

# パネルディスカッション

## 「明日のエネルギー・社会・環境を考える」

パネリスト：宮沢 龍雄  
                  西山 孝  
                  新宮 秀夫  
                  坂 志朗  
                  牧野 圭祐

コーディネータ：吉川 榮和

吉川 それでは始めにエネルギー科学研究科に所属しておられます、本日のパネリストの先生方を紹介いたします。まず、今年の5月までエネルギー科学研究科の初代科長でいらっしゃいました新宮秀夫先生です。続きまして今回のエネルギー社会システム計画関西電力寄附講座の客員教授として4月から着任されました宮沢龍雄先生でございます。それから、エネルギー科学研究科のエネルギー応用科学専攻の方からパネリストに参加していただきました西山孝先生であります。続きまして、エネルギー科学研究科エネルギー社会環境科学専攻の坂志郎先生です。最後に、エネルギー社会環境科学専攻の教授でもいらっしゃいますが、協力講座ということで本籍はエネルギー理工学研究所の教授でもいらっしゃいます、牧野圭祐先生です。

さて、21世紀への転換の年であります2000年というのは、もう目前であります。20世紀の社会は科学技術の急速な進展により、産業経済社会という形で発展してきたものです。最近、地球環境問題、社会の皆の意識変化、あるいはグローバル化といった、環境的なもろもろの変化で、既存の社会的構造の秩序がいろんな面で崩れ、ボールドレス化していき、そこに摩擦が発生して、新しい摩擦から新しい方向に展開しようとしてきました。このような2000年を前にしまして、いろいろな新しい対応が芽生えて来て、その中で全体としての方向は共生へ環境作りということで、(図1)に示すように21世紀に向けて新しい社会へのパラダイムのシフトが進んでいるように見えるわけであります。

このような社会の21世紀に向けてのパラダイムシフトで、明日のエネルギー社会環境についてどのように構想するかにつきまして、パネリストの先生方に(図2)に示すような観点でお話をいただくことになっています。まず、これからのエネルギー社会環境のシナリオの導出、地域研究、双方向の協調コミュニケーションのあり方などを、教育・研究の課題としております寄附講座の宮沢先生のほうから、まず御抱負等をお話いただきます。その後、残りの先生方から、3つの観点よりそれぞれの日ごろの御研鑽、あるいは、専門の御領域での見識をもとに、いろいろな提言をいただこうということでもあります。一

つ目は人間の欲望の本質とその抑制のあり方という観点から新宮先生、それから将来の天然資源と生態学の影響といった観点から西山先生と坂先生、そして最後に生命体への多様な環境リスクといった観点での問題につきまして牧野先生のほうからお話いただく予定をしております。

**宮沢** 今、紹介いただきました寄附講座を担当することになりました宮沢でございます。時間が限られておりますので、寄附講座の背景、研究の概要、私どもの研究、教育研究の取り組みの抱負などをご紹介をさせていただきます。

まず、私が(図 3)にキーワードとしてまとめましたのは、21 世紀社会がどのように変わるか、あるいは社会システムが対応を迫られている事は何かということ、6 つの項目に集めてみたわけですが、もちろん私どもはエネルギー科学という視点、スタンスで考えておりますので、エネルギー科学に関連した 21 世紀の社会システムが対応が迫られるものは何かという、こういった視点でまとめたものでございます。

世界的な視点でまとめた物の次には、日本的な視点ということでは、やはり、同じようなことが(図 4)のように整理されるかと思えます。一つは、経済や生活の向上にはエネルギーというものがなくてはならない。エネルギーに対しての安定供給といったことは、供給をする人たちの社会的責任であり、みんなが考えていく問題であろうということです。そういったエネルギーに関連してやはり政治との関係、すなわち規制緩和等々によって、変化をしていくものだろうと思えます。環境問題というのは地球温暖化も大切ですが、廃棄物、あるいはリサイクルなどの問題が大きく取り上げられ、人の心も“ものの豊かさの追求から、心の豊かさ、あるいはアメニティーの追求”というようなところに変化をし、個人の自立が目立つようになるだろうと思えます。また、もう一つ高度情報化という非常にバラ色の夢は書いてはおりますけれども、日本の場合にはかなりインフラが遅れているのではないかと、インフラを世界的に、世界並みにということでこの辺の整備も急がれるであろうというふうに考えられますし、日本は人口増加の心配はないという代わりに、どんどん高齢化が進んでくるという社会的な課題は挙げたらきりが無いという程であろうと思えます。

この課題をエネルギーということを中心としてみますと、(図 5)のように電力中央研究所でまとめています。エネルギー経済発展を行っていく上には、環境あるいは資源との共生が大切であるということです。逆に課題としてはエネルギー経済発展を行う時の資源問題それから環境問題を解決するというトリレンマの問題が我々の大きな課題になるように思えます。

このトリレンマの問題を解くことが、我々次世代の 21 世紀の社会システムの大きな目的ですが、必ずしも簡単に答えが出るわけではありません。それは(図 6)のように社会がシステム化し、社会システムの目的と、社会の構成員個々の目的とは、必ずしも合致

しないということにあります。20 世紀の高度経済成長の時代には、経済は社会システムとしては高度成長、個々人の目的としては物の豊かさの追求、という比較的似通った目的があったわけです。しかし、先ほどのトリレンマ解決ということになりますと、社会システムの目的はエネルギーの安定供給や、環境保全の問題であるのに対し、個々人は自立あるいは個の尊重あるいは制度やシステムの変化に対する保守性という、必ずしも一致しないところが出てくるわけです。

この問題を解決するためには、社会がどう変わってきたかという、(図 7)のように社会システムのパラダイムがどのようにシフトをしているかということを確認する必要があります。従来といっても戦後から 1970 年代の始めにかけてですが、この頃の社会というのは対立の構図が見えていたわけです。企業と労働組合、大学紛争、あるいは成田空港問題など、こういった対立の構造から、70 年の後半から最近にかけては、対話が主流になり、以前ほどの厳しい対立もなくなり、いろんな事を話し合って解決していこうという基調になっております。さらに 21 世紀には、交流や調整といった方向に変化してゆき、共生の社会がやってくるだろうと考えております。「共生」というのはいろいろな定義がありますが、「種々の異質なものに『共存』を承認して、新しい結合関係の樹立を目指す社会」というふうに私は理解しております。

