

## 第19回 環境サイエンスカフェ

テーマ エネルギー問題の誤解をとく (1) -ロジスティクスと将来像-  
 講師 小西 哲之さん (京都大学 エネルギー理工学研究所 教授)  
 日時 2013年1月29日 (水) 18:30~20:00  
 会場 サロン・ド・富山房 Folio  
 参加者 38名




ルギーシステムの分析と評価という仕事をやっておりまして、むしろ今日はそちらの方の話をさせていただきまます。多分、皆さんのご興味は、原発の話であると思いますので、それについて若干触れはしますが、私自身は正直言って、個人的には原発はやめてくれても続けてくれても構わないというニュートラルな立場をとっているつもりです。けれども、客観的に、専門家として言うところ、やっぱりこれしかありえないという部分があると思います。それについての話は後でしたいと思います。この辺につきましては、皆さんの忌憚のないご意見をいただきたいと思ひます (図2)。

京都大学の小西です。今日はどうも、おいでいただきましてありがとうございます。私はエネルギー問題について、いろいろところで話をします。主な商売は大学院で教えているんですけども、正直言って、皆さんほど意識が高くないので、もっとずっとつまらなそうにしているやつをいかに寝かせないか、だけが勝負という話をしています。今日は違うと思いますので、疑問やわからなかったところがありましたら、どんどんご遠慮なくご質問ください。全然関係なかったら、容赦なくお断りしますので、その辺は大丈夫です。

私は基本的には、原子力に関係しているところの出身ではございますけれども、いろいろなエネ

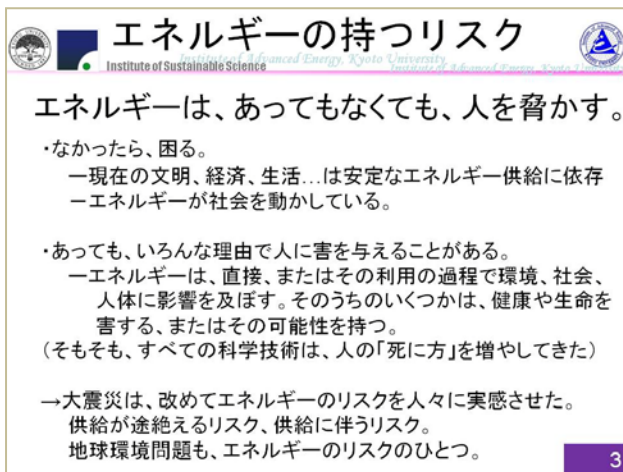
### はじめに

Zero-carbon energy Kyoto



- 東日本大震災により、わが国ではエネルギーとその環境と社会に対するリスクが認識された。
- 原子力停止により電力供給に不安が生じている。
  - 電力は足りるのか？
  - 再生可能エネルギーは使えるか？
- 脱原発？できるのか？やっていいのか？
- 世界のこれからのエネルギーはどうなっていくのか？

ももとの話、エネルギーって、みんなが心配なんです。足りるか足りないか。あるはあるで、エネルギーを使うために、あるいは使っているがために、持っているがためにさまざまなよくないことが起こる。地球温暖化であるとか原発事故であるとか。このように、実はエネルギーというのはいろいろなリスクを持っている、我々を脅かす存在なのです。本当にこれでいいのかという面がありますが、ないと困るのです。あっても困るのです。大体この辺で、皆さんの多くの疑問は集約されるんじゃないかと思います。



**エネルギーの持つリスク**  
Institute of Sustainable Science, Kyoto University

**エネルギーは、あってもなくても、人を脅かす。**

- ・なかったら、困る。  
一現在の文明、経済、生活...は安定なエネルギー供給に依存  
一エネルギーが社会を動かしている。
- ・あっても、いろんな理由で人に害を与えることがある。  
一エネルギーは、直接、またはその利用の過程で環境、社会、人体に影響を及ぼす。そのうちのいくつかは、健康や生命を害する、またはその可能性を持つ。  
(そもそも、すべての科学技術は、人の「死に方」を増やしてきた)
- 一大震災は、改めてエネルギーのリスクを人々に実感させた。  
供給が途絶えるリスク、供給に伴うリスク。  
地球環境問題も、エネルギーのリスクのひとつ。

3

そういうことで、エネルギーというのは、とりあえず、あってもなくても人は困るのです。困ると言うか心配するんです。なぜかと言うと、要は、われわれの文明、生活が全部、あるいは経済がこれに依存しているからです。今日、ここに来るのに地下鉄を使おうがバスを使おうが、たとえ歩いたって、僕らはご飯を食べなきゃ動けないので、要はエネルギーがなければ動けない。それが一方では、いろいろなかたちで、環境や社会、人体に悪さをしているのです。それについても、歯に衣着せぬに言えば、すべての科学技術というのは新しい発見、新しい発明を1個するたびに、人の死に方が1つ増えるということなんです(図3)。

もともと人間は、お猿さんの時代から人間になったので、例えば火を使うことを覚えたというのがエネルギーの使い方の始まりであって、かつ人類の始まりだとしたら、それ以前にわれわれは焼け死ななかつたのです。エネルギーとして火を使うようになってから、われわれは火事で死ぬということを知ってしまったのです。そこから、何百

万年飛ばします。

マイケル・ファラデーが電気を発見して、これは本当に、磁石をヒュッと動かすとメーターがピクッと動く、これだけの話なんですけど、これでまさか人が死ぬ、殺せるなんて誰も思ってなかったでしょう。もちろん電気を知らなかったから当然なんですけど、ファラデーだって思ったかどうか知りません。が、現実に電気を使われわれは便利に生活しているけど、おかげで感電して死ぬやつが出てきちゃったわけです。科学技術というのは、悪いけどこういうものなんです。

原子力の発見の課程では、いろいろなかたちで、放射線障害で亡くなられた方が大勢います。もちろんそういう病名はなかったから、実はキュリー夫人が放射線を相当浴びていて、そのせいで死んだことはほぼ間違いないんだけど、病名は放射性障害じゃないです。ちなみに、原子力を使ったために放射線で死んだ人の数は結構いますけど、驚くほど多くはないです。でも、この死に方、残念ながら亡くなってしまおう方っていうのは、間違いなく原子力の発見以前には、なかったと言っているのかな、と言えます。

人を幸せにするために、一番最近の例で言うとiPS細胞なんてものが見つかっています。これでノーベル賞をもらっているわけですけど、申し訳ないです。これでまた、新しい人の死に方が増えます。iPS細胞というのは人に移植すると、当然自分の体のようなふりをして増えるんで、欠損した部分も治してはくれるんですけど、一方ではこれのがんになる人が必ず出てきます。

こういうことで、すべての科学技術は当然人の生活を豊かにし、あるいは人類を幸せに導くためにあって、そういうものを選んでわれわれも使うんだけど、必ず、プラスの面もあればマイナスの面もある。エネルギーっていうのは、もともと、ちょっとした火を使うことから始めてしまった人類が歩み始めた文明の中で、やっぱり新しいものが出るたびに人を幸せにしつつ、人を殺してきた。この現実から目を背けることはできないです。

私は、このエネルギーをつくる側のほうの専門家として、皆さんに一つお願いしたいのは、専門家は、はっきり言ってバカな人たちで、専門バカですから、エネルギーをつくるのが商売だったらエネルギーを一生懸命つくります。使い方はまじ

めに考えません。これで人が死ぬかしらとか、正直言って、あんまりまじめに考えていません。ここでちゃんとコントロールしてブレーキをかけるのは、やっぱり皆さん方、一般市民、社会の人。その中でも、特にちゃんと勉強して知識のある人。いい加減なうその情報なんかには惑わされないで考えてくださる方が、実は重要なんです。だからこういうお話をして、皆さんのご意見を伺うようなチャンスを持つことは、私も大変ありがたいと思っています。

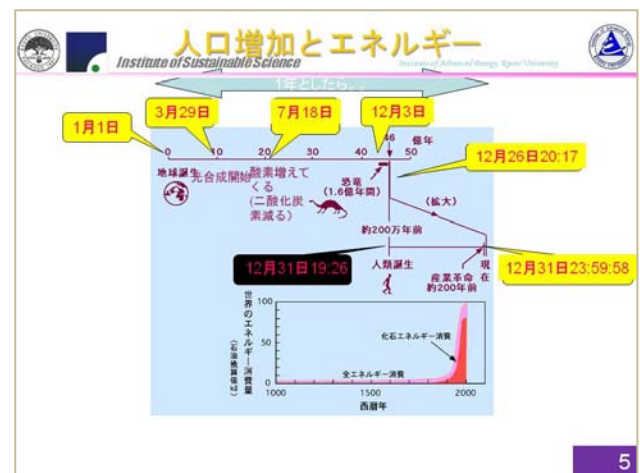
ではまず、エネルギーといえば、供給が途絶えるリスクの話をはらせていただきたいと思います。



ご承知の通り、世界の夜の地域をズラッとつなげると、こんな風に、なかなかきれいで印象的です(図4)。これはアメリカの、物理学会で載っているものなんですけど、人が住んでいるところは当然明るいです。でも、例えばうちにいる、韓国人の学生なんか言っているんですけど、ちょっと余談ながら、ここの半島ってちゃんとつながっているんです。こっち側は明るいんだけど、ここのところは人が住んでいたりしても真っ暗だったり。ここだって10億人とか居るんですよ。この辺もいっぱい居るんです。サハラの一帯ですけど真っ暗なんです。人がいるところと明るいところって必ずしも一致しないんです。

要するに、一部の人間だけがエネルギーを自由に使っているのです。これが続いて資源が足りるのか。発展途上国の人はこのまま豊かになれるのか。エネルギーを使っちゃって地球は破壊されないか。そういうところは思いますよね。一昔前から流行っている言葉で、サステイナブルというの

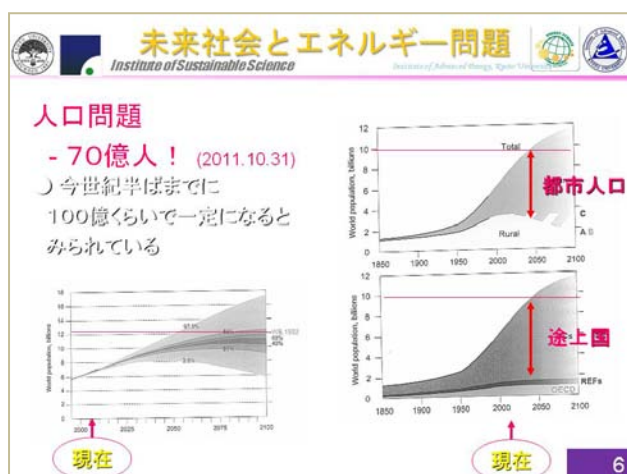
があります。持続可能である、少し長く続くという意味です。人類が100万年後まで続くかどうかはわかりませんが、文明が今まで数千年、1万年ぐらい続いてきました。とりあえず文明の続く限り、もうちょっと、同じぐらい続いてほしいと思うのであれば、少し長続きするような社会を考えなきゃいけない。そのためにはエネルギーのつくり方、使い方が大事だということになります。いろいろな表現の仕方がありますが、1年を今までの地球の歴史と見ると、エネルギーを使っているのは除夜の鐘どころじゃないです。本当に最後の2秒間です。(図5)



地球は46億年前にできましたが、まず1年の最初のころに、だんだん二酸化炭素が減って酸素が増えて、植物が出て光合成を始めました。大体この辺です。1年も、すでに4分の1が終わっています。そこから、実は延々と植物がエネルギーを、化石燃料、石炭、石油のかたちで蓄えてきてくれました。人類が出てきたのが、大みそかの、紅白が始まるかなぐらいですけど、そこからいきなりこの人類というのがいろいろな悪さをし始めます。200年前の産業革命、ここまでため込んだエネルギーを全部まとめて使っちゃおうっていうのは、ここからいきなりなんです。これでも足りないからと言って、原子力なんかつくっているわけです。これがまともかって言うと、まともかどうかという意味では、それは考え次第ですね。

で、そのエネルギーを使うのは当然人類に違いないわけです。国連の人口統計ですけど、去年、おとし、もう少し前か、70億人になりました。本当かどうかわかりませんが、大体100億プラスマイナス50パーセントぐらいで落ち着くだろう

とされています(図6)。確かなことは、その大部分が都市に住んで大部分が途上国にいるということです。東京、ニューヨーク、ロンドン、この辺は昔の大都市で、これからの大都市は皆さんよくご存じの、北京とか上海とかムンバイとかリオデジャネイロとかメキシコシティとか、東京よりもニューヨークよりもでっかい街がいっぱいあって、みんな途上国です。この人たちがエネルギーを使っているか?、実は少々怪しいんだけど、それもまともにお金を払って使っている人はさらに少ない。盗んだりしますから。



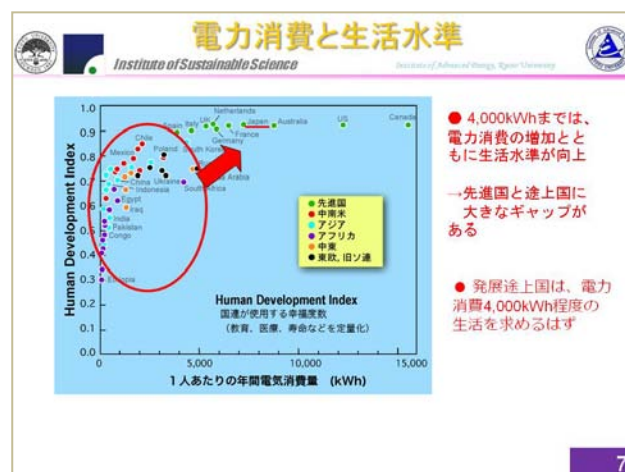
ついでに、国連っていうところはおせっかいなことに、人の幸せ指数っていうのを、ヒューマンディベロップメントインデックスっていうんですけど、教育とか生活程度とか、いろいろなものにゼロと1の間で点をつけているんです。電気の使い方について相関をとった人が居ます。わがジャパン国はこの辺にいるんですけど、横が、ここは5千、1万、1万5千キロワットアワー。キロワットアワーっていうのは電力を測るときによく使うエネルギーの一つの単位です。

