果ガスの排出量です。ヒューストンサミットは1990年でしたが、2100年までの21世紀間に、排出量は炭素換算で今75億トンぐらいでしょうが、自然体ケースだと温室効果ガスの排出量はとにかく上がっていくと思われているわけです。これだと濃度がどんどん上がって行って温暖化が進む。

どこかでCO₂濃度上昇を抑えるためには、21世紀中に、排出量を現在よりも大分抑えて、濃度を安定化するというパスに持っていかなければいけない。地球再生というのはそれ以外にもいろいろな課題はあるのですが、温暖化対策という意味では、濃度安定化を目指すのを地球再生と見て温室効果ガスの排出量を下げる。そのため、ここには省エネルギーの推進、クリーンエネルギーの大量導入、革新的な環境技術、あるいはCO₂吸収源の拡大、革新的エネルギー技術といろいろな概念を出したわけです。それで我々が今知っている技術知識で、またコストの知識で、これを効率的になし遂げるとしたらどういう技術が採用されるのか、それも地域的に定量的に見てみようということモデルで分析したわけです。

(図「DNE21モデルの世界地域分割」の説明)今日は研究発表ではありませんのでモデルの説明はごく簡単にとっています。モデルでは、世界全体の地域を10地域に分け

ています。先進地域が西ヨーロッパと、工業地域という意味では旧ソ連・東ヨーロッパ、日本とオセアニアと北アメリカの5地域。途上国というのは、計画経済圏アジアとその他アジアと中東・北アフリカ、サハラ以南アフリカとラテンアメリカ、この5地域に分けています。

実はこのモデルはいろいろ展開があって、今や100地域ぐらいの分割のモデルもあるのですが、今日ご紹介するものはこの10地域分割のモデル。これにそれぞれのエネルギー需要、資源、技術の条件を与えて地球再生計画が目標とする21世紀中に大気中のCO₂濃度の上昇を抑えて安定化させるというパスを描くというわけです。

なお、温室効果ガスには最近ですとメタンやN₂Oも含まれますが、このモデルではエネルギー起源のCO₂に着目します。これはそのときのエネルギーモデルです。(図が入る)要するに一次エネルギー資源、化石資源から自然エネルギー、原子力まで含めて、それらもちろん発電は当然であります、ガス化とか液化とか水電気分解で水素とか、いろいろ変換、加工して、もちろん地域間の輸送もして、最終的に与えた固体とか液体とか電気というエネルギー需要を満たすようにする。

そのときに、需要を満たし、かつ資源量制約を満たし、いろいろな技術的な変換制約を満たしながらコストは最小にする。ただし、コストは21世紀の100年間に時間分布しますから、それは割り引いた総コストを最小にするということにします。また、省エネの扱いなどについては幾つか手の込んだことをやっています。

早速ですが、濃度安定化の長期戦略ということはどういうことを見るかですが、まずはCO₂濃度を550ppmに安定化するというを設定します。これは、現在IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change:気候変動に関する政府間パネル)でいろいろな議論が行われていますが、550ppmというのは産業革命以前の280ppmの約2倍ですので、均衡的に言うと3度プラスマイナス1.5度ぐらいは温度が長期的には上がる、海面も上昇するというレベルです。

しかし、私はこの程度の温度上昇は長期的にはしかたないと思っていまして550ppmを使いました。しかし議論は450ppmにしなければいかんとか、650ppmぐらいがいいのではないかなど、いろいろなされています。しかし、このモデルの解析では、550ppmを達成する最適経路を求めているということです。

まず、CO₂何も制約がなければどうなるか、これは単に与えられた需要を最小コストで満たしたらどうなるかという姿、これはよくBAU(Business As Usual)といいますが、そ

れと550ppm制約を課した場合での最適解を比較します。今日はメインの話でないので簡単にいいますが、「京都議定書は意味がない。究極目標について何の効果もない。」というのがアメリカの意見ですが本当にそうなのか、京都議定書だけを守ったらどうなるのか、というもお見せします。そうすると、やはりだめだという答えが出てきて、途上国が参加しないといけないとなります。途上国にどれくらいつき合ってもらえれば、その濃度安定化という目標達成ができるのか、これもお示します。

メインは550ppmで安定化する最適経路の中でどんな技術がどんな役割を果たすのか、その中で原子力はどうかということを見ます。その次に、核燃料サイクルの効果はどうかというような話に持っていきます。

まず550ppmでの安定化です。これはIPCC第二次レポートからとった2000年、2100年、2200年、2300年と100年単位の長期将来です。2000年には、370ppmぐらいの濃度ですが、それを長期的に550ppmに安定化する。ほかにいろいろなレベルの安定化が書いてあります。CO₂の排出量は、下側に描いてあるように、どの濃度に安定化するにしても数百年という単位では今よりも半分以下にしなければ濃度安定化は起こらないということです。

(図「大気中CO₂濃度安定化の経路」の説明)しかし、550ppmでの安定化のパスにしても、今2100年までの100年を考えても、赤でいくのか、点線の緑でいくのかでは、21世紀の姿はすごく違います。私がやったことは、赤か緑かということは決めません。モデルでは2100年の濃度を550ppmになるということを制約にして、それを満たすのは、赤でも緑でもいいと。そのパスも最適化している。またそのようにCO₂排出を抑えるのにどんな技術が使われるかもモデルで描くということです。