この共生社会に移行した場合に、具体的なしくみとして何か考えていかねばなりません。この移行に対するのしくみを(図 8)に示しますように、個人と社会システムの間で透明性のある情報交換が必要であると考えております。

この透明性のある情報交換というのが、私はエネルギーのトリレンマ克服のための具体的な例であると考えまして、この活動を(図 9)のように 3 つ挙げてみました。その第 1 は、エネルギーの需給に関係したモデルを検討し、このモデルを中心にした共生社会を創出し、社会に提示することです。第 2 点目は、エネルギーの消費に伴うグローバルな課題である資源枯渇や地球環境への影響を定量的なモデル化を行い、社会に提示してゆくこと。第 3 には、これらのモデルの提示とともに、多くの人と意見交換を行うことであると考えております。

これを今の考え方をベースにしまして、関西電力さんからの寄附講座では、このしくみに対応して(図 10)に掲げました 3 つの大きなテーマに対して取り組もうとしております。第 1 のテーマは「地域共生型エネルギー社会システムの総合計画法の理論的な枠組みを作っていこう」ということ、第 2 点目は「近畿地方を例にとり、電気エネルギーの需給のを中心にしたエネルギー社会システムのモデル構築」をしていこうということです。そして、第 3 は「情報ネットワーク技術による、ソーシャルコミュニケーション手法の創出」を研究することにあります。

実際のアプローチとしては(図 11)に示しますように、具体的には動向の調査活動からシナリオを作り、定量計画法等でシステム計画法の研究を行い、あわせて情報交換手法の研究を行うことによって、先ほど挙げました研究の目的を達成できるだろうと考えて

おります。

次に今日現在までに芽の出始めております具体的な研究テーマについて（図 12）で簡単に紹介させていただきます。まず、「投入・産出表を用いたエネルギー消費・環境・資源問題を定量的に評価する方法の研究」、2 番目に、「電力の需給を中心にしたネットワークモデルの構築の研究」、3 番目に「エネルギー技術の社会受容性に関するモデル化の研究」、そして最後に、「ソーシャルコミュニケーション手法の創出に関する研究」であります。

最初の「投入・産出表を用いましたエネルギー消費・環境・資源問題の評価研究」の一つのモデルを（図 13）に示しますが、この左側から資源・環境の状態がバランスをしている、アンバランスの状況に陥っている、ここからスタートをいたしまして、人間の活動によって、これがさらに悪い方向に行くか、あるいは修復できるかといったモデルを考えまして、これを定量的な扱いをしようという試みであります。

この試みとしまして、（図 14）は投入・産出表に少し改良を加えたものですが、第 2 列目、第 5 列目に資源の修復、それから公害の防止、それから第 2 行目と、第 6 行目に資源の利用、公害の放出という項目を、通常の産業連関表に加えまして、そしてこの表を使うことによって、将来のエネルギーあるいはエネルギー需要に対しての環境、あるいは資源への影響をどう評価していこうということを現在進めております。

次の（図 15）はエネルギーのネットワークシステムに関する研究であります。ご存知のとおり、規制緩和により、今後は電力の自由化、売電の完全自由化、一部自由化などと、最近ささやかれております。また、小規模の燃料電池や太陽光発電、ゴミ発電といった小規模な分散電源の導入も今後は大いに期待されます。ということから、電力の供給に対するネットワークの検討は大変重要であることは明らかです。従来から考えてまいりました自律分散システムを、これを含むシステムとして、従来入れ子型という考え方を提示してはいたしましたが、非常にここで考えておりますのは、非常に小さな単位の町内規模の地区のネットワークから、それを一桁上回る程度の電力消費が行うような街区ネット、これは市単位と考えていただければいいかと思えます。さらにそれを街区や工場、大規模な発電所等々をくくった地域ネット、府県単位、それをさらに、現在の電力会社のカバーをしている範囲でくくった圏域ネットワーク、こういったもので階層化して考えたらどうであろうかというのがスタートです。

この中で（図 16）は従来ならば同じレベル、同じ階層であるいは一つ隣の階層だけでのいわゆるエネルギー、あるいは情報の交換で良かったわけですが、電力の自由化等々を考えますと、1 つ飛び越したり 2 つ飛び越したりというような、いろいろな連携を考えなければいけない。ということで、私どもはこのネットワークを構成するためのキーとして、シンビオネットワークという、シンビオというのは「共生」という名前ですが、共生ネットワークというようなことを入れまして、このネットワークを構築することによって、小規模電源と大規模電源の共生ということを考えていこうとしており、ま

だこれは概念検討の段階で議論が始まったばかりでございます。

この議論をするために対象とする(図 17)には、縦軸には生産、消費それからそれを対象とするネットワークのレベルを横軸に書いた物でございます。

(図 18)は最後の例ですが、技術の社会的な受容性については西川先生の方から、あるいは茅先生からも技術の社会受容性という事についてお話がありました。私どもも、特にこれは原子力等々の受容性という視点に立って、理解を高めるモデルをいろいろ考えてかなければいけないかと思えます。自然科学系あるいは人文、社会科学といった専門分野分けで考えてまいりましたものを、それを今この図に示しますように、縦型に層を少し階層を分けて考えていきます。一番上には「始めから大体技術屋の論理構成というのが分かっている話を聞けば分かる層」、それから「文字や映像情報を見れば大体理解ができる層」、それから下の段には、「ただ技術の内容や、プロセスの説明だけではこれは理解はできないけれども、結果として良いものはいいい、例えば私のような物理系の人間から見ますと、お薬が効くかどうかは分かりませんが、飲んでみて効けばこれは効果のあった良いものだ、といったふうな理解をするのと同じで、いわゆる結果として理解をして貰える層」、それからさらにもう一つの層としては、「そういった皆さんのオピニオンを受け入れて、それによって意見をき決めてく層」に分かれるのではないのでしょうか。こういったところにいろいろな情報を出していくわけで、その情報の出し方にもそれぞれの層にあった、階層にあった方法が必要であると考えております。

(図 19)は原子力技術の例でありますけれども、安全だとか安心だとかいう議論も片方では御座いますけれども、ひとつはこれを実際に原子力で使われている技術をもっと一般的なところで使って、例えば耐震技術のようなものがもっと身近に使われて、そして皆さんに理解をして貰ったら、「ああこういうふうになるから安心なんだな」という、そんなところに広がるのではないかなというようなことを考えて、現在のところ、この仕掛けのことも詰めをしているところで御座います。