これは私が授業のときに学生に聞くんですけど、「きみ、今月の電気代いくら払ったか知っている」って言うと答えられないんです。この中に主婦の方は何人かおられますかね。そういう意味で、主婦感覚って一番大事なんです。われわれというか、特におじさん方、偉い人は、いきなり何百万キロワットとか天下国家の話をするんだけど、自分が一体、きょう何キロワット使ったかとか、あんまり気になさらない方が多いんです。

クーラーを1個つけると、大体1キロワット前後。電子レンジを使っても大体1キロワットとか、

ちょっと大きめの電気を使うものはそんなものです。これを1時間つけっぱなしにして1キロワットアワーです。1年が7千時間ちょいありますから、1キロワットの電気の機械をつけっぱなしにして、1日の半分ぐらい使ったとして大体4千キロワット。実は、大体この辺にボーダーがあるっていうのがミソなんです。

ここからこちら側の人たちの生活レベルっていうので0.9以上、いわゆる先進国って言われるような人たちで、ここから下の人は4千キロワットアワー使えない。いきなり生活精度がドーンと落ちちゃうんです。というのは、実はこの左のほうに張り付いているアジア以下の多くの国の人たちには、「そもそも電気って何なの。見たこともない、触ったこともない、それって食えるのか。食えないならいねーよ」、そんなこと言うような人たちが20億人ぐらいいます。もう少しいるかもしれませんが、そういう国が増えています(図7)。

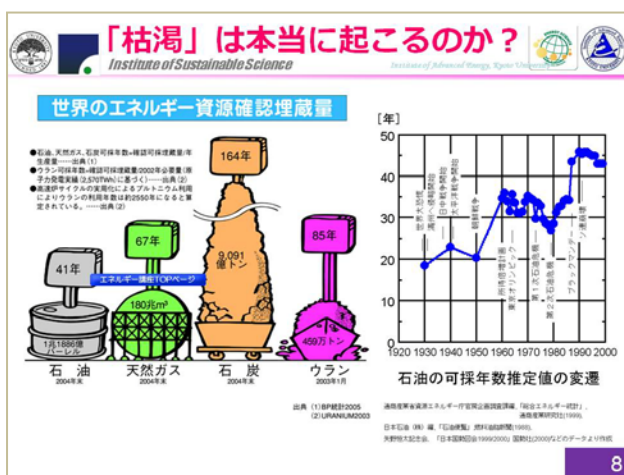


そういう意味では、電気はすでに贅沢品なんです。われわれは、「電気を節電しろ」って言われたら、「暑いから嫌だ」、「寒いから嫌だ」。まして停電なんかしたら、「電力会社何やってんだ」って怒りますけど、電気なんて、切れて当たり前っていうのがこの辺の人たちで、あってもなくても困らないっていうか、そもそも存在を知らなきゃ困りようがない人たちが、実は世界にもいっぱいいるのです。問題なのは、この人たちがこれから一気に電気を使い始めたら、幸せな生活、文明生活をしたいって言ったら、ということです。つまり、エネルギー問題というのは、正直こちらの人たちの話であって、こちらのジャパジャパ電気を使っちゃっている人たちの話ではないということなん

です。

これが、エネルギーの世界です。皆さんは観光で、アメリカ、ヨーロッパ、オーストラリア、いろいろなところ行かれると思いますが、まさか電気がないところにいらっしやらないですよ。実は僕もあんまり行ったことないんですけど。ということで、われわれが見ている世界というのは、実は世界の非常に特殊なごく一部分であって、エネルギー問題を本当に語りたかったら、これからエネルギーを大量に使う人たち、そういう国のことを見なきゃいけない。僕もそういう意味で言うと、データと文献といろいろなものでやっていて、自分の生の目を見たものはあんまり多くないんです。そういう意味では、内心忸怩たるものはあります。ただ、先進国と途上国では大きなギャップがあります。

で、この石油、石炭、天然ガス、要するに化石エネルギー、資源がなくなるのか。とにかく、エネルギーが枯渇するっていう話を聞かないことがないですよ。枯渇するって言われたから、僕らも予算要求をしてもらって一生懸命エネルギー技術をやったりしていますが、毎年のように、40年後には石油がなくなると言っています。昔は20年って言っていたんです。1930年に20年で石油なくなるって言っていたのが、50年になってもなくなっていないです。そしたら、30年後にはなくなるって言いました。で、また30年たったけど、なくなっていないですね。いつまでたっても石油ってなくなりたくないのです。



要するに、何の資源もそうなんですけど、絶対なくなりません。枯渇ってしません。まず、これだけ頭に入れておいてください。うそだって言う

人は今からかかってらっしゃい。いくらでもボコボコにしてあげますから。

理由はいっぱいあるんです。字で書くのも面倒くさいんですけど、大体、何十年でなくなりますって言うのは、今使っている量で今ある量。今あるってわかっている量を割り算するだけなんです。使う量っていうのは1年当たりいくら使うかで計算して、今ある量っていうのはわかっているから割り算すると、自動的に年という単位で答えの数字が出てきますね(図8)。

ところが、例えば、僕がうちへ帰ると、「いや、今日もいろいろな人の前で喋って疲れた。ビール飲みてー」って冷蔵庫を見たら缶ビールが2個しかない。僕は一晩で2本飲んじゃうから、「枯渇しちゃうじゃないか、どうしよう」。明日、僕はちゃんと酒屋に走ります。それだけのことなんです。つまり、資源ってそういうものですよね。足りなくなったら探しに行けばいい。何しろ埋まっているんですから。見つからないかもしれないですけど、とりあえず今見つかってないから探すんですけど、欲しくなかったら探さないですよ。逆のことを言えば、さっき僕は石油の枯渇年数40年って言いましたけど、今石油が見つかって、「わーい。うれしい」と言っても、へたしたらその石油は40年後まで売れないです。そんなことをやって、石油を見つけて儲かると思いますか？

昔、僕らはいろいろな映画で、油田が噴き出して、「これで大金持ちだ」って喜んでいるような話を見ましたが、実際、枯渇年数が40年もあるってことは、すごく探すには力が入らない状態なんです。これが5年とか7年だったら、もう少しみんなまじめに探します。見つかったら、とりあえずあるとわかったら、みんな、そんなに一所懸命は探さない。40年後まで生き残るぐらいの、そこそこ資金力に自信のあるところだったら探しますけど、そうじゃなければ後々困ります。


ということで、一生懸命探すから、いつでも見つかるから、可採年数っていうのはいつまでたってもゼロにはならないんです。可採年数っていうのは、今あるってわかっているものを使っている量で割る。今あるってわかっている量は1秒で変わるんです。見つかるんじゃないんです。今あるってわかっているけど高いのです。

例えば、今、町で150円のガソリンが売られて

いるところ「170円でガソリンが採れるんだけど」って言ったら、そんなもんは誰もあって思わないんです。ところが、170円になっちゃうと、自動的にあるほうにカウントされてくから資源が増えちゃうんです。こんなことも起こります。もちろん、その他に、高いから「やめよう」、「ちょっともったいから歩こう」って使わなかったら、それだけ消費が減りますから、今度は自動的に割るほうの数が減りますから、枯渇に至るまでの年数が増えます。


さらに、いよいよ足りないとなったら、採掘技術も変わるし、つくる技術も変わるし、合成したり、利用技術も、燃費良くなったりしている車なんていっぱいありますから、これは大体その辺ですよ。これでもって、どんどん変わって、あげく最後に高くなってきたら、もう面倒くさいからそれ使わないのです。

実は、なぜ石炭がこんなにあるか。150年後、160年後、170年目も、別に一生懸命探して見つかったからいっぱいあって嬉しいなんて言っているわけではないんです。皆さんは、この国にまだ石炭があって、掘ってないってことをご存じですよ。三井三池であるとか夕張であるとか、あるいは掘っていた人の家族がフラダンサーになっちゃった常磐とか。まだあそこに、いっぱい石炭はあるんです。行けば掘れるのになぜ使っていないでしょう。高くていらぬからなんです。外から買ったほうが安いから。大体、石炭はそんなに使わない。今、うちに石炭ある人いますって、いたら僕は帰っちゃうんですけど、いないですよ。だから、あるとわかっているのに使わないから、こんな年数になっちゃうんです。



### 「枯渇」の正体？

Institute of Sustainable Science  
Institute of Advanced Energy, Kyoto University



**「枯渇」は物理的な欠乏ではない**

- ・可採年数R/P比とは、つまり探す理由の切実さ。  
→つまり、「いない」「ほしくない」ものがある。  
今見つけた資源は、可採年数後までお金にならない。  
→可採年数が減れば、資源探査が進み、見つかる。
- ・高くなれば不採算で資源とみなされなかったものが算入され、資源は何もなくても増加する。(遠隔、低品位、非在来。。。)
- ・高くなれば消費が抑制され、可採年数は伸びる。
- ・採掘技術、生成技術、利用技術が進歩する。
- ・代替される。(技術が進む。)

**「石器時代が終わったのは石がなくなったからではない」**

→にもかかわらず、「枯渇」は起こるし、資源制約も存在する。

9

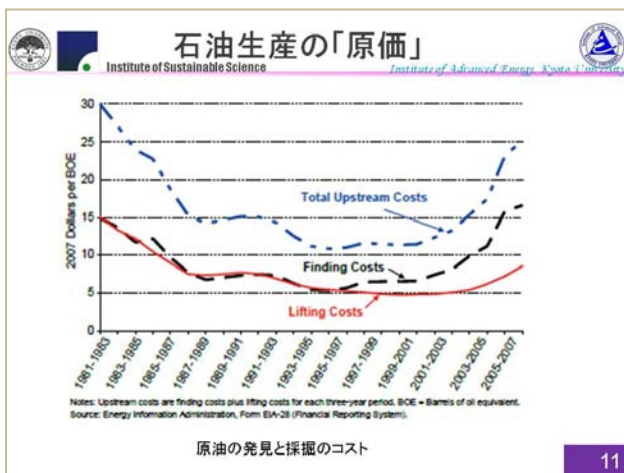
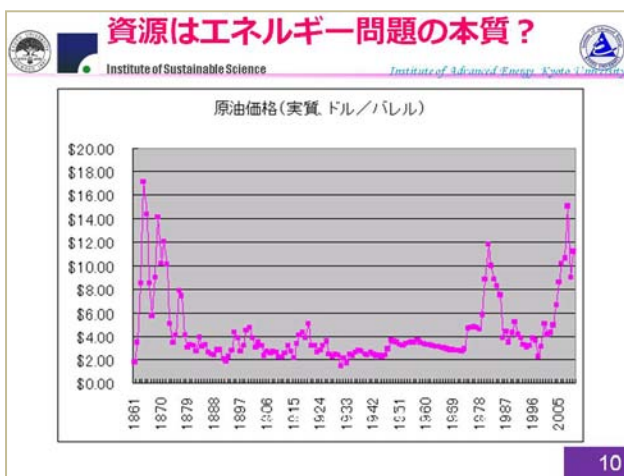
もちろん、はやりすたりがあるんですけど、資源ってこんなもんなわけです。僕らが若いころに、サウジアラビアの石油大臣でヤマニさんっていう方がいたんですけど、その人が、「石器時代が終わったのは石がなくなったからじゃない」と言ったのです。すごいですよね。石油を掘っている国の大臣がこんなことを言っちゃうんです。この後ろに油をつければいいんです。「石油時代が終わるのは石油がなくなるからじゃないぞ」。平気でこういうことを言うんです。でもこれは事実なんです。こういうことがちゃんと起きています(図9)。

つまり、枯渇という問題は、ものがなくなるのではないということなんです。実際、足りなくなってなくなったから使えなくなるものっていうのは恐らくなくて、にもかかわらず枯渇という言葉がこれだけ世の中にあって、みんなそれを心配している。

資源制約。これは確かにあるんです。資源がないと困る。ないと困ると言うのは、無くなって困るのではないということなんです。どこに問題があるのかわからなかったら、お医者さんだって病気治せないですよ。枯渇でもものがなくなるって思っていたらエネルギー問題は解けないのです。枯渇というのは、現にこの国でも石油ショックが2回、3回あったわけです。石油が来ない。これは現実的に起こるんですが、実は来なかったんじゃない、本当は10パーセントぐらい来るのが減ったから価格がいきなりドーンと高くなってしまった。それだけなんですけど、これで十分われわれは困るのです。死活問題だと思ってしまったのです。それは、石油がないからではなくて、来なくなったから困る。ここが大事なんです。われわれが見ているものは病気と同じようなものですから、病気の原因を間違えたら治療法を間違えます。それだけのことです。

石油のお値段。物価で、購買力平価で、いろいろな言い方があるんですけど、石油の値段って一番初めにつけ始めたのは19世紀の終わりです。ついでに言うと、石油って何に使っていたと思います？ 主に灯油ランプなんです。照明にしか使っていない。実は、エネルギーって最終的に言うと、使い方って光にするか熱にするか力にするかどれかしかないんです。それができれば、実は電気だろうがガスだろうが原子力だろうが太陽光だろう

が、何でもいいんです。なんだけど、力と熱のほうは頑張れば、人間が何とかすれば何とかなんですけど、光ばかりはどうしようもないんです。頭を一生懸命磨いたってそんなに光りませんから。だから、そのころは確かに石油ってあったんです。だけど、そのときには、そもそも灯油採って、ガソリン邪魔だ、危ないしって捨てていたぐらいなんです。その時代の石油の原価って、大体10ドルで1バレル。安かったですね。それからちょっと安い2ドル、3ドルの時期があって、OPECができてちょっと高くなりました。これは、いつも授業で言っていて、誰もうちの学生は答えられなくて困るんですけど、今日1バレル、何ドルかご存じの方おられますか？原油価格。