(図「Simulation cases」の説明)ケース1は先ほど言ったBAUで、これは二酸化炭素の制約をおかない。2は2100年に大気中濃度を550ppmに制約する最適なパス。3は参考のCOP3だけやった、つまり京都議定書だけを守るというケース、4は途上国も90年比300%の排出上限を受け入れてつき合うというケース、主としてケース1、2を申し上げますが、参考程度にケース3、4についてもご紹介します。

(図「Primary energy production」の説明)まず、一番大事なBAUと550ppmの差ですけれども、これは世界の一次エネルギー供給量です。現在石油換算で大体90億トンぐらいですけれども、それが需要が伸びていくので、2100年には250億トンを超えます。その内訳が、BAUのときには、下から天然ガス、石油、石炭、それから水力、原

子力ですけれども、これを見ていただくように、BAUでコストミニマムということで選ぶと、化石燃料の時代が21世紀も続く。資源量の話は先ほど内山先生の話にあったかもしれませんが、このモデルで仮定したIIASAとかログナーのデータによると、石炭をはじめ、資源量としては21世紀に枯渇はなく、石炭が若干シェアを増やしますが、いずれにしても、21世紀も化石燃料の時代ということになります。

原子力は建設費を軽水炉でキロワット2,000ドルという設定をしているのですが、それでは経済的に競争力がありません。化石燃料との競争に負けて原子力は既存施設が運転したところで終わりということになってしまいます。

一方、550ppmという濃度制約を置くと、まず全体として省エネルギーを行い需要が減ります。それから、化石燃料も黄色のところは石炭ですが、これは大幅に減ります。石油も最終的に減るけれども、天然ガスはむしろ逆に若干伸びる。だから、550ppmとCO₂と対策をしても2100年で化石燃料のシェアは半分以上にはなりません。ただし、やはり非化石が増え、特に原子力が21世紀の後半、かなり大きく復活します。自然エネルギーも太陽と風力が若干、水力もありますが、バイオマスがかなり大きく出てきます。だから、自然エネルギーの中ではバイオマス、そして原子力、こういうものが相当大きなシェアとなり、21世紀の終わりには一次エネルギーが相当分散するということになります。

(図「Final energy consumption」の説明)最終エネルギー消費はどうかというと、BAUの場合、今と同じく石油製品や天然ガスを使う。ところが、550ppmになると、液体燃料の一部に後半メタノールがちょっと出てくるとか、ガスエネルギーの一部に水素がちょっと出てくるとか、あるいは固体の部分でバイオマスが使われるということになります。

(図「Contribution of each technological option」の説明)550ppmとBAUでCO₂の排出量がどう違っているかという図をいろいろ工夫して書いたのがこれです。縦軸がCO₂の排出量で2000年は70億トンカーボンぐらい、それがBAUだと上がっていくわけです。化石燃料をいっぱい使うわけですから、どんどん上がって行って、250億トンカーボンを超えるようになる。一方、550ppmに制約するときは、京都議定書の目標の2010年ころはあまり下げないんですが、2030年をピークに2040年ぐらいからぐっと下げて行って、2100年には今の半分近くに押さえ込む。この差の部分を削減して、濃度安定化を図るということになるわけです。これが最適なパスだということです。

色分けは、その削減がどういう技術で行われているかを示しています。モデルでは地域ごとにももちろんわかるのですけれども、ここでは世界を合計してどの技術で削減が行われているかを示しています。植林もやるし、省エネもやるし、天然ガスも使うし、自然エネルギーも使うし、原子力も使うし、CO₂回収処分も使う。こういうふうにミックスされた結果が最適結果として出てくるということを、別に意図的にやったわけではないことを考えて、ある程度ほめていただきたいと思います。

後半は原子力の話にももちろん重点を移しますが、少し京都議定書の話をしておきたいと思います。

(図「CO₂ emissions」の説明) B A UのときのCO₂の排出量はどんどんふえていき、70億トンぐらいが250億トンを超えてしまうわけですが、内訳を京都議定書のnon-Annexのいわゆる途上国と、Annexの5地域の旧ソ連・東欧も含めた先進工業国に分けますと、B A Uでも先進工業国の排出というのはあまり増えない。要するに経済的に最適なオプションを選んでも、先進国の中だとあまり増えないけれども途上国は増える。やはりこれが問題。

550ppmという最適化をすると、途上国も伸びるんですけども、最終的には下がってくれている。先進国はというと、実は2100年にほとんど出さないぐらいものすごくCO₂削減しているということです。京都議定書だけを守る(COP3 forever)場合、先進国はアメリカも含めて守るということにしているんですけど、アメリカも含めまして、2010年からちょっと下がって、先進国は京都議定書をずっと100年間守るんですけど、途上国には網はかからない。そうすると、途上国がどんどん排出しまして、2100年にはB A Uのときよりもむしろ増えています。これは不思議なようですが不思議ではない。先進国はあまり化石燃料を使わない。そうすると、安い化石燃料を途上国が使えるので、余計に二酸化炭素を出してしまう。これは非常にまずいわけです。やはりアメリカの言っているのは正しいと、このモデルは示しています。