以上、2,3の例を申し上げましたけれども、新しい講座のスタートとしてこういったことを始めております。私ども研究室一同、環境・資源と調和するエネルギー、社会システムの樹立を目指した研究開発に取り組む覚悟であることを、我々の抱負としたいと思っております。ありがとうございました。

**吉川** それでは、ここから3つの視点からの提言ということになるわけですが、まず始めに新宮先生の方から「人間の欲望の本質と抑制のあり方」について、いつもの幸福論的な観点からの鋭い指摘をお願いしたいと思います。

**新宮** 司会の吉川先生からいつものと言われてしまいました。幸福についてという話題ですけれども、今宮沢先生がおっしゃいました社会科学や人文科学を取り入れた物事の考え方をしていくべきである、ということは我々かねてより思っているわけです。ところが、

社会科学、人文科学の方を見て参考になるような分かりやすい説明がいろいろにありますので、仕方無しにそこへ身を投じて徹底的に考えてみましょうというわけです。西川先生から非常にサジェスティブなお話をいただきまして、この中で西川先生は豊かさを目的にするというお話でした。もちろんこれはその通りで、我々は豊かさやゆとりを目的にするわけですが、はたして豊かにれば我々は幸せなのかということを考えていきたいと思えます。

目的を達成し、幸せ、ゆとりがあるということが本当に幸せか。西川先生のお話の中でバクテリアや寄生虫を全部やっつけてしまったら、アレルギーが出てきて困ったという話がありましたが、つまりバクテリアとかいうのは我々にとって困ったものです。困ったものを全部やっつけたら我々が幸せになるかということ、その後、逆のエフェクトが出て来るということです。それをさらにひねくれて考えてみますと、我々に対して困ったもの、例えば貧困や不安、つまり豊かさやゆとりと逆のものを取り去ってしまったら、果たして我々は幸せなのかということです。バクテリア、寄生虫に類するような困ったものは、モノとして実際存在するものですが、抽象的な貧しさや苦しみ、悲しみとかをとってしまったら我々は幸せなのか。よくよく考えてみると、どうもそれは幸せでないような気もしないではない。では、一体幸せとは何かということ、なかなか難しい事のように思うわけです。

貧困や不安というのは、もちろん取り去りたい。豊かさを目的として一生懸命やるのですが、そのやるというところ、目的、つまり、その努力する目標があるからこそ、東海道を通って京都へ来るという目的があるからこそ、その行っているときが良いわけで、京都に来てみたら大しておもしろくないかもしれないわけです。人間の幸福感というのはそこにある、その目的を与えて、それに努力して、なにかできるというところにあるんだということです。

そうすると、社会自体が豊かである必要はなにもなく、努力してそれに向かえる様な社会があればよい。その向かえる社会は、常に成功者がいて、あるいは決まった社会で我々が努力しても達成できないというような現状では、それはまずいということです。我々がチャレンジして失敗の可能性があります。ドキドキ不安がありながらもベンチャーをやって成功の確率があるということだと思えます。ベンチャーをチャレンジできる可能性を多くの若者あるいは新しい人たちに与えるような社会を作るためには成長するパイが大きくなっていったら、ベンチャーして成功する可能性はあるけれども、ベンチャーしてみんなが成功したら、パイが大きくなりすぎて全体が破綻するわけです。パイは大きくしない、ゼロ成長なんだけども、ベンチャーにも成功の可能性がある。こういう新しいパラダイムをどこで見つけてくるかということが幸福な社会のポイントだと私は思うのです。

では、パイは大きくならないのにみんなが食べられるという矛盾したことがどうしてできるかということですが、これはできなくても仕方がないわけです。どうしてやるかというと、すでにパイを持っている人、分け前を貰っている人を、そこからもう一回返させるというか、もう一回皆さんに提供させなくてはならないわけです。ところが、人間は利己

主義なものですから、一旦持ったものはとにかく自分の出すものは舌もださんというのが人間の本性だと思います。それをどうしてやるか、つまり、既得権をいかに解消するかということがなければゼロ成長の上で皆さんが成功することはない。既得権をやっつけるというのはどうするかということです。これは別の言葉で言いますと、佐和教授は経済研の所長であり、我々の研究科の教授でも同時にあるわけです。佐和先生が提案されたメタボリズム社会という言葉がありますが、メタボリズムというのは、我々の体のようにどんどん再生して死ぬということが前提であると私は勝手に解釈しているわけです。そのある年をとった人が死んで新しい人がでてくるという再生社会を考えます。そのためには、既得権を解消することです。その解消するのは、茅先生は社会の協力、人の善意であると最後におっしゃいましたが、私は茅先生のような性善でなくて性悪らしくて、茅先生がおられたらしかられますが、社会を引っ張っていくのはこの部屋におられるような性善な方ではなく、どこかで地上げをやっている様な悪い連中、性悪な連中が社会を引っ張っているのです。そういう性悪の連中が、性悪なエネルギーに乗っ取って活躍しつつ、しかもその環境あるいはメタボリズムな社会に貢献できるような力にそれを利用する方法はどうするかということを考えればよいのです。私の解決法というか、一つのアイデアなんですけど、税金を徹底的にうまく利用して、税金というものをツールにして逃れられないような制度を考えていくというのが一番良いと思います。その税金ですが、従来は政府の予算、国家を運営するお金を集める方法として認められています。税金というのはそうではなく、社会の協力。茅先生のおっしゃるような社会の協力というふうなものを強制的に行い、そのメタボリズム社会をうまく運営させるという見方を持って、いかに誰からどういう税金を取るかと言うことを徹底的に研究するのがこれから大事だろうと思います。

吉川 どうもありがとうございました。では、西山先生の方に。

西山 エネルギー応用化学の西山でございます。私専門としておりますのが、資源地質学、資源地球化学でございます。それと資源統計と重ね合わせまして少しお話しさせていただきます。エネルギーの消費量は 1950 年頃までは大変緩やかな成長をしてみましたが、1950 年から 72 年の間に大変急激な成長を致しました。それ以後一時停滞しておりますが、また最近エネルギーの消費量は増加してきたということになるわけです。これは必ずしもエネルギーだけの問題点ではなく、鉄やアルミニウム、銅、亜鉛なども似たような消費の動向を示しております。