おられませんか？大体、1バレル当たり、90ドル台から100ドルぐらいの間。実は、これはここ5年ぐらい変わってないんです。1ケタ違う？そんな高いですかね。ちょっとこれって、インチキなところがいろいろありまして、一応原価を調べてみました。これも技術の問題があるんですけど、

合計で探すのと取り出すのに掛かるコストって、この100年で見ると、不思議なことに大体15ドルから30ドルぐらいでそんなに変わってないんです。これは場所によってずいぶん違うんです。これはアメリカのデータなんですけど、アメリカはいつか石油大国だったんですが、高くなっちゃってよその国から買うようになったとか、いろいろあります(図10、11)。

つまり、荒っぽいこと言いますけど、100年間でもの値段としての石油の値段ってほとんど変わってないんです。どっちかって言うと、少し安くなっているぐらいです。

じゃあ、なぜそんなに人気がないんだ。そんなことはない、石油は絶対高くなるってみんな言うんです。でも、ものの値段って、昔と今と調べると、極端な単純化しますと高くなったものってないです。これが鉄鉱石だろうが綿花だろうが、砂糖だろうが小麦だろうが、およそ材料として持ってくるもので昔より高くなったものってないんです。資源ってどんどん減っているはずなんだけど、それを掘り出してつくるほうの、あるいは育ててつくるほうの技術の進歩のほうが早いので、結果的にものは安くなるのです。

とにかく、石油、原油のお値段というのは、実は、アメリカのほうの石油市場だとそういう名前が付いていて、他にも例えばロンドンとか、あるいは中東のほうとかいろいろな基準があって微妙に違いますけど、今、大体100ドルぐらいになっているんです。これで大体、推移して、それでも30と150の間をこの10年で上がったり下がったりしています。

ところが、ここでの取引量というのは、日ごろわれわれが使う、世界の需要の100倍が売り買いされています。実は石油って、売られて買われていますが、そのたびに売り手と買い手の間を行ったり来たりなんかしてないです。これは皆さんがよくご存じの通りコンピューターの画面の数字を打つだけで、ちゃんと売りと買いが成立しているのです。もうちょっと前だったら伝票行き来していましたが、やはり石油自体は動いていないです。

要するに、これってマネーゲームをやっているだけで、申し訳ないですけど、われわれエネルギーをちゃんとまじめにやる人間の歯の立つ相手じゃないのです。値段はどこか、僕らの知らないと

ここで決まっている。真面目につくる方っていうのは真面目につくってきて、値段は高くなりも安くならないもしないで一生懸命頑張っている。もっとも、目の前にあるものをザバツと汲めばよかったとか、穴を掘ったらすぐ採れるような石油だったものが、今はまず2千メートル海の中に入って、そこから地面の中をぐりぐりっと掘って、さらに機械を入れて汲み上げて、圧力をかけてまた汲み上げる。そんなことを一生懸命やっています。それと、出てくるものの値段は同じというぐらい、技術は進歩しています。これが石油のお値段の正体です(図12)。



これは変な模様ですけど、アメリカのとある地方の、油田地帯です(図13)。アメリカの場合は自分の家の裏庭で石油を掘るんです。鳥の頭で水を吸いながらガタンゴトンする人形(平和鳥)、ご覧になったことのある方、結構おられるんじゃないかと思うんですけど、あんなようなものでいっぱいこの辺にポチポチとやって、この線で書いてある地面の中にさらに配管が掘ってあって取り出

すのです。実は、こんな掘り方をしているのはアメリカだけなんですけども、こんな風に網の目のように張りめぐらせて石油を掘ります。ここまでアメリカは、石油は金になると思ってみんな頑張ってやっているのです。

実はこれと同じことをしているのが、シェールガスなんです。アメリカはこれができるんです。だから、アメリカでは同じやり方をしてシェールガスが採れるのです。出たものを運ぶのも、同じようなシステムと、さらにパイプラインがあります。他の国には絶対これは真似できません。だって、こんな石油の掘り方してないですから。石油は技術で掘るものなんです。あるから掘るとか、もちろん無ければいくら掘ったって出ませんが、それにプラスして技術が無ければ掘れないのです。天然ガスも同じです。天然ガスは、まだ、今のところは穴を掘れば地面の中から出てくるようなありがたい資源ですね。これはヨーロッパなんですけど、ここにロシアがあってここにウクライナがあって、こんな風に網の目のようにパイプラインを張りめぐらせて、この中でガスを流して売り買いしているわけです。これだけの設備、これだけの技術を使っている。ちなみに、日本には残念ながら、一部の例外、国内的なものを除けば、本格的なガスパイプラインでこのレベルのものはないです。

ということは、どういうことかと言うと、世界でかなり主要なエネルギー源となっている天然ガスは、われわれとは正直言って縁のないものです。「いやいや、われわれはちゃんとガスを使っているじゃないか」とおっしゃいますよね。僕らが買っているのはLPG、LNG、液化石油ガス、液化天然ガスで、タンクに入れて運ぶものです。これはもう、全然違うものなのです。

水だって、ペットボトルに入って売っている水と、蛇口をひねれば出てくる水と、雨が降って水たまりにできる水と、僕らに言わせれば同じH2Oなんだけど、それはサイエンティストがばかなだけで、皆さんはその差はちゃんとご存じです。1個のペットボトル、現金正価は、1本で150円している。水道の水は1立米使っても何百円で、雨水はただ。それだけの違いです。

天然ガスって言っても、パイプラインで運ぶガスと、液化してタンクに入れて運ぶガスっていう



のは全然別物です。お値段も違うし使い方も違う。最後の使い方は同じなんですけど、途中の経路が全然違うわけです。これが問題なんですけど、エネルギーってそういうことで、商品になって使うようになって初めて売り買いができるから、伝票があるから統計がとれる。だから、僕らが見ているエネルギーっていうのは、正直言って売り買いされるものだけです。これが困るんです。太陽光とか風力って、本当にまともに使うと伝票がついてこないんです。それは後にも話しますが、何はともあれそれでもエネルギーはなくなると困る。

かつて16世紀半ばに巨石文明が栄えたイースター島は



エネルギー資源(再生可能なはずの)枯渇で崩壊



この島、イースター島は有名なんだけど、よく見るとこの山は禿げています(図14、15)。一応森で覆われていた島だったそうです。これを刈りはらっちゃって、エネルギー源として使った結果としてあっという間に滅んでしまったのです。確かに資源の枯渇って言うんですか。エネルギー源の枯渇だけでもって、見事に一つの文明が滅びるっていう、もちろんエネルギーだけではないです。食料もとれなくなっちゃったし、後はもうお

決まりの部族間紛争で最後は滅んだりしているんですけど、重大なことはここなんです。

資源がなくなるっていうのは、確かに怖いことなんです。でも、ここで枯渇してなくなったのは、この場合は森林資源であって、森林資源ってわれわれがよく言う再生可能資源ってやつです。エネルギーっていうのは再生可能って言われている。みんなが本当になくなると思っている枯渇性の石油、石炭、天然ガスとかそういうものではないんです。ここで重要なことは、掘り出せる、再生できる、つくり出せるよりも余分に使ったら絶対なくなっちゃうってことです。石油も石炭も天然ガスも、今のところあるとわかっている量を一方では探し、一方ではさらに強引に絞り出してつくるだけの技術があって、それで使っている限りは安定に使い続けられるけど、それがどこかでバランスが崩れると、あっという間に足りないということが起こる。足りないって言うと、たちまち取り上げたり紛争が起きたり、これがやっぱり、なくなるんじゃないけど、物が来ないっていう病理の一つではあります。エネルギーって、なくなりはいないんです。われわれって言うか、高校レベル以上はみんな、エネルギーの保存則というのをご存知かと思いますが、かたちが変わるだけで本当に無くなるわけではないのです。

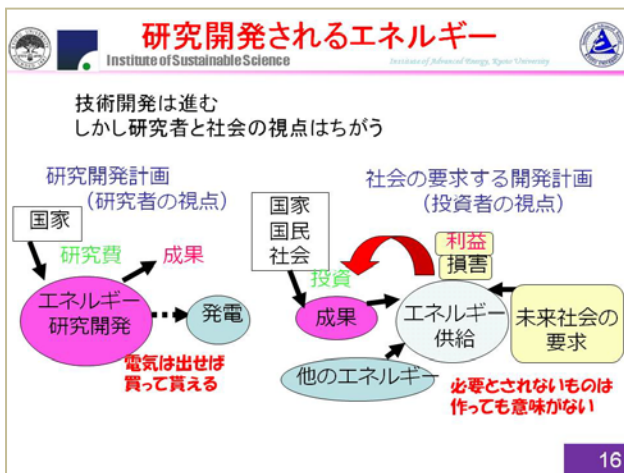
けれど、いろいろなかたちでエネルギー供給が制約されることはあります。何がエネルギー供給の首を絞めているか。実は、そこさえわかれば、いろいろなエネルギー問題が解決されるわけです。資源が足りなければ、というか、資源が来ないのであれば、その経路のどこかに問題があるのです。資源をつくれればいい、とりあえずつくってと言われてるので、いろいろなエネルギーをつくり出す、でも、その結果、何が起きたか。それは申し訳ないけれど、科学者が悪いのではありません。僕の同僚もいろいろなエネルギーを研究しています。太陽光をやっている人もあれば風力をやっている人もいれば、エンジンをやっている人もいれば原子力をやっている人もいれば、石油、石炭いろいろあります。こういう人たちに聞いてみて下さい。「あなたの研究って素晴らしい?」「いや、素晴らしいよ」、「エネルギーいっぱい出る?」「いっぱい出るよ」、「安い?」「安いよ」、「クリーン?」「きれいだよ」、「環境に優しい?」「優しいです」、み

んな言うんです。

例えば大井競馬場に行って、もし馬が喋るんだったら聞いてください。「おまえ速いか」って。「おれはサラブレッドだ。速い」って言うに決まっているじゃないですか。それでもちゃんと、最低8頭、枠に入れて走らせたなら勝つのは1頭だけです。当たり前ですよ。これが単勝というやつです。組み合わせだともっとややこしくなりますけど、要するにそういうことです。

競走馬に、「おまえ足速い？」って聞いちゃいけない。エネルギーの専門家に、「そのエネルギーは素晴らしいか」って聞いちゃ駄目なんです。それがいいのか悪いのかって判断するのは馬券買う人たちなんです。ここにおられる方なんです。だから、怪しい話は大概怪しいです。エネルギーの話は嘘ばかりだと思って疑っておいてください。こういうことなんです。研究者というのは、とりあえず言われたら頑張ってお金もらってエネルギーをつくるのです。

というのはどういうことかと言うと、お金をもらって、「成果です」と発表します。本当は、大学にいたら論文を書けばいいんで、それはもっと悪いんですけど、よくて「電気出しました。」ぐらいの話なんです。出れば買ってもらえるのではなくて、買ってもらえるかどうかなんて気にしないで、とりあえずつくっておしまいなんです。太陽電池なんて、こんなでかいのを何億円もかけてつくって、「ん？何かメーター振れた？」くらいで大喜びするんです。その程度をネイチャーに発表しちゃったりするんです。これがエネルギーの研究者というやつです。そんなの信じちゃ駄目でしょう（図16）？



本当のエネルギーというのは、とりあえず世の中に持ち出して、いいこと、悪いこと、いっぱいあるんですけど、今ではない未来の社会の要求にこたえていて、それで、貰ったお金に見合うだけのものができたかどうか、そこまで本当は見なきゃいけないのです。こんなところまでわかる人はいないんで、皆さんがこれはよく見張っていただきたいのです。

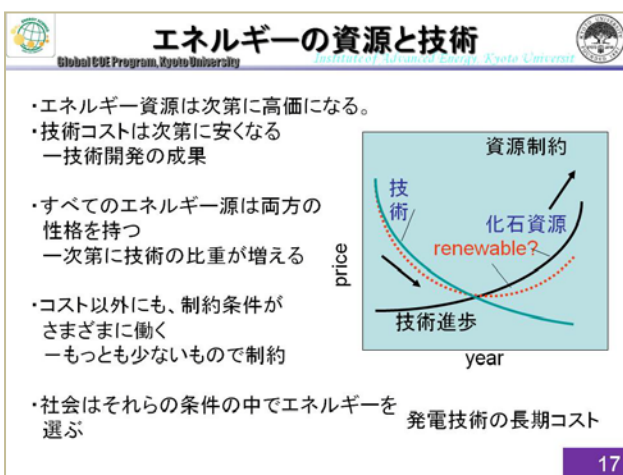
とはいえ、資源というのは経済学の要求するところによりますと、使えば使う分だけ残りが少なくなるし、使いやすいものから使うし、取り易いものから使うし、質のいいものから使うから、絶対後のほうにいくと単価が悪くなります。これを一応、供給曲線と言うんだそうです。こういうものが基本的にあります。後にいくほど質は悪くなる、コスト的にもかかる、量が決まっているものであれば、地面の中に埋まっても出っ張っていても、これが資源というものの宿命であります。いい例が一つ、先にネタバレだけやっちゃいますが、太陽電池って必ず一番日当たりのいいところに置きますね。風力発電の風車も、一番風が強くて一番目立つ、見晴らしのいい岬の突端につけます。それはいいんです。当然、それが一番得ですから。「こりゃいい」って風車をもう一個つけようと思うと、「あれ、一番風の強いところ使っちゃってる。じゃあ、しょうがない」、2つ目の風車は必ず、それよりつくる電気少ないです。3つ、4つ、10個つくったら、もう前のが邪魔して、10個目なんて風が来なかったりする。だから、無限に、見渡す限り荒れ地が広がっているようなところならいいのだけど、この国でやっていたら作れば作るほど、風力発電のコストって言うんですか。効率が悪くなってしまいます。

太陽光もそうです。最初は当然、日当たりのいい屋根にどんどん乗っけてくんですけど、それが無くなったら、西向きだけど、東向きだけど、北向きだけどいいかとなって、だんだん「言われたほど電気出ないよ」って怒ることになるんです。風車ではすでにこれが起きています。こういうことが起きます。