それで、途上国にも協力してもらって、途上国にも1990年の3倍まで(300%)しか二酸化炭素を出さないようなキャップをつけ、先進国は京都議定書はもちろん守り、2020年以降は1990年比20%ぐらい削減するというケースの結果がこの図で、このぐらい途上国もつき合ってくると550ppmになる。本当は先進国はもっと削減するでしょうけれども。

(図「Atmospheric CO₂ concentration」の説明) CO₂濃度としては、B A Uだと800

ppmを超えてしまう。京都議定書だけ（COP3 forever）では、やはり全然だめで、ほとんどBAUと変わらない。550 ppmにするパスは当然安定されていますが、先ほどいったように、途上国にも300%のキャップをつけてあげると、大体550 ppmになるということです。

しかし、今日の本題はここから先であります。原子力が550 ppmのときに復活するわけですが、先ほどの計算は実は原子力の世界全体の発電容量が15億キロワットで頭打ちになるという制約をつけているんです。15億キロワットというのは、21世紀は軽水炉しか使えないとしても、軽水炉で21世紀後半に15億キロワットの発電をすると、天然ウランはおよそ1,000万トン強必要になる。これはウラン既知資源の3倍ぐらいですが、それぐらいをウラン資源量とし、それぐらいは21世紀に使えるとして、暫定的に与えたものです。

ここからはむしろ天然ウラン資源の制約を明示的に与えて、そのもとで天然ウランを濃縮して軽水炉で使い、プルサーマルはMOX燃料（混合酸化物燃料）としてプルトニウムを使う、高速増殖炉（FBR）では再処理も同時に行われ増殖しつつプルトニウムをFBRに使うというように、ウラン資源にきちんと量的制約を置いて、核燃料サイクルも考慮して、先ほどのモデルで最適な550 ppmというパスを求めようとしているものです。

（「**図 5-16 ウラン資源量**」の説明）これはIAEA/NEAのレッドブックのデータから、いわゆる既知資源といわれているウラン資源は大体今400万トンぐらいだと思いますけれども、その3倍を想定したものです。コストカテゴリーも分けています。旧ソ連・東欧が多いですが、あとオーストラリアとカナダが多いです。

（**図「1 次エネルギー生産量、発電量」**の説明）このもとで、核燃料サイクルも含めて最適化すると、先ほどと少し違って状況がこうなります。BAUのときは原子力は相変わらずで、既存施設が運転した段階でなくなる。

ところが、先ほど550 ppmのときにも原子力は復活していましたが、これの半分ぐらいの復活だったと思うんです。核燃料サイクルも考えると、原子力の復活量は大きくなります。だから、その分天然ガスが減っているようで、天然ガスの減少をむしろ原子力の増大で補っている。

発電で見ると明らかで、BAUでは石炭系のものですが、550 ppmではこれが原子力となりまして、非常に原子力が使われる。バイオマス発電、それから水力、地熱、あと太陽電池といった再生可能エネルギーもかなり出てくるということです。

(近藤委員長) 質問ですが、550ppmのベースケースでは15億キロワットの上限に当たっているのか。

(山地教授) 当たっています。最後の段階では。

(近藤委員長) 幅あまり変わらないのはそういうことか。

(山地教授) そうです。

(山地教授) (図「CO₂排出量、CO₂排出削減効果」の説明) これは先ほどの二酸化炭素排出量と同じ絵です。BAUに対して550ppmの場合は下がりますが、今度はその下がり方は、原子力の比率が増えており、先ほどと少し違うパターンになっています。

(図「核燃料サイクル：原子力設備容量」の説明) 核燃料サイクルはどう使われているのかということを見ますと、BAUですと、原子力は先ほど申し上げたように建設費がキロワット2000ドルでは化石燃料との競争に負け、既存施設の3億5,000万くらいが2020年ごろなくなってしまう。550ppmだと、軽水炉はいったんタッチダウンしてしましますが、2040年からぐっと立ち上がって、最終的に30億キロワットには届かないけれども、25億キロワット強ぐらいいきます。

その後、FBRが入ってきまして、軽水炉でプルサーマルも行う。実はこれはエンドエフェクトで、最後にプルトニウムを残しておくのはもったいない、FBRに投入してもFBRでは最初はブリードせず、初期インベントリーになってしまうので、それならプルサーマルだったら短期的に利益が得られるということで、プルサーマルとなってしまう。だからこの部分は見ないでください。本当は、FBRになるのがいいというのが正しい解釈です。

(図「バックエンドの効果解析(550ppm)」の説明) もし、ウランのワンスルーしか技術が使えないという場合には、原子力は2080年ぐらいに20億キロワットぐらいいまで復活しますが、ウランが足らないので最終的には減ります。再処理による回収ウランを利用可能としますと、回収ウランが使えますから、ピークが上がって20億キロワットをちょっと超えるところまでいきますが、最終的には下がります。

プルサーマルだけにすると、30億キロワット弱のところまでいきますが、やはり最後は下がります。先ほど言ったように、FBRが使えるとFBRで原子力を拡大する。温暖化対策としては、このモデル解析で想定したコスト条件によれば、後半にはFBRを使ってまで原子力の拡大をするというのが最適ということになります。