このスケールが違いますので、どれくらいの類似性を持っているかということで、1970 年の生産量を 100 としてこれを重ねてみました。これが重ねた図ですが、このようになります。先ほど申しましたように 1950 年頃までは、資源、エネルギーの消費というものは大変緩やかな成長でしたが、50 年以後 72 年ぐらいいままでに大変急激な成長をして、最近ではエネルギーの成長が激しい。そして、それに続きまして銅の消費量が増えております。

それで、この辺のところに来まして、エネルギーと金属との間に少し差ができてきました。これに非常に興味を持ちまして、実は今日はこの段階で止めておこうと思ったのですが、先ほど茅先生が、経済発展とエネルギー資源の消費というものをお話になりましたので、私も改めて今急に、何枚か付け加えさせていただきます。

最近のエネルギーや資源の増加状況を知ろうとしますと、先ほど 1970 年を基準に致しましたけれども、オイルショックから安定しました 1983 年が良いということで、83 年を基準にしてみたものです。そうしますと、1950 年や 60 年頃までは金属もエネルギーも大体同じような消費の増加であります。それが 70 年頃までの間は、今度は金属の方が消費量が激しくなり、現在はそれがひっくり返り、エネルギーの方が消費量が激しい。こういう時代が来ているのではないかということになります。これは経済成長でいきますと、一番最初の部分が技術文明と直接つながるものであろうと考えまして、軽工業の時代それから中間の時代は重工業で、最後は情報の時代あるいはサービスの社会というものが、こういうものを引き落としているのではないかと考えております。

これが、アジアにはいろいろな段階の経済発展段階の国々があるので、それぞれの国を眺めてみればその姿が見えるはずだということでやりました。日本に致しますとこのような状態で、この辺が重工業の時代であって、そして最近では情報の力がエネルギーが非常に増えてきた、茅先生はこここのところをゼロ成長というふうにお話になったんだろうというふうになりました。けれども、日本の場合は先進国の中に入っているわけですが、それでは韓国はどうかということになると、韓国はこの辺にあり、現在の状態もやはり金属がエネルギーよりも消費量が激しいというような形になっています。さらにその発展の、経済状態のその下にあると考えられます中国やインドではどうなっているのかというのを見ますと、中国ではまだずっとこの辺で同じような状態ですが、つい最近になりまして金属が増え始めております。金属の消費量の方がエネルギーの消費量よりも激しい状態になっている。それに比べてインドは、現在のところやはり金属もエネルギーも大体同じような割合で消費が続いているということになるわけです。

その次にもう一つは、結局この間の時期に世界をリードしてまいりましたアメリカが一体どうなっているかというのが興味のポイントになります。それでいきますと鉄の減少や産業の減少だとかいろいろありますが、最近ではメタルよりもエネルギー消費量の増加の方が激しいというような傾向があるのではないかと考えられます。

世界全体の傾向としまして、こういう形でいくぶん軽工業から重工業、そして情報の時代、サービスの時代というふうに移る。こういう技術文明の動きというものが、こういう差を作ったというふうを考えておりまして、茅先生のお話と同じになるのではないかと思います。なぜこんなに増えるようになったかということですが、人口の増加と産業の発展、科学技術の発展ということになると思います。その 3 つが要因であります。それならば、これからどうなるかというのを考えてみなければならぬと思います。これからにつきましては、結論から申しますとどうも人口の



増加というのはそれほど大きく効いてくるとは思われない。むしろ発展途上国の文明の生活技術の発展が大きく効いてくであろうと結論づけられます。例えば、日本の例で 1958 年から 73 年の 15 年間に人口が 1700 万ぐらい増え、エネルギーも 20 億ぐらい増えました。今から 15 年ぐらいを考えてみますと、人口は 200 万ぐらいしか増えません。しかしエネルギーの消費量というものは 15 億、このときの 4 分の 3 ぐらいである。そうしますとこれは、人口による影響は今後比較的少ないであろうと考えられます。それに比べまして中国やインドなど、すでに大変人口の多い国々が現在二桁の経済成長をしていますので、この国々が日本やアメリカと同じような生活をするとしますと、直接つながりはしませんが大変なエネルギーの消費量になるというのは明らかです。これは一番大きいであろうというふうに予測いたします。

それから、この膨大になったエネルギーをいったい何でまかなっているかということですが、これはよくご存じの通り、石炭が 29% でオイルが 39%、天然ガスが 22%、これだけあわせると 90% になります。あと、水力と原子力がありますが、あわせて 10% こそここで、地熱あるいは太陽熱、太陽光発電といろいろありますが、それらはこういう統計にはでてこないということになります。これが私の興味のある問題ですが、どれぐらいの耐用年数、静態的な耐用年数をどれぐらい持っているかということです。よく言われることで、オイルが 46 年で、天然ガス 57 年まあ 50 年そこそこ、少ないのはベースメタルの銅、鉛、亜鉛で 30 年そこそこ、まあ 20 年から 30 年ぐらい、多くあるのが石炭とアルミニウムであります。それで、このようなことは、今のは静態的耐用年数ですから、少し動態的耐用年数で、先ほどのカーブから非常に激しかったときのカーブの成長率の場合と大変低い成長率の場合と両方計算してみますと、だいたいこういうグラフになりました。だいたい石油というのは 2010 年ぐらいから 2026 年ぐらい、それから天然ガスだったら 2020 年から 31 年、このへんぐらいで現在持っている埋蔵量というものは使い尽くしてしまうということになります。それでもまだ、これからどんどん発見されますから、耐用年数は 40 年から 30 年変化しておりませんが、これからも発見されるだろうということになるわけですが、実は、この地殻の中に入っている石油の量は、これは地質屋さんが何回も何回も計算して出した値であります。1940 年ぐらいはだいたいこれぐらいの量でありましたが、この辺の頃には中東の大油田やアラブの油田が発見されます。かなり見通しが明るかったのですが、この辺から単採領域も非常に狭くなってまいります。ですから、今の状態で、現在の資源技術で現在の価格で掘れる量というのは、ほぼ 2 兆バレルであろうという値に落ちています。そうしますと現在まで発見したものを除きまして、今後発見できるのは 730 億 toe です、石油換算で 750 億トン程度になるのではないかということになります。

いずれにしても、化石エネルギーは枯渇を迎えるわけですから、その枯渇の姿を見ますと、だいたいこういうグラフが描くことができます。こういうふうなグラフでだんだん無くなっていくということで、今石油が 46 年あるというのは、全部足して 46 年ですので、それより手前で探してもなかなか見つからないという段階がきまして、徐々に枯渇し