一方、これは太陽電池の、それこそコストの話なんですけど、技術でつくっているものは、値段はいろいろあるけど、去年より今年のほうが、絶対性能いいですよ。パソコンやスマホなんてそ

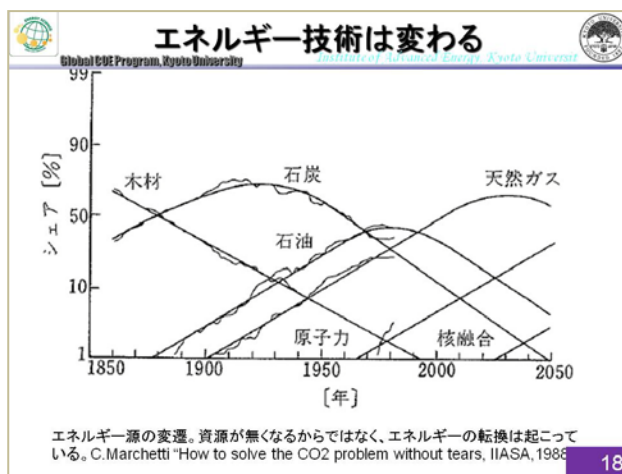
うですよ。こんな感じで、同じコストだったら、技術でつくっているものは間違いなく後のほうが良くなるんです。日立さんの製品なんて、10年前のものと今のものとだったら、絶対今のほうが安くていいに決まっている。当たり前なんですよ。だって、一生懸命技術開発していいものしか出さないし、それでさぼっていたらT社さんとかM社さんに負けちゃいますもん。だから、一所懸命いいものをつくる。だから今年より来年のほうが絶対いいです。それで、買い換えしないでください。今のほうがいいからとか言って。

こういうメカニズムがあって何が起こるか。早い話が、必ず資源でやっていたものっていうのは技術が追い抜いて安くしちゃうんです。最初、例えば掘れば出てくる石油、掘れば出てきた石炭を使っていた人たちは、エネルギーで言えばどこかで技術優先のものに乗り換えちゃうってことなんです。やむを得なくそういう変化が起こります。でも、さっき言ったように、太陽光だろうと風力だろうと、必ず日当たりのいい屋根であるとか風通しのいい岬のてっぺんであるとか、そんなものは限られているから、やっぱりあんまり使っていくと、コストがかえって高くなるような面もあるのです(図17)。



とにかくこういうことで、必ず資源の制約っていうのは技術で置き換わる。ここでまた技術なんです。要するに、エネルギーを探してきたり運んできたり配ったりする技術のほうが、資源そのものがあるないよりも、よっぽど大事だということ。そういうことだけなんです。ここで技術開発っていうものがいかに重要かっていう話を覚えておいてほしいわけです。エネルギー技術っていうのは、

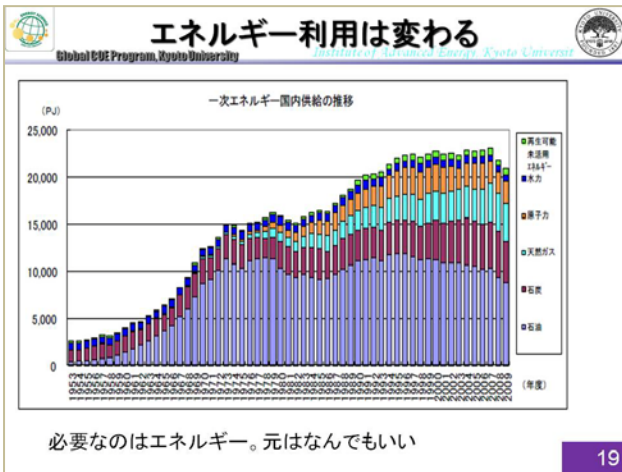
いろいろなものがそういうことで変わってきているわけです。エネルギーが代わるのは、別に資源がなくなったわけじゃないんです。



ちょっと前に、ウィーンにあるエネルギーと環境の専門機関の IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) というところの人が書いたんですけど、いろいろな技術がエネルギーを供給しながら、シェアとしては必ず、すでに変わってきているんです。実は石油は、そういう意味で言うとピークはちょっと過ぎていて、天然ガスとか原子力など、いろいろなものに変わっている。石炭も当然ピークを過ぎていたわけです。シェアなんです。絶対量はまだまだ増えているんです。だけど、こういうことで確かに、ヤマさんじゃないけど、石油時代はもうそろそろ終わりに始めているんだと思います(図18)。

実は、石油が無くてもそんなに困らない。と言うと語弊はあるんですけど、本当に主役の座はそろそろ変わりつつあるのです。技術が絶え間なく変わるからです。使うほうも変わっているわけです。こちらのほうが便利だから、こちらのほうが安いから、高くても地球に優しいからとか言われると、ちょっとお金に余裕があったりすると買ってしまうのも、これもまた人情でございまして、いろいろなエネルギー源が出てきて、これも徐々に、まだわからないですけど変わってくるのです。この下の一番でかいところは石油で、これは石炭なんですけど、やっぱり、一次エネルギーとしては石炭はいっぱい使います(図19)。さっきも言ったように、個人で石炭を使っている人はもちろんいません。使っているのは、今のところ、製鉄と、セメントもそうですかね。あとは発電で使ってい

ます。もう、われわれ一般個人消費者が目にする  
ことはなくなっていて、これも減ってきていると  
いうことです。そういう意味で言うと、実は石油  
時代も日本でも終わりつつあるということを言  
いたかったんです。



日本の産業は、こういうところで恐ろしく速い  
です。石油が無くなっても、原子力が無くなっ  
てもそうなんですけど、そういう意味で言うと、実  
は日本の電力っていうのは、ああ見えて恐ろしく  
フットワークが軽いのです。石油ショックだっ  
て言ったら石油火力をほとんどやめちゃったし、原  
子力ストップって言ったら原子力やめて、それ  
でちゃんと電気を供給してくれているという、  
なかなかすごい業界なんです。



そういうことで、電力の話に進みます。  
実は先進国と途上国で何が違うのかというこ  
のつに電力網というものがあります(図20)。僕  
らは誰でも、電気っていうのはコンセントにプ  
ラグを差し込めば貰えると思っています。それが

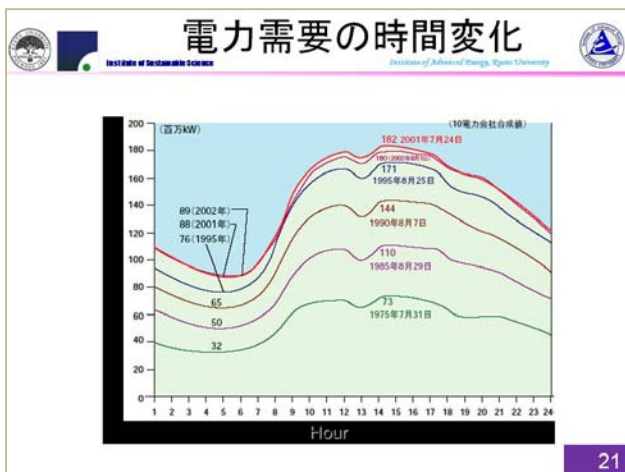
たり前。出なかったら怒るんですが、実は、その  
後ろにどれだけのものがぶら下がっているのか。  
そういうことで言うと、非常に想像しにくいこ  
となんですけど。

アメリカ辺りは、国が大きくて間に人の住ま  
ないところが、本当にトカゲしか居ないような  
ところがあったりして切れているために3つある  
んですけど、この3つはそれぞれ500掛ける1  
ギガワット。1ギガワットっていうのは100  
万キロワットで、非常に大きな火力発電所、  
原子力発電所が大体その規模で、グリッド  
という名前が付いているんですけど、500  
基分ぐらいのシステムがあります。

こんなのが、実はすべての発電所でつな  
がっていて、一斉に秋の運動会のムカデ競  
争のような、みんなで足を並べて一斉に「よ  
いしょ」ってやらないとぶっ倒れちゃうや  
つ。あんな感じで、日本中なら日本中で、  
東で80、西で100ギガワットぐ  
らいの発電所のすべての発電機が正確に、  
同期ってわかるかな。足並みそろえて、同  
じ速さで、しかも同じフェーズで動いてい  
るのです。僕らが共有しているこの電気  
って波が種類しかなくて、本当は3本ある  
んだけど、波は1個しかなくて、この波が  
ずれたらつながらないので、きっちり  
みんな、「足上げるぞ」って一斉に上が  
って、足下げるときは一斉に下げるって  
いうことをやるんです。日本中の、東半  
分なら東半分、すべての発電機がそう  
なんです。厳密には、結構違うんで嘘に  
なっちゃうんですけど、それに近いことを  
やっています。

ということはどういうことかと言うと、  
個々の発電機があつて発電すれば電気が  
もらえるってわけじゃないってことなん  
です。それだけの、すべての発電機、  
すべての変電所、すべての電力消費  
者がつながって、それがタイミングを  
合わせるようにしている。ムカデ競  
争もそうだけど、誰か足を乱すや  
つがあると、へたしたらバタッと倒  
れたり、あんまりどうしようもな  
ければ周りが「かっげ」って、「お  
まえ歩かなくていいから」ってや  
ったりとか、いろいろなことがあ  
ります。それと同じことを発電所も  
やります。それをしないとシ  
ステムが維持できないです。日本  
は東と西で結構細長いんで苦  
労はしていますが、そのシ  
ステムがすごく立派にでき  
ている。

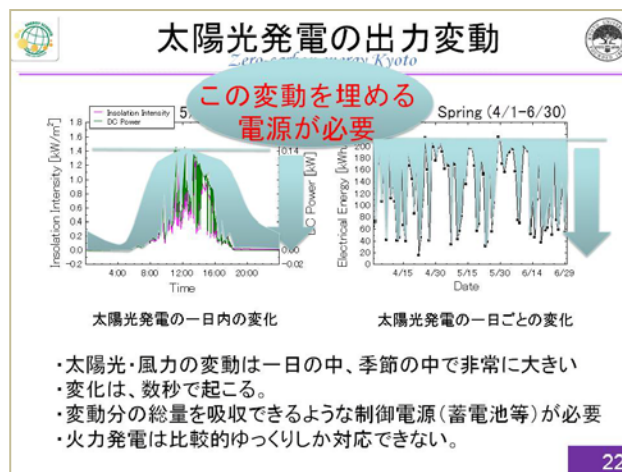
これが途上国辺りに行くと、一気に10分の1、100分の1の大きさになります。中国は大体、日本と容量的には同じですけど、今、8つの地方がそれぞれバラバラになって勝手に発電所をつくって相互に繋げないでいます。繋げないんです。技術的にそうなんですが、機械を買ってきて置けばいいってものじゃないからなんです。これはすごく高度な運転とテクニックと経験がものを言うのです。



21

日本の場合は、さらに迷惑と言いますか、非常に律儀な人たちが住んでいますので、誰だって夜は寝るし、おまけに朝は一斉にラジオ体操をするし、昼間は一斉に、きっちり1時間昼休みをとっちゃったりします。これに合わせて電力の消費って変わるんです(図21)。電気って余ったら捨てられないし、足りなかったらどうしようもない。要するにためられないものだから同時同量要るんだけど、発電所の人たちって使い方を見て発電機を止めたり動かしたり、出力を絞ったり、そういうことをやってきっちり合わせるんです。昔はそんなでもなかったんですけど、今はかなり極端です。これをやるんです。そういうことで言うと、これができるのは世界でも先進国だけです。これを間違えると倒れちゃうんです。

今、そういう意味でちょっと困るのは、これはうちで試しに載せてみた太陽光発電ですが、こんなギザギザになるのです(図22)。これ1日の中です。雲が来たらすぐ落ちるし、雲が行っちゃったら、また電気出るし、こんな感じなんです。毎日で見ると、これはこっちで1日ごとなんだけど、晴れた日、雨の日で交互にこんなふうになっちゃったりする。こんなに激しい変動をするんで



22

す。これは結構大きいんです。うちの大学の一つのキャンパスに、僕らとしては結構でかい太陽電池を載せているんですけど、こんな出力だったらやってられないです。この変動を埋めて、毎日だったらピタッと、1日だったら昼間は多いようにならないと。幸い、太陽光発電は、それでも昼間の消費の多いときには電気をつくってくれるから一見いいんですけど、変動したら対応してくれないと困るんです。要らなくても勝手に電気つくるし、要るときにはつくってくれない、大変迷惑な代物なんです。

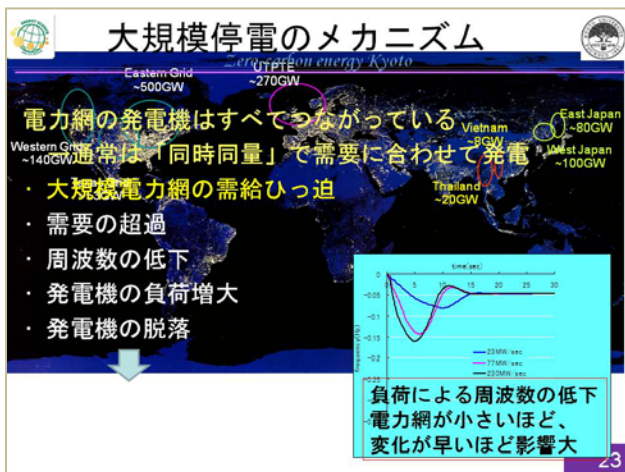
それもさっきのムカデ競争の例で言うと、ちゃんとみんな足並みそろえているのに、勝手に、「いや、おれ走りたいんだ」、「おれは止まりたいんだ」という駄々をこねるやつが1人入っちゃったようなもので、大変迷惑なんです。これが少数派だったら一応、電力会社もおおめに見てなんとか吸収するんですが、これがだんだん大きくなってくると「さすがに手に負えないよ」と言われているのが、実は、今の電力のシステムで起きていることなのです。