(図「割引率の効果(550ppm)の説明」) 原子力発電が一時的にゼロになってし

まうのは嫌ですが、感度解析をしますと少し状況が違ってきます。まず、割引率が効きま
す。割引率5%は標準設定ですが5%は高いと思われるかもしれません、100年の割引
率5%はなぜかというかもしれません。IPCC等で割引率の議論は大変よくやってお
りまして、お金ではなく、金利ではなく、いわゆる将来世代の効用、幸福度という意味での
割引だと2、3%という意見です。しかし、効用の割引率と金利との間には、1人当たり
所得の成長率に近いギャップがあるというのが経済理論であります。それを考えると、お
金で直接割り引く、この場合には5%ぐらいがよかろうという判断ですが、ただ2%だ
という主張もある。そこで2%にしてみると、FBRの導入は前倒しになり、タッチダウン
はなくなります。つまり、これは将来の割引をどうするかによって少し形は変わる。しか
し、基本パターンは変わらない。そこはやはり見ていただきたい。

(図「LWR、FBR導入に関する割引率の感度解析の説明」) 同じような感度解析をい
っぱいやりまして、2%だけではなくて、1%、4%についてもやってみるとこうなりま
す。FBRは早目に導入されて、軽水炉がタッチダウンすることはなくなって浮いてくる
ということであります。

(図「原子炉寿命の効果(550ppm)」の説明) それからもう一つは、原子炉寿命で
あります。標準的には30年を考えています。しかし、最近でも40年あるいは50年、
60年といわれていますので、いろいろやってみました。50年にしてみますと当然です
が、既存施設がなくならないですからゼロにはなりません。しかし、基本パターンは変わ
らないというふうにお考えいただきたい。

(近藤委員長) 寿命50年ではFBRは早く入ってしまうのか。

(山地教授) これはいろいろなことがあるんだと思います。即答はするのは難しい。

(近藤委員長) わかるけれども。

(山地教授) (図「Overview of the PGBM-FCOM Model」の説明) ここからの話は不確実性
の話です。学生の資料を借りてきたものですから、なかなか複雑ですが、時間も限られて
いるのでどんなことをやったのかを簡単にご紹介します。

まず、これまでの解析との大きな違いは、ここからは日本だけを考えるということ
です。それも、エネルギー全体を考えているのではなくて電力部門だけを考えていること
です。

日本の電力で2000年から2100年まで、先ほどの割引率5%で電力需要を与えま
して、それを費用が最小になるような電源構成と運用を考えるというモデルです。その中

に、核燃料サイクルも含めてあります。

(図「Overview of the Fuel Cycle Submodel」の説明) 先ほどは紹介しませんでした、基本的に先ほどの世界モデルと同じものを使っています。ウランの生産があって、濃縮があって、 UO_2 の軽水炉とMOXの軽水炉がある。それから、使用済燃料の貯蔵ではサイト内があって、新設のサイト外使用済燃料貯蔵もあり、それから処分というオプションと再処理というオプションを持っている。再処理から出たプルトニウムはFBRで使われFBRでは必ず再処理がついていて自動的に増殖して、時間おくれでプルトニウムが利用可能となって再びFBRで増殖する。プルトニウムは貯蔵もできるけれども、MOXにも使えるし、FBRの新設にも使えるという形です。普通の核燃料サイクルです。

(図「3-Branch Scenario Tree for Uncertain CO2 Limits」の説明) それで、ここからがみそですが、日本の最適な電源構成を考える中で、 CO_2 規制がどうなるかという不確実性の影響を考えようというわけです。まず、ベースラインシナリオとして、 CO_2 規制がかからないもの考える。そしてモデレートシナリオは、2050年以降 CO_2 を90年レベルより20%削減する。20%削減ということは世界的にも CO_2 規制がかかるということだから原子力を世界で使うようになるから日本で利用可能なウランも20%減ると考える。このあたりは、かなり恣意的な仮定です。それから、ストリクトシナリオは、50%削減、半分にする。このときも、それほど日本に厳しい規制がかかるぐらいだから、世界的にも厳しい規制があって、原子力を世界で使うようになるから日本の使えるウラン量は50%減る。このあたりは、本当かどうかわかりませんが、そういう仮定でやってみたということです。

ただし、2050年までは、この3つのどのケースが起こるかわからない。2050年になって、初めてこの分岐が起こるのだけれども、その確率は、何も規制がない(ベースラインシナリオ)が60%、モデレートシナリオが24%、非常に厳しい規制(ストリクトシナリオ)は16%でかかるという不確実性のもとで行う。どのケースが起こるかわかったら、それぞれ違う戦略をやる。という仮定の下で各々の確率を考慮した期待値を最小化するという問題を解くわけです。

その結果ですが、モデレートシナリオというのは、電源構成はあまりベースラインシナリオと変わらない。だから、ストリクトシナリオだけ考えればよいということになります。やはり CO_2 の排出を半分ぐらい規制するというと非常に問題になってくる。

(図「Optimal Strategy under Uncertain CO2 Limits (1)」の説明) 2050年以降、

50%に削減することが確実で、ウラン利用可能量も50%減るということもあらかじめわかっているということで最適化すると、原子力はベースラインの時より若干増やして、しかも21世紀終り頃にはMOXを使いプルサーマルも行う。ただし、日本だけのモデルで行うと、FBRは入ってこない。要するに、プルサーマル程度で対応できるということです。