ていくということになると思います。先ほど持続的可能な社会というものを作っていくとすれば、本当に変わるような新しいエネルギーがスムーズに供給されるようにしなければならない。これが今大変問題になっております。先ほどからのグラフにありますように、今非常にわずかですので、これが社会に非常に適応してくるためには、まだまだ研究がいるわけですが、これよりもっと前に研究がなされなければならない。そのへんが、今の状態であろうということになります。ですから、石油が 46 年、まだ少しは発見できるでしょうが、46 年ということになりますと、それよりもっと早い段階でここに不足する段階がくるとということになります。幸い私たちは必要とする量だけは今まで発見してきたというのが今までの状態です。今まで、数々起こりました資源問題というのがありますけども、資源が本当になくなって起こったという問題ではなく、経済的、社会的、政治的理由から流通が途絶えたり、滞ったりしたために起こった問題です。ですが、ここで問題にしようというのは、初めて起こります資源の枯渇という問題ですので、これまた改めて人類の経験、今まで経験のない事柄だと受け止める必要があると思っております。

**吉川** どうも有り難うございました。先生のお話は、エネルギー資源と金属資源という、国の経済発展の波動的な進み方の資本にもなるということから、さらに今後の地下資源はすぐに枯渇するという予測をデータで示していただいたものです。それでは、新しい資源としましては何かということになるわけでありますが、坂先生の方からお話をいただきます。

**坂** 今、西山先生の方で地下資源についてお話がございましたので、私は地上の陸地の資源について話をさせていただきます。(図1)は、過去 100 年ぐらいの間に人類によりまず地球環境の破壊をまとめたものですが、先進国と開発途上国に分けて記しております。高度の経済活動の結果と申しますか、その原動力となった化石資源の消費、森林資源の消費、それから途上国におきましては爆発的な人口増大、その結果焼畑耕作と薪炭材の伐採というもので、特にご存じのように熱帯林の減少というのがあります。こういったものが相互に関連して、地球の温暖化というものを誘導しているということですが、この地球の温暖化について過去のデータ(図2)を見てみますと、この 150 年ぐらいで相当炭酸ガスの濃度が上昇しております。こないだの COP3 の時点で最新の情報ですが、この濃度が 360ppm を越えているというデータを見ました。非常に憂うべき状況になっているのです。この結果になるのかどうか分かりませんが、地上での平均気温の変化ということで(図3)これは氷期と氷期の間の一変動にすぎないという見方もあるのですが、炭酸ガスの濃度が上昇しているということと、炭酸ガスそのものが温暖化効果があるということで、温暖化で温度が上昇していると考えるのが妥当であろうと思います。

こういう変化が生態系にどういう影響を及ぼしているかということ、例えば蝶を指標にしてご紹介したいと思います。南方系のナガサキアゲハと言われる蝶の幼虫ですが、柑

橘類を食するという事です。ミカンの葉にナガサキアゲハが来るわけですが、このナガサキアゲハが、過去 50 年ぐらいで、その分布をどんどん北に拡大しているというデータがあります(図4)。1945 年ぐらいには四国、九州地域にしかいなかったものがどんどん北上して行って、現在ではこの宇治の地区で 1990 年に入ってから成虫、幼虫が発見されています。私も 1993 年に琵琶湖の湖西の地域でナガサキアゲハの雌が飛んでいるのを目撃しています。ということで、生態系がどんどん北に移動している。北方系の蝶、あるいは生態を構成している昆虫の南限がどんどん北に行っている。あるいは高山での高山植物がどんどん上に上がって行って行き場を失っているという現象が当然起こってくるわけです。ただ単にこういう分布だけを拡大あるいは縮小しているので済むのかということですが、実際にはこういうナガサキアゲハが示しています。ナガサキアゲハというのは、インドネシアのナガサキアゲハですが、これは非常にはっか型で特にこうしの斑点が非常に大きい。ところがここにありますが、私が採取あるいは飼育したもので、ここにこうしの斑点が 2、3 あるいは 4 あるいは 5、6 と。前肢のこの白い部分が、白いものから黒くなっているものがあると。特にこういった変異は、温度による影響が非常に大きいということで、温暖化で平均の温度はどんどん上がっているのですが、朝晩の冷えや環境の違い等が相当蝶に負荷がかかっているのではないかと。特に黒い黒化原種というのは例えばエネルギーをより吸収しやすくなるということで、こういうふうな変異が起こっているのだと考えるわけです。

そういうことで地球の温暖化が生態系に及ぶ効果というのは計り知れないということですが。そういう生態系も含めてエネルギー、環境、バイオマスの 3 つのものを我々はトリレンマとっております。バイオマスを中心にこれまでは化石燃料、西山先生の方から 46 年ぐらいで石油が枯渇するという話がありましたが、こういうものを実際使わなくとも、うまくバイオマスを有効に利用するシステムが確立できれば、化石資源に頼る必要はないと。循環系の中でうまくバイオマスを使っていけばそういう地球の温暖化も引き起こすことはないということで、バイオマスに託す私どもの夢というか、研究に対する夢をちょっと語らせていただきたいと思えます。バイオマスというのは renewable、再生産可能である。先ほど sustainable という言葉がたびたび出ていますが、ここではそれ以上の意味はなく、持続可能である。うまく使ってやれば半永久的にバイオマスというのが地球上に存在する。それから、もう一つ非常に大きな利点は生分解されるということで、環境にやさしい、Environmentally Friendly であるということがいえるわけです。こういうバイオマスが地球上にどれぐらい存在するかということですが、化石資源と比較して、炭素換算で、炭素換算量にして大体 8000 億トンぐらいのバイオマスが地球上に存在していると言われております。毎年その 10 分の 1 の 800 億トン、これぐらいが光合成によって炭酸ガスと水から有機物に換えられている。一方で、石油・石炭・天然ガスのこの確認埋蔵量がこのバイオマスに相当するような 8000 億トンという事で、まあ 10 年かかれば、10 年で 8000 億トンぐらいのバイオマスを、つまり、石油・石炭・天然ガスに相当するものを地球上で再生産できる

ということです。一方でこの世界の年間エネルギー消費量というのは、炭素換算しまして大体 100 億トンですので、毎年これぐらい作られるものをうまく使っていけば、このエネルギー消費量の何分の 1 をバイオマスから転換していくことが可能であるというわけです。