火力発電は火力発電で、「大変だ、曇ってきたから太陽光が来なくなった」って一生懸命動かさばいいかって言うのできないのです。天気の変化って秒単位で来るので、秒単位で応答してくれるような機械じゃないとできない。火力発電というのは、火をたいて圧力を上げてってやって1分で何パーセントとか、そのぐらいでしか調整できないのですから、太陽光の変化に対応できないのです。ということで、何が起こるのかと言うと、たまたま需要が大きくなると、例えば自転車に発電機をつけて走っていても、坂道に来ると重くなって回

回転数が減るじゃないですか。それと同じことが発電機で起きます。ちょっと発電機の回転数が落ちます。そうすると重くなるんです。で、今度は電圧が下がるとか。

ムカデ競争を例に出すと、お互いの間で、「おまえさぼってるだろ」とか言いながら、結局どうしようもなく重たくなっちゃうと、誰かこけます。そうしたら、それはもうしょうがないから、「おまえちょっと外れてる」って出すしかない。そうすると、残りの人たちの負担がもっと大きくなる。これが連鎖反応でいくとバタバタと倒れます。何百という発電所がこれでバタバタと倒れると大停電です。結構起きます。

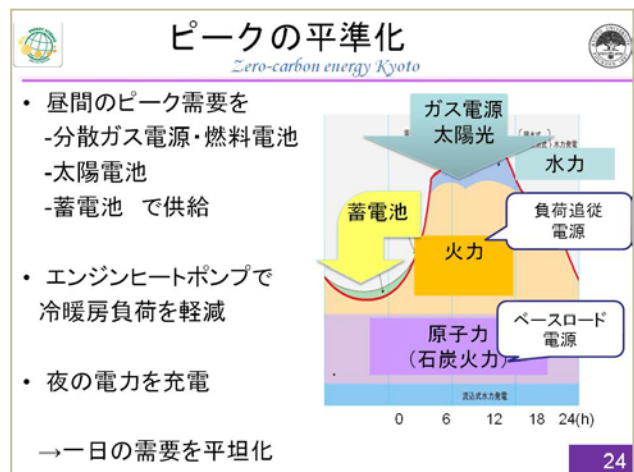
しかし、日本ではほとんど起きないんです。この国は異様に少ないんです。だから、みんなあんまり気にしてないですけど、例えばアメリカでは、ニューヨークでも起きたしカリフォルニアでも起きたし、2~3年前にはヨーロッパでも起きたけど、最近この原因の一つとして出てきたのが、特に風力発電を大量に入れちゃったからなんです。ヨーロッパでは風力発電の風が吹く、止まるを読み違えたので電気が足りなくなって、北半分でバタッと落ちたなんてことがあります(図23)。



この大規模停電っていうのは、そういう意味で非常に問題になってくるんです。これまた、こういう先進国特有の問題なんですけど。途上国に行きますと、電気ってたまたまついて大体止まるのが当たり前だから、誰もそんなのは気にしてない。と言って、病院でお腹開けて手術しているときに、いきなり電気が切れちゃったら困りますから、死んじゃいますから、そういうところは何をしているか。最初から自分のところで自家発電を当たり

前に置いているんです。フィリピンのマニラのマンションなんかに行くと、ベランダにズラッとエアコンと一緒に発電機が並んでいます。こんなものは準備すればいいんです。

と言いながら、じゃあ、何で東南アジアの国は電気を隣近所の国と融通しないのでしょうか。一つには、さっき言ったように技術的に難しいということがあります。経験や、すごく高度なテクニックが必要であるということがあるんですが、もう一つは、隣の国から好き好んで、電気なんて、一番僕らのライフラインにかかわるものを頼ったりしないんです。だから、悪いけど50年たっても、へたしたら100年たってもこの辺の国たちは、みんな隣同士仲悪いですから変わりません。あんまり僕らも言えた話じゃないですけど、日本だって現に、仲がいいことになっている中国とも韓国とも電気のやり取りはしてないじゃないですか。ヨーロッパだけは唯一例外なんですけど、ヨーロッパだって、千年単位で殺し合った結果として、国の中で電気をお互いに自由にやり取りしてお互いに助け合う関係が、きっちりうまく機能しているんです。実はアメリカとカナダもそれに近いことをやっていますけど。そういうことで、実は技術だけじゃない、政治の安定も結構大事なわけですよ。ともかく、このピーク電力、電気の安定というのはそういうことで、きっちり需要に合わせるのが大事でして、それも毎日変動するので、今の電力システムが何かをやって支えています。今は、われわれ、とりあえず大手の電力会社から供給されるものをありがたくいただいて、なぜかこちらが使っても使わなくてもそれに合っていて意識しないで済むようになっています(図24)。



実は原子力とか、今、これが石炭火力に変わって、さらに天然ガスなどもあります、基本的にこれはベースロードと言うのですが、ほっといても必ず同じ量が出てくるような電源のことです。これの上に、需要に合わせて、焚いたり止めたりするもの、実は止めているって言っても、夜はアイドリング状態で、ふかしてないけどスタンバイしてる、そういう火力があって、さらにピークは水力、揚水発電を使います。

水力は、雨が降ったらただで電気をつくってくれて、すごく有り難いのでいっぱい使いたいですけど、ここぞっていうときに、野球で言えば、ピンチのときに最後に出てきて助けてくれる、要するにストッパーというやつですね。何しろこれは、バルブさえ開ければ水がすぐ流れて電気をつくってくれるので。ではさっきの大規模停電で全部止まったときはどうするのでしょうか。本当に困るんです。火力発電も原子力発電所もそんなんですけど、実は大きなポンプいろいろな機械が動かないと動けないんですね。

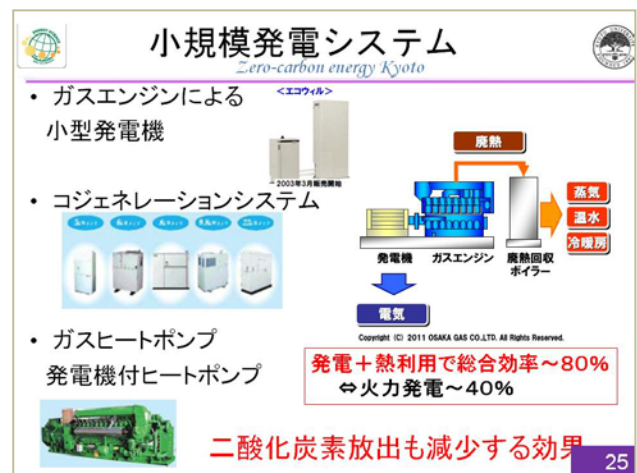
つまり、大概の発電所ってひどいんですよ。電気がないと動けない発電所なんです。だから、いったん止まってしまうと、どこから動き出すかが、大変問題になるんです。水力発電所というのは一番まで、いざとなったらバルブを開くと水が流れて電気をつくってくれます。こいつがまず動き出して、やっとそれで次に火力発電所の、例えばポンプを回して水を循環して火をつけて。で、焚き上がってくると、やっと火力発電が動く。そんな感じで戻すのも大変なんだけど、そんな風いろいろな電源には役割があって、そうやって日ごろの要求にこたえるようになっていきます。で、ここに今新しく入って来ているのが、実はガス電源と、それから太陽光発電。これをどうしようかっていう話なんです。

ということで、今起こっている電力システムの変化っていうのは大したことないんですけど、技術的に見ると、実は結構驚くべき重要な変化なんです。

皆さん、節電させられて、結構嫌になっちゃったかもしれませんが、本当にパチンコ屋さんなどは困っただろうと思っていました。前の知事は、「パチンコ屋なんかいらぬ」とかって言っていましたしね、それは、ギンギラギンに娯楽の殿堂

って電気つけてやっているところは肩身が狭かったでしょう。東京ディズニーランドにしても、電気ガツパガツパ使ってエレクトリカルパレードなんかやっているわけですよ。あれはバッテリーなんですけど。さて、そういうところはどうかです。こうやって四の五の言われぬように、自分で電気をつくっているわけなんです。

実は、日本の大企業の工場なども結構それを行っています。この動きはまだまだ続いていて、皆いろいろなかたちで、いろいろな発電機を買っています。個人は個人で、太陽電池を買って、中規模、小規模の事業者も、今、いろいろなかたちの発電機を買っています。これって、世によく言われるコージェネレーションと言って、お湯を沸かすのと一緒に電気をつくってくれたり、冷房しながら一緒に電気をつくってくれたりする。大体こういう機械は、総合的な効率はずごく高かったりします(図25)。



こんなものが、今、世の中にはだんだん普及してきています。何をしているかって言うと、つまり電気を、電力会社から買ってくるんじゃなくて、自分でつくるという人たちが、だんだんできてきているのです。

他にもいろいろあるんですが、蓄電池。これは電気をつくっているわけじゃないですが、実は日本には、ナトリウムイオン電池なんて結構不思議なものがありましてね。あまりこれも世の中で見ることには無いんですが、ちょっとした事業所になるとためておけて、一番、今、容量的に大きくて効率のいい蓄電池のひとつです。ちょっと火事を起こしちゃったりして問題になったのですが、鉛

バッテリーよりは効率がよくて安くて、ちょっと危ないんですけど、リチウム電池よりずっと安いという代物です。

### 小規模発電システム (2)

Zero-carbon energy Kyoto

- 蓄電池
  - NaS電池(ナトリウム硫黄電池)は現在約29円/kw
  - ハイブリッド車、EVも利用可能
  - 将来的にはLi電池
- 燃料電池
  - 高分子燃料電池は市販
  - 高温固体酸化物(SOFC)も商品化
  - コジェネレーションになる

NaS電池の原理

SOFCの原理

2Na + xS → Na<sub>2</sub>S<sub>x</sub>

Copyright © 2011 OSAKA GAS CO., LTD. All Rights Reserved.

### 消費者による電源確保

Zero-carbon energy Kyoto

- 消費者による自家用電源が普及しつつある
- ピーク時に自家発電
  - 消費者サイドによる電力供給
  - 安定な大規模電源が基盤を支える
  - 負荷は平準化される
- 停電時には非常用電源
- 地域電源による防災効果

大規模グリッド

分散システム

太陽電池

ガス発電

燃料電池

蓄電池

エンジン

ヒートポンプ

その他にも、実は燃料電池なんていうものもすでに売り出しています。あまり、とある会社のある製品なんで、商品名を言うのははばかれるので言わないんですけど、高いです。ばかばかしく高いです。買っちゃ駄目とは言いません。国が補助金を出してくれますから、お金の余裕のある人は買ってください。この辺は太陽電池よりも、本当に電気が必要なときにつくってくれるっていう意味ではすごくいい商品になります(図26)。

こういうものをいろいろな人たちが、いろいろななかたちで入れるようになったおかげで、密かに、例えば夏の暑いときや、昼間の一番電気が苦しいときにこういうものを使えるおかげで、日本の電力システムはすごく助かるようになってきているのです(図27)。実はこの傾向がまだまだ続くんです。まだまだ続くんですけど、どういうことが最後に起きてくるかと言うと、電気って、今まで

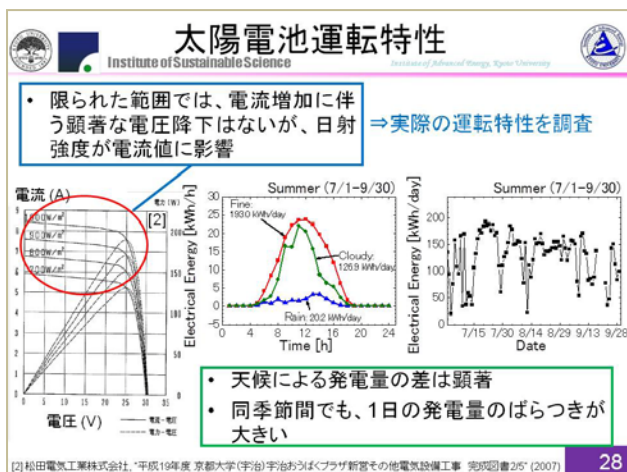
は大きな発電所があって、大規模グリッドっていうのがあって、そこから個別の家に下りてくるばかりの流れだったんだけど、今度はこっちで余ったものを返すんです。実は太陽電池でつくった電気は、余ったからって返しちゃうんですけど、これが結構困るんです。なんだけど、こっちが足りない分こっちからとか、隣近所で融通するとかいうシステムをつくると、これは相互に非常にありがたい。電力グリッドからもありがたいことです。末端のほうでもそういうことをやると、太陽電池の出力のデコボコとかをお互いにやり取りしてなだらかにすることができて、電気がそこそこ足りるようになってくるんですけど、太陽電池とか、こういう個々の電池って単独で見ると駄目なんです。電気が無くなったら無くなるんですけど、隣近所で融通するようになるとシステムが変わってきます。これが進むと、こっちの大型グリッドのほうで、それこそ大きな変動が吸収しきれないという問題がだんだん解消されてくる。残念ながら、この特性が非常にわかりにくいんです。

さっきも言いましたように、今まで電気って、大電力会社が売って電気代の伝票でお金を払う、という流れでしか売り買いされていませんでしたが、太陽電池でつくった電気を自分で使っていると、実はメーター出ているんですけど、いくら電気をつくったかわからないんです。日本全体でいくら電気をつくったか。いろいろな発電機があって、それはそれなりに燃料代とかを見たら何となくわかるんだけど、まだこの統計がなくて、僕もすごく困っているんです。

確かに、新しい発電機が日本中でどんどん売れて、日立さんもそうなんだけど、多分K重工業さんとか、いろいろなメーカーがいろいろなかたちのエンジンの発電機、エンジン、発電システムを売っています。それは確実に浸透して電気をつくっているんだけど、電力統計に表れないで、ただ単に、何となく電気の売り上げが減ったかなって、もしかすると減ったのかなってなっています。確かに皆さん節電しています。本当に節電しているんです。だけど、見た目の電力消費が減っているだけで、消費者による発電が節電の中に入っちゃってわからないということが起きています。これって、要するに、消費者が自分でコントロールしながら電気をつくるという新しい時代が来つ