下の二つが不確実性を考慮した場合でもおもしろいんですけれども、この場合には、2050年までは不確実なもとで対応します。そしてその後2050年以降ベースラインが発生した（何も規制がない）というパスになったときの最適解（左側）は、最初からベースラインだということをわかっているときと微妙に違っています。つまり、CO₂規制が不確実だったら原子力をちょっと増やしておこうということになる。一方、2050年以降50%削減がわかったとすると、原子力をぐっとふやしてやって、最後にプルサーマルをやるのが最適だということになる（右側）。

（図「Optimal Strategy under Uncertain CO₂ Limits (2)」の説明）こちらは核燃サイクルを示しています。少しわかりにくいと思うんですけれども、おもしろい結果だと思います。まず、CO₂の規制は21世紀には起こらないということがわかっているというもとで、日本の電源構成と核燃料サイクルをコストミニマムで選ぶ（上段左側）。この図は使用済燃料の発生量とそれをどうやって処理するかということを示しています。この上側の発生量は徐々に増えていきますが、貯蔵しておいて最終的には直接処分に持っていきます。

一方、2050年以降、確実にCO₂の50%規制がかかるということが最初から分かっているという場合には（上段右側）、いったん貯蔵しておき、プルサーマルをやるときになって、過去の貯蔵分も含めて再処理してプルサーマル用のMOXをつくるわけです。

不確実な場合はどうなるか（下段）、多分現実はそのなのですが、不確実で結局ベースラインだとわかったというシナリオの場合、どうなるかわからないものですから、ずっと全部貯蔵して待ちます。貯蔵して待って、CO₂規制がかからないことが確実だというのが判明したところで処分を始めます（下段左側）。

もう一つ、不確実だったが、2050年以降CO₂を50%削減しなければいけなくなったということになると、その後も貯蔵を続け、最終的にプルサーマルをやるべきときに燃料を再処理するということになります（下段右側）。

（図「Optimal Strategy under Uncertain CO₂ Limits (3)」の説明）これは使用済燃料の貯蔵量で見たものです。不確実性下の分析では、2050年以前でベースラインが発生する

か（何も規制がない）ストリクト規制（CO₂の50%削減）が起こるかわからないときには貯蔵しておき、ベースラインシナリオだということがわかった後で処分し始めて、それ以上AFR貯蔵（発電敷地外貯蔵）はやらない。

一方、ストリクトシナリオの場合でも、ずっと貯蔵しておいて、2070年以降再処理してプルサーマルに移るということをやるわけです。後半の不確実性に関するモデル解析はまだ学生の演習のようなものですが、政策的含意はある程度引き出せると思っております。

（「政策的含意」の説明） 今までのシミュレーションから政策的含意を導き出しますと、軽水炉の建設コストが2,000ドル/kWで正しければ、地球温暖化対策という外部性を考慮しないと、原子力には市場競争力がない。しかし、大気中のCO₂濃度安定化という地球温暖化対策の究極目標を考慮すると、これは気候変動に関する枠組み条約の中の究極目標のことで、21世紀後半に原子力の大幅な拡大が望まれる。21世紀中の天然ウラン資源の利用可能量が現在の既知資源の3倍程度だとすると、地球温暖化対策のため、FRによるプルトニウムの本格利用が21世紀後半に必要なことになる。

CO₂削減規制の不確実性を考慮すると、当面は使用済み燃料の中間貯蔵を選択し、将来にそなえて再処理と使用済み燃料直接処分の両方の選択肢を確保する必要がある。当たり前のようではありますが、定量的分析というのはこんなものかなということでご紹介いたしました。以上です。

【山地先生との質疑応答】

（近藤委員長） どうもありがとうございました。ご質問、ご意見をどうぞ。

（町委員） 私、モデルというのはあまり知らないのですが、素人の質問になるかもしれないんですが、2つお聞きしたい。

1つは、BAU(Business As Usual)に特に関係あるのかもしれませんが、この化石燃料の将来コスト予測、これにはどういう仮定が入っているのかというのが1つ。

それからもう一つは、2100年までやられているわけですが、実は100年というのは決して遠い将来ではなくて、私にとってみるとかなり近い将来かなという気がする。そういう意味では、さっきのいろいろな解析のもう少し先を見せて頂きたい。つまり、数百年というようなことになると例えば核融合がどうなるかとか、そういう不確定要因が出てきて、ほとんど解析ができないのか、この辺を教えていただきたい。

(山地教授) まず、化石燃料のコストについてですが、このモデルでどう扱っているかということをお答えにしたいと思います。このモデルでは地域ごとに石油なら石油で資源のカテゴリーを分けて設定しています。これは実は石油鉱業連盟とかU S G Sとか、そういうところでカテゴリー分けをしまして、そのカテゴリーごとに、だんだんグレードが下がるごとに回収コストが上がっていく。どれくらい上がっていくかというデータもとれまして、だから地域ごとに累積生産に応じて、(モデルは線形化しているものだからステップ状ですが)コストが上がっていくというモデル化をしています。