そのバイオマスを現在地球上でエネルギー源として、エネルギーの観点から、循環型の資源としてどういうふうに利用されているかという一例がここにあります。ブラジルのガソリンの価格表です。よく見ていただきますと日本と若干異なったところがあります。それは、Alcool と書かれているこの部分です。日本では Alcool というのは無く、ディーゼルでありガソリンであるということになります。この Alcool というのはブラジルではサトウキビです。サトウキビの糖蜜からブドウ糖を得ましてそれをアルコール発酵してエタノールに持っていき、エタノールを燃料として使うという試みがなされています。従いましてこの Alcool というものを使う限りにおいては炭素循環系の炭酸ガス濃度を増やすことなく、炭素バランスを保った形でエネルギーが得られるというわけです。それからこのガソリンですが日本のガソリンと違って、20%がこの Alcool を含んでいるということで、同量のガソリンを使ってもブラジルではその 8 割が炭酸ガスになる。日本ですと 100%が炭酸ガスになるということで、そういう意味でも環境に優しい燃料であるといえるわけです。ブラジルではサトウキビですが、アメリカの場合にはトウモロコシから同じようにデンプン、デンプンからグルコースを得てアルコール発酵からエタノールを得るということで、そういうアルコールをガソリンに混ぜて使われております。

それでは日本ではどうかということですが、日本でもある試みがありました。これは京都の試みですが、京都では、朝 9 時から 10 時ぐらいになりますと、バイオディーゼルの燃料車やゴミ収集車が走っております。ここに緑で書かれている文ですが「このゴミ収集車は、廃食用油を再資源化したクリーンなディーゼル燃料を使用しています」と。京都市内のレストランで使われている食用油、廃棄する食用油を再資源化してそれをディーゼルのゴミ収集車に使っているということです。どういう形になっているかといいますと、植物油をうまく使っているということです。これはもうすでに廃棄されるものですが、こういう植物油というのはトリグリセライド、脂肪酸のエステルです。こういうものをメタノール使って処理しますとメチルエステル化物になる。それとこの主鎖のグリセリンに分かれるということで、非常に粘度が高いのですがこれを 3 つの分子に分けることによって低粘度化する、また燐火点も下がるということで、これをまとめて燃料に使うという試みが京都市内で行われております。これも燃料として、廃棄されるものを燃料としてということに加えて、その燃料の元になってるものが循環系のものでから炭酸ガス濃度を増加させないというメリットがあるわけです。今回のそのバイオ燃料と、石油からの軽油と比較しましてその遜色無い性状が得られています。それどころか SO<sub>x</sub> についてはほとんど SO<sub>x</sub> を出さないということ、ただホルムアルデヒドが若干あるということでこれを除去するような工夫等が必要だということですが、ポテンシャルとしてはこういう循環系の中のもの

としてエネルギーとして利用できるということがいえるわけです。

まあエネルギーとしてはこういうことがあるんですが、我々は次世代に当たって、例えば化石資源が無くなったときには、元々食料になるようなものを資源にしています。グルコースやデンプンです。ですから 21 世紀に向けて食糧問題がクローズアップしてくる。そういう中で、デンプンのようなものを使うのはあまりよくない。むしろバイオマスの大半を占めるセルロース、相当量のものが廃棄されていますが。そういうものを有効に利用することによって、エネルギー源に変換していくことが一つ可能であるということで、セルロースが示されてるわけですが、セルロースをグルコースにまで加水分解してやると。今までこのグルコースを得るのに、デンプンや廃糖蜜を使ったわけですが、そういう食糧問題と競合するようなものでなくセルロースから得る。このセルロースを発酵してエタノールにもってっていく。これを脱水するとエチレンになります。あるいは酸化または脱水するとアセトアルデヒドに変換できるわけです。後はポリエチレン、ポリスチレンそれからポリビニルクロライド、ポリビニルアセテート。グルコースからポリヒドロキシメチルフルフラールに持っていきますと、ナイロンであるポリアミドとかポリエステル、ポリカーボネート、ポリエキボシといったものが得ることができます。これらのものはエネルギー的な観点からでなく、科学的な見地からも、今まで私どもが使ってる衣服等はほとんどが石油起源のものです。石油が無くなったときにでも、こういうバイオマス資源からこういう変換できるものをするための、必要なサイエンスでありテクノロジーというものを今のうちに構築しておく必要があるわけです。それともう一つは先ほどいいました Biodegradability ということで、まあセルロースそのものが生分解性があるということで、石油資源から得られないようなそういう新たな特性を備えたものを開発していく。そのためのサイエンスまたはテクノロジーが必要ではないかと考えるわけです。

今までお話しした事をまとめますと、太陽エネルギーによって炭酸ガスと水からこういう有機物ができているということです。木材製品や家具、紙等に利用されてるわけですが、ここで未利用のバイオマス、廃材がある。これをうまく有効利用して、さらにもう一度バイオマスエネルギーを衣用ケミカルとして利用し、この循環系に戻していく。できるかぎりこういう化石資源を使わないでいけるような社会システムを作っていくのが次世代に課せられた我々の使命ではないかと思えます。我々ホモサピエンス、生物のホモサピエンスでしかないということで、生態系とうまくつきあっていくことが、次世代の未来社会を構築する、あるいは低負荷型のエネルギー利用システムを構築する上で必要なのではないかと考えております。バイオマスがそういう形で利用されるための基礎的な研究をさらに進めていきたいと思っております。

**吉川** どうも有り難うございました。それでは最後に牧野先生の方から最近の化学物質がいろいろと汚染をしているという観点の話、生命体の多様な環境リスクというご指摘をいただきたいと思えます。

**牧野** こちらの方に参りまして 1 年ちょっとですが、本当はエネルギーを作る方、先ほどから枯渇するというお話がありました。そちらの方の仕事をやりかけているのですが、今日は別の観点から環境ホルモンについてお話をしたいと思います。昨年、武漢の方に行った時に、雲南省の方から、たくさんランタノイドを含んだ土が出て、その土を中国では今肥料として蒔いているという話を聞きました。植物の成長が早くなったりするわけですが、調べている方に聞いてみますと、その植物の持っている、例えばアミラーゼ活性などが非常に大きく変化しているということです。もう少し分子レベルで調べた人の話を聞いてみますと、遺伝子を相当切るらしいということです。これを調べているのは、中国では 3 グループぐらいしかないそうです。一体何が起きるのだろうと非常に興味もありますし、何となく大丈夫かなという感覚を持ったわけです。