つあるっていうことの証拠なんですけど、あまり正確な数字がわからないのです。



これなんてその一例で、うちの実験でやっているんですけど、ちょっと難しいですかね(図28)。この赤のところ太陽光なんですけど、これが晴れた日でこっちが雨の日。晴れた日は太陽光を使えばいいんだけど、雨の日だからって電気を使わないわけには行かないので、そのときには燃料電池を使わなきゃならないんです。それで足りない部分は、バッテリーチャージしたものを使う。夜余った分は昼間使うとか、そのようなことをやります。要するに電気って、電気でありさえすれば何でもいいので、全体として組み合わせてなだらかにすればいいのです。負荷変動って言うんですか。需要に対応するような使い方ができます。実はこれをやらない限り、太陽光と風力ってこれ以上使うことができないんです。太陽光と風力をちゃんと使いたかったら、大規模な発電所をつくっても駄目で、まして太陽光で原子力発電所の代わりになんてなりません。

だけど、個人の持ついろいろな発電装置、プラグインハイブリッドなんていう名前の自動車もそうなんですけど、電気を吸収したり出したりすることはできるんです。逆に車から家電に電気を使おうっていうのは、実はできないようになっているんですけど、こういうことが技術的に可能になってきますと、そういうことが唯一、太陽光などを、これからもっとこの国でたくさん使うためには必要な方法であったりします。

いかにもこの会社だよなって感じですがお金がなければできないのですが、実際それをやっているの例がアメリカにあります。実は燃料電池と

太陽電池とバッテリーを組み合わせると1個の工場をつくっています。これはエネルギー的には完全に独立しているんです。で、二酸化炭素を出していないって威張っていますけど、嘘ではありません。高いですけどね。実はこの手のことは、結構日本のいろいろなメーカーさん、特に電気会社さんなんかはなかなか上手くやっていました。

例えば、S社さんなんていうのは、亀山工場という液晶をやっていた工場では、電気を買ってないって言うていたんです。S社さんは太陽電池もいっぱいやってますから、燃料電池とか太陽電池とかダーッと並べて。その裏では、ちゃっかり天然ガスの発電機か何かあるんですけど、実はこれをおいておくと、節電って言われても気にしないし電気会社が値上げするって言うても負けないし、大体、停電にならないってことで、実は自分が一番安心だと思ってつくっている。

そうでもなければ、そのぐらゐの品質がなければ液晶画面をつくる工場はもたないんだそうです。そうでなくても、もともと精密な工業製品をつくりたかったら精密にコントロールした電力がなければ、工業はできないんです。モーターの回転数がちょっと狂ったら、旋盤で削っている機械は全部駄目になっちゃうし、織物だって全部駄目になっちゃう。本当に、ちょっと回転の調子が狂うだけで、ですよ。日本の工業ってやっぱりそのぐらゐの質の高い電力があつて成立してきたし、それと同じことを途上国でやろうとしても駄目なんです。

ということはどういうことかと言うと、今、日本の工業がやっていることは電気ごと持って行っているんです。発電機も持ってくし、コントロールするものも全部持って行っているし、そうやって工業技術全体が途上国に、東南アジアなんかに移転しています。だからと言うわけじゃないですが、だからますます、これからの途上国では、今の日本のような、電力会社さんの下で大規模電源がダーッとわれわれの末端まで届くような電力システムっていうのはできないんです。これからの途上国では、そんな電力システムにならないってことの証拠なんです。

僕らがいつも見ている、大体観光で行っても仕事で行っても、とりあえずコンセントに入ればどこでも電気が出る国、日本とかアメリカとかヨーロッパとかですが。メーカーの、本当にすさま

じいところに行く人は別です。そういう人たちは逆に、どうやって電気をつくろうとかそういうことで考えるわけです。だけど、そういう国と先進国の電気使い放題の国とは、そもそも電力システムが全然違うわけです。ということはどういうことかと言うと、これからのエネルギー問題を論じるのに、われわれが今日本で見て、これが足りないねとか、こういうことが起きてるねって言っているのは、残念ながら、全く同じではない。だけど、商品としては共通なんです。

例えば、10年ぐらい前ですかね。東南アジアの国に行くと、僕だってまだ高い携帯をやっと買ったぐらいだったのに、連中はみんな携帯を持っていたんです。据え置き電話がないんですよ。電話線がないんだもん。だから、しょうがなくという事なんです。

お年を召した方は覚えていると思いますけど、電話債権って、おやじの年収の3分の1ぐらいしたんですよ。そのぐらい払って電話線を引いて、電話がどこに居てもつながるようにしたのはこの国なんですけど、もう今の途上国ではそんなことはしないわけです。鉄塔を何キロかおきに立てれば携帯は通じる。電話線を引くつもりは毛頭ないわけです。ということで、現れてくる電力システム、現れてくるエネルギーシステムって、実はこれから大量にエネルギーを使う国では、僕らが知っているのとは全然違うけど、同じように分散して、個別にそれぞれがコントロールするっていうものが出てくる。それが技術の中心になるっていうことなんです。

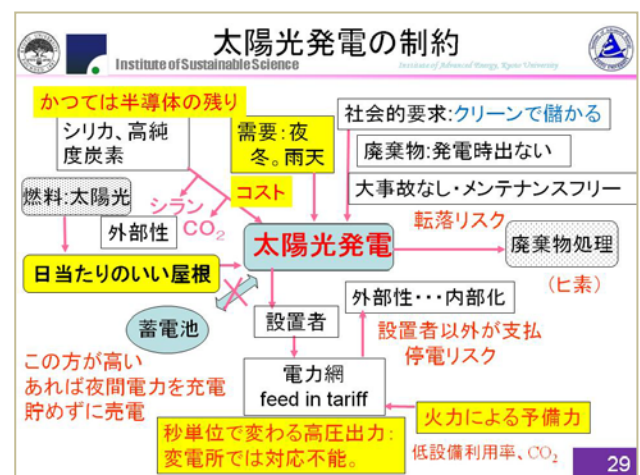
こうやって見ていくときにちょっと考えておいてほしいのです。例えば電気なら電気で、さっき言った資源の問題じゃなくて、必ずそのエネルギーが人の手に届くかどうかというところが技術の問題だと申しあげました。ロジスティクスと言ったり、あるいはそれにもう少し動きの概念を入れまして、サプライチェーンなんて呼び方をしたりするんですけど、一例を挙げてみましょうっていうのが太陽光なんです。

太陽光っていうのは日が照らなかつたら電気が出ない、日が照れば電気が出る。無尽蔵に出るからすごくいいエネルギーのような気がするんだけど、皆さんご承知の通り、雨が降れば電気出ないわ、夜は出ないわ、冬は夏より電気出ないわ。冬の寒

いところで暖房に電気を一番使いたいドイツなんていう国で、一生懸命太陽光をやる理由が僕にはわかりません。日本とかスペインとかで、暑いからって夏の最中に冷房したくて太陽光入れるのはわかるんだけど。

そういうことで、いろいろなものがなければ、実は太陽光発電なんてできないんです。太陽光があるから、無尽蔵だから、さらにゴミを出さないから。当たり前なんですけど。何も動くものないし、排気ガスもない。すごくクリーン。これは事実なんです。だけど、それだけで太陽光が動いているかって言うとそうではなくて、さっきも言ったように、日当たりのいい屋根がなかったら太陽光発電って使えないんです。

太陽光は無尽蔵なんだけど、日当たりのいい屋根って無尽蔵じゃないんです。ましてや、それが自分ちの屋根で、悪いけどたまたまその人が貧乏だったら、あるいは「こんな高いもの買えるか」って言ったら太陽光発電は載らないんです。逆に、僕が「太陽光を地球のためにぜひ載せたい」って言ってもお金がなかったらできないし、家がマンションだったり、たまたま北向きだったりしたらできないです。だから、この国の何パーセントとか、日本の道路の全部とかに載けたら電気足りますなんていう話は全部嘘です。実際、載せられる場所って限られているし、それもどんどん減ってきます。いいところから減ってきます。



じゃあ、太陽光で電気をつくっちゃいけないのか。そんなことはないです。とりあえず、入って得だと思える人はどんどん入れていけばいいんです。そういうことで、無理して、何て言うんですか、

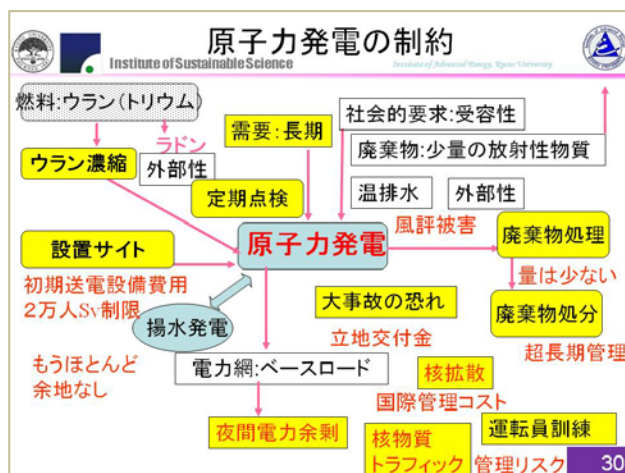
たくさん入れるべく、今、僕らは余分なお金を払っている。逆に太陽光発電を導入した人は使っても使わなくても電気は買い上げてもらえるという、大変ありがたいシステムになっています。社会的には、今、クリーンで儲かることになっています。だけど、これも常に火力による予備力があって初めて、電力網につなぐものとして成立する。実は、システム的には世の中の他のところにちょっと負担は掛けているんです。こんな感じで、ただ単に、光があるから、日が照るから電気ができるなんていう見方で無く、何が入ってきて何が足りないとか何ができないかっていうことを考えれば、エネルギーシステムってということがもうちょっとわかります(図29)。

原子力について見ましょう。原子力って、これもなかなかややこしいものでして、原子力で電気をつくるっていうのは、実はちゃんとそこまでに持ってくるまでの燃料を、大変手間を掛けて持ってきます。当たり前ですが、場所もなければいけない。今、原発をつくって欲しいっていう国は世界中を見てもほとんどない。というか、つくるのにみんなすごく苦労しています。ですので、何故原子力発電が足りないかって言うと、つくる場所がないっていう問題が、多分世界的にあるんです。例えあったとしても、今度はゴミの捨て場所が無いでまた困る。

これ、皆さん、案外気が付いてないんですが、原子力発電って、幸か不幸か、実はゴミの出方が量的に見るとすごく少ないという特徴があります。だって、トイレがないマンションだとか言われながら、50年平気で使えているってどういうことですか。たまたま、大きな肥だめみたいなものがあるって、トイレがなくても生きていけるだけのマンションだっていうことなんです。大変不思議なことに。それもさすがに、そろそろ世界的に見ると限度があるから、ゴミ捨てを何とかしない限りこれ以上原子力なんて絶対増えないです。

実は、原子力発電の、ウランはまだまだいっぱいあります。実はウランそのものより、濃縮をする工場のほうがそんなに増えないっていう問題もあるんです。核兵器用にウラン濃縮工場をつくっちゃったもんだから、後は動かせば動かす分だけ純利益だからそれを動かしているの、今のところの世の中は足りていて、それでここまで来ました

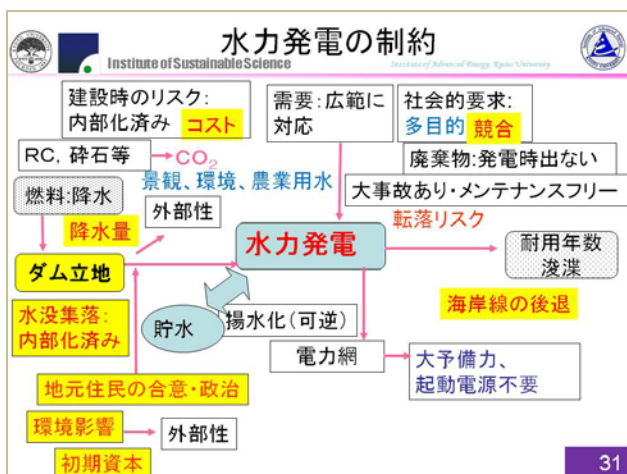
けど、ここから先、本当に途上国が原子力を使い始めるとウラン濃縮工場をつくらなきゃいけない。この辺も、実は足りないかもしれないと言われていています。今のところ足りています。



いろいろなかたちで、出るもの、入るものを一通り見ていくと、いろいろな発電システムの限界とかが見えてきます。いろいろなところで、何かストップすると全体がストップします。一番少ないもの、一番厳しいもので止まりますので、風さえ吹けば電気が出る風力とか、無尽蔵だから太陽光なんていう話に騙されちゃいけません。必ず一番少ないもので制限されている。原子力の場合も、安いとか、実はクリーンだとか、二酸化炭素が出ませんとか騙されちゃいけません。原子力の場合は、もっと狭いところでちゃんと首根っこを絞められている場所が、実はこの後ろ側半分にあります(図30)。

水力発電だって、そういう意味ではあるんです。水力発電って、最初にダムつくるときにお金が掛かるんですけど、いったんつくっちゃえば、実は雨が降れば降るだけ電気が出るんでただみたいにできるような気がするじゃないですか。実際そうなんですけど、そもそもダムをつくるときに水没する集落ができてしまったり、そういう人たちの立ち退き料もすでに払ったりしています。ダムをつくるときに、何百人っていう人が亡くなっています。皆さんも、水力発電所に行くとダムがあって、そこに花の記念碑があって後ろにいっぱい名前が彫ってあるのを見かけたことがありませんか。残念ながら人を殺さずに水力発電はできません。この国では、この人たちの尊い犠牲があって、僕

