

第20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 (2)
 一人と環境へのリスクと費用：原子力と再生可能エネルギーの例を通してー

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4月9日 (水) 18:30~20:00

会場 サロン・ド・富山房 Folio

参加者 38名



1. はじめに

たいへんたくさんお出でいただきまして、ありがとうございます。顔を覚えていただいているかどうか分かりませんが、前回、私はしゃべりたいことが実は山ほどあって、申し訳ないのですが、私の学校の講義で1学期14回でしゃべる中身を強引に2回でやってしまおうという大胆不敵なことを考えたのがちょっと無茶だったということで、事務局にあとで怒られました。今日は、私よりは皆さんにしゃべっていただくというぐらいのつもりでいます。本当はそういう方が私も好きでは

えてしまいました(図1)。この間のものを使い回したのがばれてしまいますが、今日はエネルギーのリスクと、これは環境サイエンスカフェですので、環境の話或少しスタンスを置いてやりたいと思います。もう一つは、エネルギーの選択の話です。

実は、いくつかいただいたご質問については、時間があればなるべく答えますが、皆さんはエネルギーの話になると、効率やコストについて色々聞いてくださるのですが、結論からいうと、そんなこと気にしなくてもいいです。コストは自分の懐が痛むときだけ大いに考えてください。でも、基本的にはどうせ自分で考えるのだから、自分で一番安いものを選びますから、その感覚でやっていただいてもいいです。つまり、自分で高いなと思ったら、そんなものは使わないと言ってくれればそれで結構です。あるいは、高くてもいいと思ったら、それを使えばいい。だから、実際にコストの話はあまり重要ではありません。

私が今日ここでお話しするのは、リスクや環境問題や値段に表れない方の、値段に表れないんだけど、エネルギーを選ぶ時に考えなければいけないかなとか、だまされないようにしてくださいねという、そういう話を主にさせていただきます。この間は、コストはコストで、エネルギ



あります。

しょっぱなにまた一つお詫びしなければなりません、お手元の資料でタイトルを最初から間違

一を持って来るまでとか、後始末の方にお金がかかるのですよ。そこが見えていないんですよという話をしたかと思えます。ここには実は皆さん、このあとの懇親会でもご質問いただくとお思います。色々私よりもよっぽどご存じのプロの人がいっぱいいるので、少し手加減をするのをやめまして、ちょっとその辺の話をしたいと思えます。皆さんの苦手そうところから攻めようという、ちょっとインチキな先生根性が頭をもたげているので、そういう形でやります。

2. エネルギーのリスク

ちょっと今日のお話ですが、エネルギーというのは、要するに、あってもなくても、ないと困るというのは、皆さん、分かってくさっているわけですが、あっても、じゃあそれですごくうれしかといわれると、いや、それは電気が点いているから、皆さん、お手元のものも見えるし、うちに帰ればご飯も食べられるけれども、じゃあそれって、エネルギーってそんなに無制限にいいものかということ、実はそうでもない。もちろんなかったら困ります。だけど、あるかないかではなくて、これはこの間、話しましたが、問題なのは、足りなければつくればいい。つくった結果、何が起きているか。ろくでもないことがいっぱい起きてきたということがあります。それはまことに申し訳ないのですが、もともと人類の大昔の祖先が何百万年前か知りませんが、ウホウホ言っていたお猿さんが火を使うようになった時から、そいつが悪いんですと言ってしまう終わりですが、われわれ自身が実際にエネルギーをつくって、使って、捨てている。その中で、必ず、何か人に悪さをしている。というのは、そもそも人類は進歩するために、何か新しい技術をつくったりするために、必ずそれで新しい死に方ができてくる。火なんか使わなかったら、焼け死ぬ人なんかいなかったんですよ。実際、火は危ないんですよ。僕も今日、また新しい学生が来たので、とりあえずけがだけしないでください。死なないでくださいと、真っ先にそれからやらなければならない。新しいものを使えば、必ず人が死ぬとか、けがをするということが起こります。電気を使うから感電なんかするんです。もちろん電気を使わなければ、感電できません。原子力を使わなければ、放射線障害な