実は最初に申し上げるべきでしたが、前半の地球再生計画の解析は、地球環境産業技術研究機構(R I T E)というところで、平成5年から平成14年まで10年間かけて行ったもので、毎年報告書が出て入手できます。そこに資源データも含めてほとんどの前提条件を書いてあります。

それから、2番目の問題ですけれども、これは実はこのモデルでも2100年以降について考慮していて、2150年まで計算して最適化して2100年まで見せるとか、そういうことを実は幾つかやっています。また、これは割引率にもよるんですが、5%の割引ということをしてしまうと、100年たちますと、1.05の100乗というのは物すごい数になってきて、あまり22世紀の選択がどうかということが、21世紀の選択に大きく影響してこなくなります。

しかし、さきほどのプルサーマルが最後に少し行われるという結果のように、エンドがあると最適化はそこで終わりだから、それ以降に資源をとっておくとか、プルトニウムを残しておくのは損だから使ってしまえという行動をとってしまう。そういうエンドエフェクトを除けば、割引率の効果によって、あまり先のことを考えなくても、21世紀の最適解というのは大体わかるというふうに考えてよろしいかと思います。

(齋藤代理) モデルの解析として非常に興味深く伺ったわけですが、モデルの細かいことを伺うときりがありませんが、簡単にF B Rは建設コストいくらとしているのでしょうか。

(山地教授) F B R建設コストは3000ドル/kWです。

(齋藤代理) それで、このシナリオはシナリオとして、例えばあるときから再処理が必要だということになったときに、その技術というのはやはり、そのとき即時に生まれてくるものではないわけです。そうすると、今後の核燃料サイクル技術の確立、それをやるかどうかの問題もお話があるのでしょうかけれども、その辺との関連づけは、どういうふうなお考えを持っていらっしゃるかというのをお聞きしたい。

(山地教授) 技術の性能とコストの想定の問題と思うんですけども、今現在、設定できる情報をできる限り努力して集めて設定するという事です。その意味は、例えば今のコストが100年間全く変わらず続くというふうに仮定しているわけではありません。物によりますが、成熟したもの、例えば軽水炉の建設費はコンスタントでやっていますが、正確に覚えておりませんが、太陽電池は2050年ごろまでは、単価が年率1、2%で下がっていくというような仮定を置いています。それから、火力発電所の効率は、これは天然ガス複合サイクルとか細かく仕分けをしてないですが、天然ガス火力の発電効率が徐々に上がっていくとか、そういうふうに現在見通せる技術進歩については、できる限り想定したつもりです。

しかし、将来はわからない。やはりお答えにきちんと答えるとすれば、齋藤委員がお考えになる設定でやってみてくれと言われればやってみると対応すべきでしょう。実はRI TEの中に委員会があって、こういう設定でやってくれないかということに対してお答えしたことはございます。そういうことがモデルの使い方かと思っております。

(木元委員) 大変に難しいですが興味深いモデル解析ですけども、このモデルを踏まえいろいろなオプションというものを私たちは考えなければいけないのですが、ただ、最後の政策的含意のところなんです、地球温暖化対策という言葉がキーワードとしてかなり出てくる。そうしないと、原子力には市場競争力がないとしておられまして、またCO₂濃度の安定化という温暖化対策の究極目標を考慮するとありますが、この究極目標を考慮しないと原子力はやはり出てこないのか。

それから、3つ目のポツのところ、これも天然ウラン資源の利用可能性が現在の既知資源の3倍程度だとすると地球温暖化対策のため、とまずここに繰り返しがあって、FBRによるプルトニウムの本格的利用が、ここも21世紀後半にとお書きになっておられる。上の段のところも21世紀後半ですが、21世紀後半になって、FBRを含めて原子力にかなり優位性が出てくるとしておられる。それで、最後に現実的な政策が出てくるという感じなのですが、当面は使用済み燃料の中間貯蔵を選択して、将来に備えて再処理と使用済み燃料直接処分の両方の選択肢を確保する必要があるとあります。ここの文言から山地先生ご自身のお考えを聞きたいのですけれども、山地先生は、こういうモデル解析をおやりになって、これだけ政策的含意をお書きになって、ご自身ではどれが一番フィットするというか、あり得るなとお考えなのか、そこだけ聞かせてください。

(山地教授) ここにまとめた政策的含意は、割と淡々とテクニカルに、この解析から得

られることをまとめたというつもりです。

というのは、ここで比較しているのは、単に経済的に最適という解と、それから温暖化対策という制約のもとでの最適な経済性を持つ解というこの2つしかやっていないわけです、不確実性のところを別にしますと。したがって、こういう表現になっているわけです。だから、温暖化という外部性を考慮しないでも、例えば我が国セキュリティーという外部性を考慮すれば、市場競争力はないかもしれないが原子力は採用すべしということになるかもしれません。ただ、この解析ではそういうことはやっていないということです。