らは今、すごくきれいな電力として水力発電を使うことができているのです（図31）。



だけど途上国では、まだまだ水力は、開発余地はあるんですけど、これを使うときにはかなり大きな犠牲が出ると思ったほうがいい。中国なんか平気で、1千万人規模の人を移住させて三峡ダムなんかつくっちゃいましたし、一番恐ろしい事故では、16万人亡くなっていますし、決して安全とは限らないです。日本の場合も、あんまり見えてないけど、日本の海岸が全部テトラポットで埋まって砂浜がなくなっているのも、もしかすると水力発電のせいです。そんなところもあります。必ずしも、廃棄物として出ているものだけが世の中への害ではないってことです。

これからのエネルギーの話。皆さんにはそういうことで、お金に余力があれば、なくても、どうせエネルギーにある一定のお金を払わされます。その中で一番賢いものを選びましょうっていうことで、選択肢が与えられるのがこの資本主義社会の困ったところとして、お湯を沸かすっていうだけで、僕がちょっと考え付いただけで、これだけのシステムが今、選択可能なんです。

ご自分が、今、家に帰って「きょうはつまらない話を聞いて損したな」って、「シャワーでも浴びようか」っていったときに、さて、いろいろな湯沸かし器を皆さんは使っておられます。ガスの人。電気の人。x x キュートとか x x ウィルとかのエコ何とかの人。オール電化の人。オールガスの人。戸建だと、まだ石油タンクでお湯を沸かしている人、太陽熱でやっている人。すでに、これだけエネルギーの選択余地があるんです。ありがたいんですけど、困ったこともあるんです。これって、

壊れちゃったとか、損だったとか、はずれたら自己責任なんです。

携帯電話の契約ってそうじゃないですか。ズラッと20種類ぐらいパターンがあって、これが得です、あれが得ですって言われても、結果として選んでみたらそんなサービス全然使っていないのに、とんでもない携帯代を取られている。これが起こるんです。実はエネルギーって、さっきも言ったけど、電気代で言うと一人当たり、せいぜい月に千円台です。オール電化の人はガス代を払わないですけど、そんなようなもんです。つまり、月当たり、トータルで1人だと1万円使わない。高いといえば高いんだけど、死ぬほど高いわけでもない。食費もそうなんです。僕らは食うや食わずというわけじゃない。安くご飯を食べることはできる。

でも、そういう意味で言うと、このエネルギーの選択っていうのは、ガスを使うか電気を使うか、つまりガス代が上がったらガソリン代が上がったって話じゃなくて、この機器を買わされちゃうという事なんです。あるいは、マンションに住んでいたりすると、その中に入っていたりしますからね。実はそこで密かに選んでいる。オール電化のマンションに入ったら選びようがないんだけど、その段階で実は、「ここはどうも電気代がめっちゃ高いわね」とか、後で思ったりするわけです。エネルギー選択の自由があるんだけど、同時にそれではずれたときの損害は全部、自己責任です。結果として得だとか損だとかは、僕もよくわからないんですけど、ましてやこれから20年、これみんな、耐久消費材ですから、5年、10年は使えるけど、5年、10年したら陳腐化したり壊れたりします。大変困ったことです。

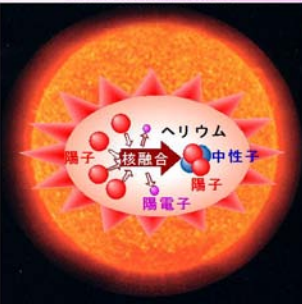
これを選ぶのが自己責任で、これからどういう電力システムになっていくか、エネルギーシステムになるか。正直言って僕もよくわからないんですが、これから確かに、自分で電気とかエネルギーをつくりながら使っていくようなスタイルが、ある意味では主流になっていくので、後悔しないように選んでくださいとしか言えないですみません。無責任なんですけど、でも、これが先進国の僕らの務めで、そうやって一番いい技術ができると、やがてそれが途上国でも売られていって、それがこの国の産業だけではなくて、世界的なエネ

ルギー効率の向上にもつながります。

ここで僕の商売の話をちょっとだけしていいですか。実は、私が専門としてやっているものの一つに核融合というものがあまして、これは、早い話が太陽と同じ反応を地上で起こそうということです。技術的にはなかなか難しいところがあるので、実用化にはまだまだ遠いんだけど、実験室では、実験室といっても体育館ぐらいあるんですけど、そこでちょっと燃やして、太陽と同じ反応で発電所1個分ぐらいのエネルギーが瞬間、1秒ぐらい出るとことをやっています(図32~35)。

### 太陽のエネルギー:核融合

Institute of Sustainable Science



陽子  
陽電子  
核融合  
中性子  
陽子

**太陽の燃焼**

中心温度: 1,500万度  
反応時間: 100億年  
燃料: 水素

**人工の核融合**

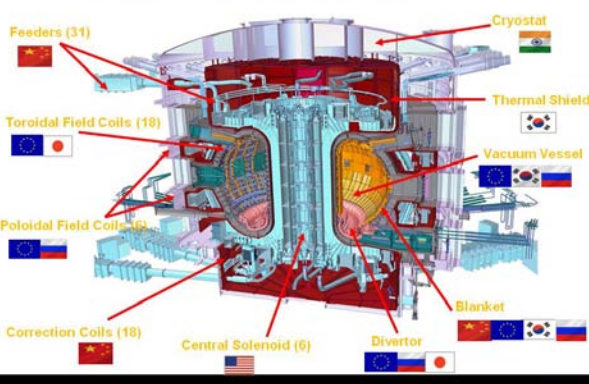
温度: 2億度  
反応時間: 1秒  
燃料: 水素の一種

重水素 トリチウム  
燃料 1g

ヘリウム 中性子  
石油 8t

32

### 国際協力で作る核融合炉ITER



Feeder (31) | Cryostat | Thermal Shield | Vacuum Vessel | Blanket | Divertor

Toroidal Field Coils (18) | Correction Coils (18) | Central Solenoid (6)

Labels: China, India, South Korea, EU, USA, Japan, Russia

33

皆さんのお家でも着々と消費者レベルの商品開発が進んでいるのと同じように、最初のエネルギーをつくるって言うても、さっきも言ったように保存法則があるんだけど、新しく商品として売り出そうというところでの大きな規模の開発は進んでいます。上手くいくかいかないか、正直言ってわかりません。技術的には大体上手くいくけど、

### 核融合炉ITERの建設(フランス)

ITER Site after Construction

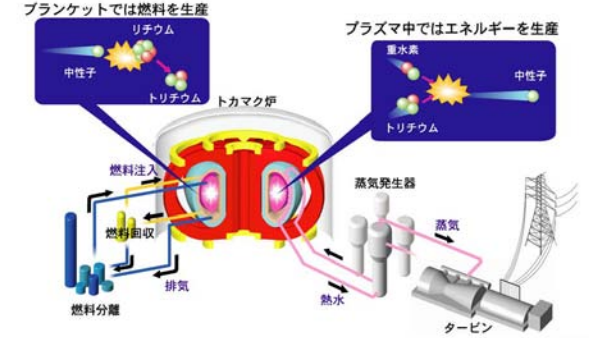


PF Coil Winding Building | Old IIC Building | Power Supply | Tokamak Hall | Cryogenic System | Hot Cell | Cooling Towers | Control Room | Present Headquarters Office Buildings | Parkings

34

### 核融合発電の原理

Institute of Sustainable Science



Blanketでは燃料を生産 (リチウム, トリチウム) | Tokamak炉 | プラズマ中ではエネルギーを生産 (重水素, トリチウム, 中性子)

燃料注入 | 燃料回収 | 燃料分離 | 排気 | 蒸気発生器 | 蒸気 | タービン | 熱水

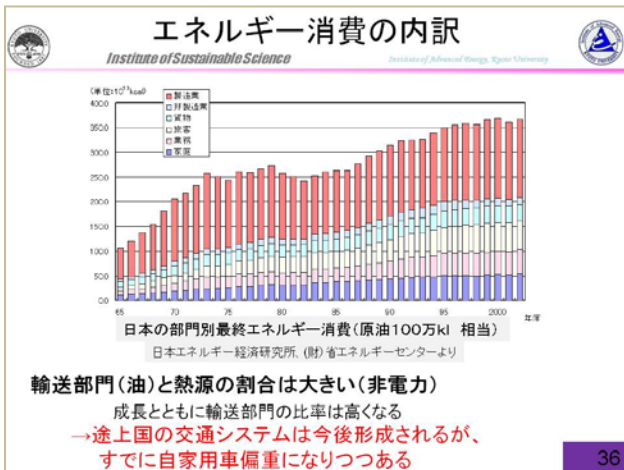
35

お値段が高いので、それがその先に使っていただけのようなものになるかはわかりません。今、国際協力で核融合反応を起こす実験装置をフランスでつくっています。実は日本でもつくろうと思ったのですが誘致競争で負けました。日本とアメリカとヨーロッパとロシアと韓国と中国とインドという国々が材料を持ち寄って、たった1個だけ実験装置をつくっています。これが、大体2020年ぐらいですから、あと10年かからないで動き出します。「何だ、そんなものもあるのか」って、「騙された」って言われないようにしてください。こういうものも進んでいます。

もちろんこれだけではなくて、太陽光、風力がこれからどの程度進歩するか正直言って微妙なところなんですけど、まだまだ、実はエンジンの発電機とか燃料電池とか細かいものを含めて、いろいろ新しい技術がこれからも出てきますので、その辺は気を付けて見てください。とりあえず、核融合装置は今つくっていて、着々とできていますので、動いたり動かなかったり、失敗したりいろいろあるかもしれませんが、一つのエネルギー

オプションとしてあると思って見ていてください。と言っても、そんなに難しいものではないです。太陽と同じで、実はドーナツ型の入れ物なんですけど、この中にピンクで書いてある、プラズマっていう名前が付いています。これが燃えます。燃えるっていうことはどういうことかと言うと、結局燃えて熱を出すので、最後はこれが蒸気になって、それでタービンを回して電気をつくる場所は火力発電と同じです。原子力発電とも同じ。でも、正直言って、これではつまらないと思っています。だから僕も、皆さんにこうしてお話ししながら、将来のエネルギーってどうなるだろうって一生懸命考えています。

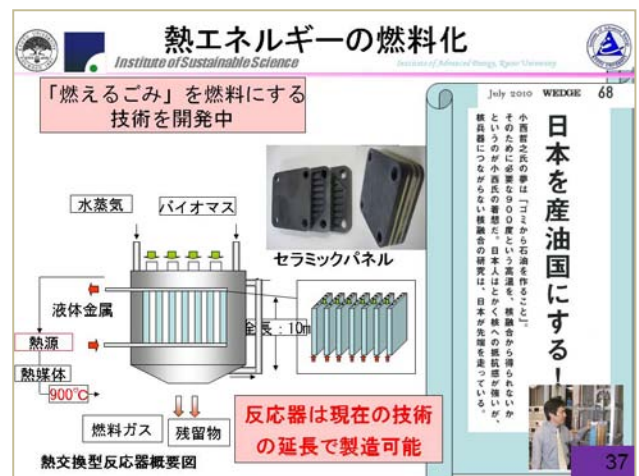
一つには、さっきも言ったように、電気は太陽光でつくっても風車を回しても、どこからつくっても電気なんですけど、大体エネルギーって、まず、製造業でそれでもまだ半分ぐらい、だいぶ割合は減ってきているんですけど使っています。で、さっきも言ったように、これが大体、電気であるから動力、それから熱も使います。それから、家庭量なんて大体これっぽっちなんで、一生懸命僕らが節電してもたかが知れているんです。で、いろいろな人たちがいろいろなエネルギーの使い方をします。



とにかく、輸送部門っていうのがむしろ増えていて、これが減らせない。もちろん、電気は電車にも使うんだけど、残念ながら電車って、今、恐ろしく効率が高くなっていて、ブレーキでとめるときに、加速に使った電気をほとんど全部回収しちゃったりするぐらいですから、電気はあまり使わないんです。依然として、車と飛行機と船は、特に飛行機と船はどうやっても、電気で動かそう

と言うとちょっと無理なんで、結局のところ、今、油と熱の部分はどうしようもないっていうところがあります（図36）。

手前味噌で、ちょっと報告させてください。実は僕は、ゴミを燃料の油に変える研究をしています。実験室ではうまくいっています。売れるかどうかはわかりません。何でこんなことをやっているかって言うと、この国で油ができれば資源の心配はいらないし、ゴミ処理の問題もいらないうことで考えています。実は、こういうものって、ちょっと新しい材料とちょっと新しい化学反応でやればできるんです。お値段的に安くなるかどうかはよくわかりませんが（図37）。



例えば、これはさっきも言った核融合みたいな熱源ですから電気がつくれるんですけど、その熱エネルギーを使って工業利用をしたり燃料をつくったり、あるいは、その同じ熱を使って水をつくったり、こんな使い方がいろいろできます。原子力発電なんかも特にそうですが、今、特に作りたいていう国は何をやっているかって言うと、電気が欲しいっていうこともさることながら、水が欲しいっていう国が多いんです。実は、水も人類にとっては重要な問題なんです。

これも、僕がもと話しているのと同じで、ないかって言うと、それはこの星の表面は70パーセントが水で覆われているので、水が足りないわけではないんです。きれいな水が人に届かないだけの問題なんです。そこをやっているのは何かって言うと、水資源じゃなくて、水をつくるテクノロジーの問題なんです。どんなに汚くても水は水。運べばいいし精製すればいいんです。ということで、

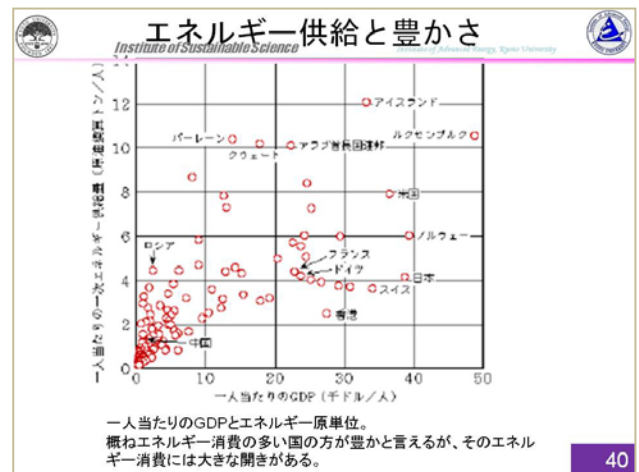
クウェートみたいにお金をガッパガッパ持っているような国は、さっさと石油を使って海水から水をつくってしまいます。エネルギーがあれば水はつくれるんです。