そういうお話が、最近毎日のように聞こえてくる訳ですが、それにつきまして 97 年にシアコルボーンが「アーストロンフューチャー」という本を出しまして、日本では環境ホルモンという名前と呼ばれていますが、本当は環境ホルモンというのは "Endocrine Disruptor" という名前です。環境ホルモンというのはいづいぶんうまい名前を付けたと思いますが、とても気持ちの悪い名前で、どうしてかというのをまず説明してみたいと思います。どちらかという環境エストロゲンの方が随分前に使われた言葉らしいのですが、こちらの方が少しは当たっているような気がします。とにかく大変な名前だなと思います。というのは、現在私たちの体のシグナリングの pass way というのは、まだまだわかっていない生化学の最も複雑な領域になるわけです。そしてホルモンというのはいくつに分かれますが、その中に実際に私たちの体の中でサイトカインという非常に機能性の高いタンパク質がでてきますが、これホルモンとはいわれていなかったわけですが、これがシグナルの pass way に絡んでるといふ事ははっきりしており、ホルモンとのサイトカインの境目も無くなってきているわけで、非常に複雑な系を呈しているわけです。よくわかっていないというのが現状だと認識していただきたいというわけであります。

サイトカインというのは、皆さんがご存じのものとしては、イナターフェロンがある訳ですけども、現在は非常に複雑な系を呈してきているということをご承知いただきたいと思います。Endocrine という名前はどこから来ているかというと、図で示しておりますが実際に私たちの体の中の伝達系というのは 3 種類ぐらいに分けていいのでしょうか。Endocrine というのは情報物質に定義することのできる物質ですが、これが細胞に生産できまして、規定系といえますか私たちの体の中で動き始めますと、遠いところにある細胞の Receptor に到達いたしまして、これが 1995 年か 96 年のノーベル賞だと思えますがこの G proteins というのをアクティベートして、その G proteins が実際、 $GDP \rightarrow GTP$  というふうになっていますが、この GDP、GTP 交換というプロセスを経ましてここを切断しまして、活性化することによって adenylylate cyclase という酵素を活性化して、アデノシントリフォシターゼというこれ私たちの体の中に皆持っているわけですが、グルコース代謝のエネルギー蓄

積物質ですが、これを cyclic AMP という第 2 メッセンジャーに作り替えるという、Protein kinase は西塚先生という神戸の先生が見つけた酵素ですが、これがリン酸化を受けた後ぐるぐると回って、そうして何かが起こるといふ仕組みになってるわけです。こういうものの多様性がたくさんありまして、この辺のプロセスがたくさんありますので、実際に Endocrine の Signaling というのは非常に複雑さを極めるということです。

他にどういふふうなシグナリングがあるかといいますと、パラクラインといいまして近接する細胞間の伝達、オートクラインといいまして細胞が自分に命令するためにシグナルを出すという 3 つだと思います。現在問題になっておりますのは、この非常に複雑な pass way に絡む環境中の化合物の効果であると言えるかと思ひます。それでは、どういふものがホルモンであるかということですが、環境ホルモンはいいとしましてホルモンというのは私たちが 3 種類作っていると考へていいと思ひます。1 つはペプチド系です。あるいはアミン系というのもありますがペプチド系のホルモンです。短いペプチドです。それからステロイド系、ジフェニルエーテル系の 3 種類のホルモンがあります。では、どういふものがあるか見てみますと、ステロイドホルモンの場合こういう骨格を持っておりまして、この女性ホルモンをエストロゲンと呼ぶわけで、環境中で大変問題になるいわゆるエストロゲン作用を及ぼすものの名前の由来です。それから、アンドロゲンというのが男性ホルモンです。

問題はこれらの類似性ですが、代表的なものとしては DES (ジエチルstilbestrol) と呼ばれる化合物で、30 年間にわたって妊娠中の女性が不安定な状態の時に使われたのですが、この人工の女性ホルモンいわゆるエストロゲンが、要するに SEX に関する体の異常を強く誘発したということを示すのに、30 年以上もかかったと。71 年に販売停止になっているわけですが、それほど長い時間かけて見つかった販売停止になった化合物。非常に有名です。これがエストロゲンです。このエストロゲンの効果というのは妊娠の非常に早い初期に多量に接種されると、例えばネズミでは毎日発情するという、すごいことが起きまして、卵巣が未発達のまま発情すると。とても不思議なことですが、その後卵巣ガンになるとか、ガンの方にまで関係してるといふことが見いだされた、非常に有名な薬です。

こういうものが、現在、新聞等々に載っておりますのは、ダイオキシンです。これはポリ塩化ビニールの燃焼等できるとか、ポリカーボネートの、これ CD-ROM などに使われているプラスチックですが、これに何かお湯をかけると、ビスフェノール A というものが、原料で物ができてきて、これがエストロゲン作用を示すとか。それからアルキルフェノールポリエトキシレートというのは界面活性剤なのですが、これが微生物の分解によってノニルフェノールになると、イギリスの川で魚の雄雌転換が起こったのはこれだといわれているのですが、実際はそうではなく最近の論文などをめくってみますしても、もっと強烈なエストロゲンである女性ホルモンそのものの何種類かが川の中から検出されているわけです。言えることは、こういう化合物のエストロゲン作用というのは私たちの体の

中で出てくるホルモンに比べまして、非常に高濃度が必要だと言うことですね。変化を起こすには、大体マイクロモラーの高濃度が必要だというのが定説だと思います。私たちの体の中の効果に比べまして、大体 1 万倍ぐらいの濃度がいると考えていいと思います。そこに非常に難しい面がありまして、先ほど言いました DES の場合に 30 数年かかって最終的に販売停止になったわけですが、このような化合物は DES よりももっと効果が薄いわけですから、非常に難しい問題として今提示されていると思います。要するにリスクファクターの決定ができないというのが現状だろうと思います。