(近藤委員長) むしろワールドモデルだということが大事なこと。だから、セキュリティーの問題がない世界でやるということですか。

(山地教授) そのようなモデル解析の枠組みを理解することが一番重要なことで申し上げたいことです。

ご質問の2番目の究極目標を考慮するはとどういうことかということですが、温暖化対策と申しますと、例えば京都議定書はどうなっているかということ、先進工業国の国ごとに2010年を中心とする5年間の排出量を規制しているわけです。多分現実には、このような排出量規制が、それよりも例えば炭素税とか、そういうような規制がかかってくるというのが現実の世界でしょう。けれども、このモデル解析では、究極という言葉をおろそかに使ったわけではなくて、先ほどいった気候変動枠組条約の第2条にアルティメット・オブジェクティブと書いてあるんですが、究極目標が大気中のCO₂濃度安定化と書いてありますから、それを使ったという意味です。つまり、ここで言っている意味は、濃度安定化という目標を設定したという意味だけのことです。

それから、3番目のところでも、地球温暖化対策のためと書いてあるのは、この制約がなく単にコストミニマムをやると、既知資源の3倍ウランが使えると仮定しても、原子力はマーケットに入ってこなかったということの意味しているということです。

それから、最後のところは説明が難しいですね。

(近藤委員長) 最後のところはジャパンモデルについてやられた結論なのか、それともワールドモデルの結論なのか。

(山地教授) ここでは日本モデルのことを言っています。

実は、世界モデルで同じような不確実性下の最適戦略というのはやっているんですけれども、この方がわかりやすいと思ったんです。ただ、この結果はあまりにも単純です。どうなるかわからないからまず貯蔵しておいて、再処理もできるように、処分もできるよう

に備えておくというのは、当たり前ではないかと思うかもしれません。しかし現在当たり前でない政策をとっているわけです、全量再処理しますと。だから、そういう意味では、使用済燃料の全量再処理をかたくなに守るということは、少なくとも不確実性対応としてはおかしい対応ではないかと思っているわけです。

あと、私が燃料サイクルのバックエンドについて、いろいろなことを申し上げていることをここで繰り返す必要はないのではないかと思います。

(木元委員) それが含まれているものかもしれない。

(前田委員) ウランが既知資源の3倍程度だとして、20世紀の後半に相当FBRが入ってきます。3倍あるかどうかわからないのですが、仮に2倍だとしたら、あるいは今わかっているだけだとすると、FBRに入ってくる時期は早まってくるのかなと思うのですがどうですか。

それと入ってくるFBRの量が相当急激に増えるんですけども、当然FBRは初装荷炉心には100万キロワットクラスだと10トンぐらいのプルトニウムがいるわけで、そのためには相当早くから再処理をやって準備をしていかないと、これだけ入ってこないと思うんですけども、その辺の再処理を始めてプルトニウムが入ってくるまでの時間的なシナリオはどういうふうに考えているのか、そこを教えてください。

(山地教授) まず最初のウラン資源量の方ですけども、小さい方に振った感度解析は実はやっていないです。大きい方に振った感度解析はしています。これに関連して、実は石油とか天然ガスの過去100年程度の確認埋蔵量の推移というのがあるわけで、そういうのを見ていきますと、需要が確実に見込める場合は、100年間で3倍程度確認埋蔵量が増えているというのは当たり前にあることなので、原子力が使われるという前提のもとでは、増えていくのではないかと思ったということです。

では、これが今のまま400万トンしかなければ、FBRが早期に入ってくるかどうか、これは実はまだやってないので何とも申し上げられません。FBRは入ってくると思うのですが、さっきの2番目の質問と関係があります。2番目の質問は単にプルトニウムバランスだけでFBRの導入量を決めているというのではなくて、このモデル全体がそうですが、新しい技術の導入速度制約というのをやっています。これもなかなか研究が難しいところなんですけれども、いろいろな新しい技術がマーケットに入るときに、例えばシェアが10%になるまでにどれぐらい時間がかかるかとか、そういうルールがある程度あります。

ですから確実に安くても、10年前にゼロだったものが10年後に安いからといって、100%にはなり得ない。何年かたってS字カーブのように入っていくという新技術の導入率制約を課しておりますから、まずそれが効きます。

それともう一つは、これはモデリングにもよるのですが、このモデルではやっていないのですが、再処理の容量自体をモデルの中で選択させるというモデルも別途持っております、そうすると、再処理を建設する建設コストというのが入ってきますから、ある程度事前に再処理を行って、プルトニウムでためておくのが最適ということが出ないわけではありません。

しかし、言い訳になります、このモデルではそうはなっていません。このモデルでは、新しい技術の導入率制約というのが入ってちょっと抑えている。それがリアリティーがあるかどうかはまた検証を要するところかと思えます。

(齋藤代理) 今のお話と関係するんですが、先ほどの私の質問もまさに最後のページの「将来に備えて再処理と使用済み燃料直接処分の両方の選択肢を確保する」ということに関してです。あるとき再処理が必要になったときに、その日から再処理が可能になるわけではなくて、やはり技術の積み重ねというのが必要なわけです。それをほかの国に頼めるかということですが、そういうオプションを必ずしも30年後、50年後を見通せるわけでもない。そういう状況において、先ほど申し上げたように、これはこういうシナリオでこういう答えが出てきたというのは非常に価値のある、意味のあることだと思いますけれども、そういう技術というものが生き物であり、継続性があり、またそれによって改良もされていくというところをどういうふうに評価していかなければいけないかと。その辺が私の先ほどの質問のポイントだったんですがどうでしょうか。