こんなような問題があって、要するにエネルギーって、やっぱりいろいろなところで生活を支えているので、そのためには電気だけでは駄目で、いろいろなかたちでこれから使われるエネルギーのかたちを考えて社会建設に役立てていかなきゃいけないということです。先進国に関して言うと、水のことも見ながら、とりあえず資源をリサイクルしながら、車とか飛行機とか、いろいろなエネルギーをつくって使っていかなきゃいけないっていうところはあるんです。さっき言った分散電源です。発電機にも燃料があるので、これでクリーンエネルギーっていうのは結構おかしくて、結局石油か天然ガスか、将来的には水素ですが、そうするとその水素ってどこからエネルギーを持ってくるんだって問題があります。何かのエネルギーが無いと、分散電源には発電能力が、発電機とか燃料電池とかなかったりします。



そういうところで、これが先進国型だとすると、実はこれは世界の中では少数派で、これからむしろ国づくりをしようという途上国が主役で、農地をつくったり住宅をつくったり工場をつくったりする、このプロセスで新しいエネルギーシステムを導入してもらわないといけません。また、そこにこそ、エネルギーをつくるほうで言うと、ビジネスチャンスがあるわけです。で、さっきも言いましたように、その選ばれるべきエネルギー技術っていうのは、実は皆さんが先進国で先に選んでくれたものが、結局商品として成功するので、それが途上国にも普及することになる(図38、39)。

これは例えば、何も好き好んで、低燃費の車、最先端の車でなくてもいいんですが、なぜか途上国で売れるのは日本と同じ新車ばかりとかいうことが起きています。今でもあるんですけど、ブラウン管のテレビじゃなくて、なぜか最初から液晶テレビが売れたりする。これもわれわれがつくって、この国の人たちが選んだものが世界に売っていけるというスタイルの一つの証であります。逆に言うと、この国でできてガラパゴス化したものは外に売れないっていう傾向でもあるわけです。今日はこの図で終わりにしたいと思います(図40)。ということで、実はエネルギー供給と人の豊かさということで、最初はとにかくエネルギーがないと豊かになれない。健康な生活が送れないって言いましたけど、例えば、同じ1人当たりの収入に対してのエネルギーの使い方って、こんなに差があるんです。



この辺は寒いから多少同情してあげるにしても、日本ってこの中で、超お金持ちでいて省エネな人

たちなんです。同じお金持ちでもエネルギーをバッカバッカ使うような人たちもいっぱいいて、この辺は、一人当たりのGDPだとそうでもないんですが、エネルギーをバッカバッカ使う。これは油があるからしょうがないんです。実はこの人たちも、別のかたちでエネルギーを、地熱をたくさん持っているので多分そういうことだと思うんですけど。

ということで、確かに豊かになるにはエネルギーがいっぱいいるのは事実。だから、これも全体的に右上に向かっているんです。要するに、お金があるところはエネルギーをいっぱい使っているということではあるんですけど、その中でも幅があって、日本って割と少ないエネルギーでお金持ちになるのが得意な人たちなんで、これをぜひ世界に広めていただきたいと思います。

というのは、やっぱり僕らがエネルギーをつくるっていうのはすごく危ないんです。エネルギーをつくるほうの人間って、要するにエネルギーがほしいって言われるからつくんですけど、つくると経済成長します。それで何が起きたかって言うと、人口が増加する。そうすると、エネルギーがもっとほしい。足りないよって言うともたつくる。この繰り返しでやっていたんで、だから人口ってどんどん増えてきた。エネルギー消費が増えなかったら、エネルギー生産が増えなかったら人口は増えてないんです、人類って。そうでしょ。だって、ご飯をいっばいつくって、それは実は、ものはどこからかと言うと、肥料なんかつくって耕して、それでエネルギーがいっぱいできたものだから、また人口が増えたんです。

これをやっていたら、当然最後は破たんしますので、どこかでこれが、人口がそこ一定で、経済成長はどうなるかちょっとわからないんですけど、それでいてエネルギーがちゃんとあるような、そんな世の中にいかないと、ただ単にエネルギーが欲しいからつくるっていうパターンは、もうそろそろ限界がきています。人類の人口が、本当に100億ぐらいで留まってくるのかわからないんですけど、増え続けたら破たんします。ということで、エネルギー供給は技術によって解決できるんですけど、それは結局社会の選択の問題ということにしたいと思います。

実は僕は、昔風のエネルギーの使い方なんてい

うのも研究してまして、エネルギーとはちょっと違うんですけど、焼畑とか、これってすごくサステナブルって言うんですか。一見、山を焼いたらちやうから暴挙のような気がするんだけど、定期的に山を更新することで、実はこの辺りにある東南アジアのいろいろな国は何千年も森林を維持してきました。これはコミュニティの知恵のなせる業でして、「この山は神様がいるから燃しちゃいけないよ」とかいうのはちゃんとあったりしてやっているんです。そういうのがあると、さっきのイースター島みたいに滅びないで済むんじゃないかと思います。そんなところで、この国の知恵を少し、エネルギーでも世界に広めたいと思っている次第でございます（図4 1）。



#### ◆質疑応答

会場：普通では聞けないような話だったので、非常におもしろく聞かせていただいたんですが、ご専門は核融合の研究でよろしいですか。

小西さん：はい、そうですが、いろいろやりますとしか。

会場：そうですか。核融合の話がちょっと出てきて、私自身は聞きたかったんですけど、私たちが若いときに、最初にエネルギー危機が起こったときに、もうすでにそのころ核融合の実験っていうのはいろいろやられていたんですけど、その少し前まではすぐできるみたいに言っていたけど、そのときにはできなくて、それからもう何十年もたっているんです。

で、今、先生の資料を見ると、2025年ぐらいには核融合が、発電量が立ち上がってくる絵になっ



ていたんですけども、これまで主としてそんなに長くうまくいかなかったポイントが何で、それから、25年っていうとかなり現実には実用化が目に見えているのではないかと思うんですけども、今現在の工業化するまでのネックになっているところ、あるいは課題が何か。昔の難しかった課題と、今現在、成功させる上での課題があれば教えていただきたいと思っただけです。

小西さん：ご質問ありがとうございます。一つには、やっぱり1950年代、60年代にすぐできるっていうのは、いくらなんでも夢を見過ぎていたっていうのはあるんです。とは言っても、例えば燃料電池の原理が見つかったのは、やっぱり19世紀だし、太陽光発電だって、というか光電池だって、実はもう19世紀には原理があって、使っていた。カメラの露出計なんていうのも、あれは立派な太陽電池ですけど、あんなものは100年前からあるんです。

ということで、技術的にはある。やればできる。実験すれば何とかなる。だから、実は先ほどお見せしたのも、技術的に核融合は絶対できます。そういう意味では、さすがに甘すぎたのはともかくとして、やればできるんですけど、商売にならない。

というのは、人間が月に行けるか。1969年に行っていますから行ける。では、人類が1度1人、1人っていうわけじゃないけど月に行ったからって、みんなが行けるようになったかって言うとならない。

電気って、さっきも言ったみたいに安いですし、しかも枯渇するって言うたらみんななどんなに高くてもお金掛けてつくろうよって言うけど、さっき言った原理によって、実は他にもいろいろあるんで、「できたらいいけどできなくても困らないよね」っていうものの一つになっちゃったんで、実は予算もついてないし、その程度しかやってないっていうこともあって。だから、核融合は技術的にはできるけど、そこから先、使っただけかどうかの勝負っていうのは、実はまだこの先、20年、30年後ぐらいに勝負があると思っただけです。

他にも、例えば、超伝導なんかでもいろいろあるんです。超伝導送電であるとか、他にもサハラ

砂漠に太陽電池を並べて日本まで電気を持ってくるとか。技術的にはやってやれなくはないけど、それってもしかしてばかなんじゃないとか、商売にならないんじゃないとか、危ないところを一体何カ所通るんだよとか、いろいろな他の問題があって。

だから、技術ができるって言うことと、世の中で本当に役に立つってことのギャップってそこにあるんです。でも、役に立ちそうだからそこを頑張って技術はつくる。だから、核融合もそういう意味で言うと、技術的には多分できます。かなりの確率でできます。いろいろな問題があって、お金を掛けるとその分だけ多少解決できるんだけど、でも本当にすごく安くなって使ってもらえるか。

日本でつくって世界で唯一になってしまった高速増殖炉のもんじゅなんかもそうで、危ないところもあるんですけど、動かせば動くけど、それが本当にこの国の電気を支えるようになるかって言うと、「さあ」って言うてみんな首をかしげちゃう。そんなような技術は、実は太陽光でも風力でも海洋温度差発電でもいっぱいありまして、今のところは、そのいろいろな候補の一つのレベルに核融合があると思っただけです。

会場：2点お聞きしたいことがあるんですけども、太陽光発電にしろ、風力発電にしろ、出力変動が相当激しいというお話を伺いました。このような不安定な発電源、電力源が既存のシステムに対して、かく乱なく飲み込める量はどの程度なのか。どの程度の技術で飲み込めるのかという点がまず第一点。

それと、今後、個人が電力源を選択する時代が来るんじゃないかっていうお話だったと思うんですけど、「消費者による電源確保ないしは消費者によるエネルギー選択っていう時代が来るでしょう」ということなんですけど、これは本当に、結果的に省資源、省エネルギーになるのかなって。相当、イニシャルの資源がいるんじゃないかっていうような。お金の問題はともかくとして、相当複雑なことをやっているもんだから、かえって七面倒くさい話になるんじゃないかなって、そういう気がするんですけどもいかがでしょうか。

小西さん：大変、本質的な質問でありありがとうございます。

まず、一番目のご質問はすごく簡単というか、よく言われているのは、10パーセントが限度って言われています。でも、これは私の話の中でも申し上げました、大規模電源があって、大電力会社がコントロールしている範囲に太陽光とか風力がドーンと売りつけられたら、「それ以上はごめんですよ」と言っている。実は、これはもう全体で言えば揃えているんだけど、いくつかのところでは突破しちゃっています。ならしていつてそうだっていうわけではなくて。

例えば、北海道なんかだと、全体の電力消費量に比べて風力発電っていうのは、決して10パーセントとかとてもいってないんですけど、あるとき突然風が吹いたりすると、その出力が大きすぎるんで、もうこれ以上は受け入れないなんていうことはすでに起きています。太陽光でも同じで、太陽光発電って、実は一番効率よく電気を出してくれる。例えば、皆さんよくご存じの、秋晴れの真っ昼間、家庭では誰も電気を使わないです。工場は、さっきも言ったようにいつも同じように使っている。つまり、一番電気のいらないうきに電気をつくってくれるんで、実は、これですでにオーバーしてたりします。

ということで、公称10パーセント、ならして10パーセントと言いながら、現実にはそのピークがそれに近いと、ただちにちょん切らなきゃいけないという事実が起きています。

会場：その分は捨てちゃうんですね。

小西さん：その分は、受け取りを拒否すれば捨てることになります。太陽光で、屋根の上で電気が出て、誰も使うときは知りませんんだけど、今、これで出たものは国が買い取らなきゃいけないことになっているので。正直言って、メガソーラーの類い…ここにSさんの関係のいないですよ。あれは結構困るんです。

ということが、まずあります。だけど、ヨーロッパでは30パーセントぐらい、すでに入っていると言われています。これは、フランスで大規模に原子力をつくっているんで、それで穴を埋めたりするもんだから、実は一部の国、デンマークとか

で風力30パーセントのものも平気でできている。

つまり、これが私の話の主題でもあるんですけど、全体で見たらそうなんだけど、ローカルに風力で出た電気を、ちょっと周りで使ってしまうとか、足りなくなってきたときにその周りにつくった電気で、発電機でつくった、燃料電池でつくった電気で穴埋めをするっていうことをやると、これはもっと入ります。

会場：バッファがあればいい。

小西さん：バッファって言うんですか。いきなり、大規模電源と末端の間を直結っていうんじゃなくて、コミュニティって言うんですか。大体、200軒ぐらいから1,000軒ぐらいの、消費者同士で電気を融通するようなシステムにすると、もっとたくさん太陽光とかは入ります。今、そういう可能性を検討しているっていうことです。

2つ目のご質問ですね。

個人で、資源無駄じゃないか。はっきり言って結構無駄です。むしろ逆に、大規模に発電所を、それもでかくすればするほど、そんなに発電所は大きくなくてすむのに出力はどんどん増やせるから、いわゆる、マスプロダクション効果で、だから、大きな発電所をつくって大量生産して電気をいっぱい使うっていうことでコストを下げてきた。実はそのほうがずっと効率的にはいいです。

ですけど、これも皆さんが、「そうは言っても停電すると困る」とか、「おれは節電しろって言われるけども使いたい」とかいうことを言い出すと、自分で自分の電源を持ちたいとかいう話が出てくる。ただ、これも、そういうことで資源的には決して得ではないかもしれないんだけど、原子力発電所だったら30パーセントしか電気ができなくて70パーセントは捨てる。火力だともう少しましだけど、やっぱり半分ぐらい捨てる。だけど、コージェネレーションと言って、湯沸かし器と発電機が一緒に動いている、一緒に使えるようなものと効率的にはよくなる。

ハイブリッド車もそうなんです。どうやっても、あれでガソリン代を取り戻したりできなくて、結構いろいろなりチウム電池とかネオ何とか磁石とか難しいものをいっぱいつけるんで、実は資源をいっぱい使うんだけど、それでエネルギーの消費

を減らそうじゃないかっていうのは、ある程度、一つの風潮ではあります。今後どうなるかよくわかりませんが。資源的に得かどうかわからないけど、使いまわしができるようになるっていうのは、ある意味ではメリットかもしれません。

以上