環境ホルモンの作用方式や環境ホルモンとの関係が疑われている人の健康影響についてたくさん言われている訳なんです。大体こういうのは、動物の状況から見て本当ではないかなとも言われているわけです。だけど、先ほど示しました化合物が実際にこれを引き起こしているという因果関係についてはまだ分かっていないということです。図のとおり、ものすごいことばかり書いてあるわけです。要するに私たちの生殖活動にもの凄く関与するような効果が引き起こされるわけです。エネルギーが無くなると私たちは大変困るのですが、これが本当に起きると困るというよりも、人間の数といいますか、私たちの存続の可能性が非常に低くなると考えられるようなものばかりです。顕著な例を一つ言いますと、大体最近の疫学的な調査の結果言われているのは、20 代、ここにもおられますが、彼らの精子の数は私たちの半分しかないということです。疫学的に非常に由々しき問題だと報告されています。

こういう問題があるわけですが、非常に難しい研究が私たちに強いられているわけですし、どうしてかと申しますと、例えば、私たちも何かしてるというのをちょっとお見せしようと思って持ってきたのですが(図5)、私たちは今度パラクラインのシグナリングに関して、大事な役割を持っています一酸化窒素について随分詳しい研究をしてきたつもりですが、一酸化窒素の場合には先ほどの Endocrine と比べましてわりと簡単な pass way を持っております。例えばこの Guanylate cyclase という酵素は細胞膜にいますがこれに一酸化窒素が結合しますと Catalytic subunit がアクティベートされ、今度は ATP の代わりに GTP をサイクリック化して、これを 2nd Messenger として Protein kinase とやはりリン酸化し、カスケードの後、Myosin の筋肉タンパク、Myosin のリン酸を切断することによって、平滑筋が弛緩するというわけです。平滑筋が弛緩するというのは血管が広がるということです。この血管というのは、この内皮細胞、1、モノレイヤーですがその後ろ側に平滑筋というのがあって、血管を収縮したり広げたりするわけなんですけど、これを広げると。それどうしてかという、先ほど言った一酸化窒素は、この上皮細胞が作る。そして、内皮細胞が平滑筋細胞に渡すと、これによって私たちの弛緩が起きると言われているわけです。

しかし、このパラクラインに比べてですね誘発物質一つだけしかないのに、実際に Guanylate cyclase の全貌についてもあまりまだ分かっていないし、この辺についても分かっていないと、そういうふうな難しさがあるわけです。これに加えて、この一酸化窒素というのはある環境下におきましては、爆発的に私達の体が生産する場合があります。その



場合には例えば、遺伝子中のグアノシンをまずこのニトロと書いてありますがここは実際マイナスイオンでジアゾエートになっていて、周りのタンパク質のアミノ基と非常に強く反応する。そして、ひいてはこのギザノシンとって、これ見られたら分かりますがこのNが一つだけすばっとOに置き換わった、こういう化合物が出てきます。これも実際は、非常にここ活性化されたカルボン酸の形になっているわけで、これ猛烈に反応性を持っておりまして、周りのタンパク質のアミノ基と反応すると。こういうことによってガン化との関連というのがあるのではないかと。要するにこのようなシグナリングのプロセスに出てくる物は非常にわかりにくく、一体何が原因でどういう pass が動いて、何が起きたかというのが非常に特定しづらいということです。

私達の体の中の中です。タンパク質、サイトカイン、インターフェロンなどたくさんありますが、そういうタンパク質自体もそういうことをやってるわけで、結論から言うととても分かりにくい pass だということです。私達はこれから何をしなければいけないかということですが、まずエストロゲンに対して、エストロゲンを特定することが大事ですが、その前に吸収及び代謝経路の確定、体内における蓄積状況の確認、それから環境中での運搬経路、濃度影響の確定、それからインタクトの構造でのエストロゲン受容体との結合の強さ、活性促進の程度の確定をまずやって、その後もっと奥の深いところまで決定する必要があるということです。

先ほど言いましたように、DES の場合 30 年ぐらいかかっているわけですから、おそらく、この前のアメリカなんかのお話では、200X 年かまでにやってしまうんだと言っておりましたが、できるかなと言う実感を持っています。確かにアメリカの場合には、こういう環境から有害物質を除く為にバイオリメーションという方法、いわゆるバイオロジカルに除くという方法が盛んになってきているわけなんですけれども、実際一昨年にあったアメリカの国際会議で、7、800 件のバイオリメーションの発表が行われているのに、日本から出ているのは 4 件です。私達はかしん法という新しい化合物に対する非常に厳格な法律持っていて、五大湖の魚に比べて私達の琵琶湖の魚というのはうんときれいだということが言えると思いますし、五大湖の魚を絶対食べられないという人でも、琵琶湖の魚は食べると思うのですが、それはやはりかしん法という非常に立派な法律があるからだと思います。それでもおそらくその範疇から飛び出してる化合物というのは山ほどあるわけですから、何十年かかるか分かりませんが、この辺についてきちんとした仕事をやっていかなくてはならないのではないかと思います。結論はモレキュラーレベルできちんと特定したいと一応考えております。以上です。

吉川 どうも有り難うございました。このような研究、談話、後援会ということは今回だけということだけでなく、我々の研究科の方では、エネルギー社会環境科学専攻の方で今回の寄付講座の開設にあわせて、シンビオ、sym-biosis のことですが、シンビオ社会研究会ということで、この図に示すようにエネルギーと暮らし、生活、経済、文化、環境、今

日お話しいただいたような話全部入ったような物の関係につきまして、未来の社会のあり方をこれ大学の中だけで話しているというわけではなくて、地域の方、企業の方、学生さん、市民の有志の方こういう方、会員として自由に入ってきていただいて、共に考え共に学ぶというそういう広場を作るということにしております、本日来ていただいております西川緯一先生を会長にして活動する予定でございます。それで、ここでは広報、ホームページで、これから寄付講座を中心にして充実もされると思いますが広報と、それから出版、今回の開設記念の講演会の講演集という物も、また編集いたしまして後刻みなさま方にお届けするとかいろんな事を計画しておりますし、今回のようなシンポジウムセミナーというようなことも進めていきたいと考えております。また、特にエネルギー社会システム計画という研究を寄付講座の方でやられるわけですが、それに関係したような研究調査に関する討論といったことで、研究談話会といったことももうすでに6月24日に寄付講座の研究会ということもやっておりますが、今後も定期的にやっていく予定ですので、みなさまにご参加いただくということもご案内して、みなさまに続けていきたいということでございます。ということで、時間はだいぶオーバーしておりますので、これは今後も続くお話だということですので、終わらしていただきたいと思います。パネリストの先生方どうも長い間有り難うございました。