(山地教授) 多少お答えできるのは、この不確実性のモデルでも不確実性が解消されても、解消された時点で直ちに最適オプションがとれるのではなくて、実は10年待って10年後からとれるということにしています。だけど、ゼロから10年で商業的な技術ができるとは思えないので別途考察が必要でしょう。このモデルでは必要だとわかったら、次の10年のステップからはそれが採用できるということを前提としているというふうにお考えいただければと思います。これは後半の不確実性についてのモデルの話です。

(齋藤代理) 10年のインターバルで考えているということですね。

(山地教授) はい。

(町委員) さきほどのセキュリティーですが、つまりエネルギー源の確保ができるかという

のが、このモデルには入っていないわけですが、これは非常に政治的な問題もあり、難しいと思うのですが、モデルを有効に利用して、例えば今、中東から90%の石油を輸入している中東が、これが紛争のために途絶えたという仮定を置いてやると、さっきのFBR導入の時期とかがどう変わってくるかという計算は、できるわけですよね。そういうのは、いろいろやっていただくとおもしろいと思うのですが、いかがでしょうか。

(山地教授) おもしろいと思うことは大抵やっている人がいたり、やっていたりしております。ただタイムフレームが全然違うんです。現在私の研究室で行っているアプローチは1年を考えて、1年を月単位で割ったり、あるいは3カ月単位で割って時間刻みを小さくした上で、中東からの石油が3カ月中断するという状況を考える。そういうタイプのもので、それで備蓄オプションがどういう効果をもつかかというシミュレーションを行います。これも不確実性のさっきのやり方とよく似たやり方で、不確実な分岐がある場合の最適解というのでやっていますが、残念ながらそういう長さですから、FBRとかプルサーマルも含めて、そういう解析のフレームの中には出てこない。やはり原子力、特に核燃料サイクルのセキュリティー価値を解析しようとする、もっとずっと長い時間フレームを考えないと対応ができないのではないかと思います。

しかも、原子力のセキュリティー効果には、原子力発電を持っていることによって、多分そういうシチュエーションが起こらないようにするというような抑制効果があると思う。この危機状況が発生することを事前に抑制する効果は、モデルでは、計算に乗ってこないということがありまして、セキュリティー問題をどうやって定量的に解析するかというのは非常に難しい課題だと考えています。

(近藤委員長) 最後の政策的インプリケーションのところは、やはりちょっと遠慮して書かれているというか、モデルに割とストリクトに関係するアウトプットを書いておりますが、問題は原子力委員会に投げたということだと思います。

そこで、やはり齋藤委員が関心を持っておられる研究開発計画をどういうふうを用意しておくのがいいか、最も合理的かというような問題とか、せっかく地域モデルを使っておられるとすれば、その中で世界の標準的な振る舞いと、日本の振る舞いというものは多分結果はお持ちだと思っただけけれども、そのような、今皆さんが関心を持っているような部分について議論し、そして、さまざまな定性的、かなり情緒的なセキュリティー論というのが横行していますが、そういうようなモデルを例えば1年、10年の供給途絶ですら、ある程度の備蓄とある種のインターナショナル・ネットワークがあれば大丈夫であるとい

う答えが出てくるかもしれないし、やはり10年となると、イラクは何カ月とまったのか、何年とまったのかわからないけれども、そういうさまざま議論ができるような中身になっていると理解している。やる気になるかどうかの問題が多分一番大きくて、そこを悩むのだと思うんですけども、多分本人からは言いにくいかもしれないけれども、これに関してはたしか単行本を出しておられますね。

(山地教授) そうです。「グローバルエネルギー戦略」というタイトルで、2050年までを各10年ごとに最適解をつないでいくというタイプのモデルによる研究をまとめて、しかしもう10年近く前ですね、95年に本にして出しています。

R I T E の計算結果は、2、3年前だと思いますが、R I T E 創立10周年記念の出版で、「CO₂削減戦略」というタイトルだったかと思いますが、本が出ていまして、そこでこのモデル解析の中身が紹介されております。

最後の日本のふるまいというのは確かに重要なんですが、頭に入れておいてほしいのは、このモデルは世界のトータルコストの最適化ですから、日本にとってはいいとは限らないということです。

(近藤委員長) 今、最後におっしゃられたように、こういう計算結果は、非常に誤用、悪用される向きもありますが、それはR I T E の仕事であればある種の国民の財産でもあるわけだから、ぜひわかりやすい解説で、引き続き単行本も出していただいて、皆さんに読んでいただくといいと思います。

今日は本当にお忙しいところ、立派な資料を用意していただきまして、誠にありがとうございました。時間が大分過ぎましたので、これで終わらせていただきます。

【閉会の挨拶】

事務局より、本日の議事録を作成し両先生にご確認の上、公開する旨説明があった。

事務局より、次回の会合を2月9日の18時30分から、場所は同じこの会議室で、三井物産戦略研究所の寺島先生にお越しいただくことで設定してことを説明があった。

(近藤委員長) 本日はありがとうございました。また、大変遅くまでおつき合いいただきまして、傍聴の皆様も含めて、心から感謝を申し上げます。

こういう格好で、もう少しアグレッシブなディスカッションができるような雰囲気でないものか考えています。山地先生には再登板していただくこともあるかなと思います

が、その時はよろしく願いしたいと思います。どうもありがとうございました。