んか起きないんです。放射線障害というのは、なかなか見ることはありませんが、もともと石器で石を投げたら、動物に当たってころっといっちゃうのを見たら、ああ、これって使えるなと思った。このへんもやっぱり人類の文明のもともとだと思いますが、べつに石が悪いわけではありません。それを使って、何かやろうとしだしたところで、人が何か死んだり、けがをする。要するに、すべての科学技術が、人の死に方を必ずつくります。増やしているとは言いません。その結果として、死なないで済む人がもっと増えたんだったら、その方がありがたいからやってきたわけです。そういうものばかりなわけです(図2)。

エネルギー問題は心配?
Institute of Sustainable Science

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。
→エネルギーは届かないことが問題。
「あるかないか」ではない。→ロジスティックス
- ・足りなければ、作ればいい?
→科学は、その要求に答えてきた。

でも、その行き先は、科学には決められない。任せられない

- ・あっても、いろんな理由で人に(必ず)害を与える。
(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)

→でもだからと言ってエネルギーを使わなければならないのか?

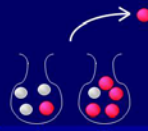
2

だけど、だからといって、被害が一方では減るからといって、火を使うおかげで動物に襲われたり、寒さでつらい思いをしたりしなくなる分だけよかったはずなんだけど、必ず火を使えば、やけどをしたり、火事になって死んだりする人が出てくる。これをどうやってコントロールするかが、人類の知恵の見せ所なのかなと思います。だからエネルギーを使わなければならないという答えは、とりあえずないわけです。だけど、じゃあどうやって使うか。どうせやるんだったら、なるべく痛い目をみないように、被害が出ないようにしましょうというのが、今日の基本的な話ではあります。

3. 確率的リスクの考え方

そこで問題です(図3)。とりあえず、皆さんにちょっと頭をほぐしていただこうと思えます。確率論が得意な方、手を挙げてください。いませんね。分かっていたんですが、何しろ日本では、大学

最初にひとつ問題...



1. 大量の赤い玉と白い玉がほぼ同数、多数ある。A
これから10個を取り出して中の見えない袋に入れる。
これから球を一つずつ取り出して、色を見ます。

1) 袋の中に「赤い玉5個、白い玉5個はっています。」と
いわれた。1個ずつ取り出して、4個赤が連続したとする。
5個目を取り出すとき、色の予想とその理由は？

2) 同じとき、何も言われなくて10個玉が入った袋を渡された。
4個赤が連続とする。
5個目を取り出すとき、色の予想とその理由は？

3

に入ろうとすると、数学の試験を文系の人も受けなければならなくて、文系の人でも必ず確率論だけはやらされるようです。でも、なんでそれをやるのか。僕は文科省の手先というわけではありませんが、実は、確率論は、われわれは結構、日常生活でいやというほど見えています。痛いほどみている。それを考えなかったら、実はとんでもなくばかなことをしてしまう。そんな難しい話ではありませんよ。全員がギャンブラーになるわけではないと思います。すみません。ここにいる方は全員ギャンブラーです。われわれ、私自身を含めて。例えば、今日、晩ご飯にカレーを食べようか、とんかつを食べようか。どっちかがおいしくて、どっちかがまずいとか、必ずこの手のギャンブルは皆さんやっているんです。

1. 大量の赤い玉と白い玉がほぼ同数ある。これから10個を取り出す。

1) 袋の中に「赤い玉5個、白い玉5個はっています。」といわれ、
1個ずつ取り出して、4個赤が連続したとする。君が5個目を取り出すとき、色の予想は？

答1) 杓子定規にやれば、残り6個のうちの5個が白だから、
「確率的には5/6の確率で白。」

2) 同じとき、何も言われなくて10個玉が入った袋を渡された。
4個赤が連続とする。君が5個目を取り出すとき、色の予想は？

答2) 同じく、任意の10個の中から4個を取り出してすべて赤だった
のだから、元の集団は赤が極めて多かったと考えられる。
(どのくらいの確率で、というのは十分計算可能)

(全部赤のとき、9個赤の時の $\frac{9 \times 8 \times 7 \times 6}{10 \times 9 \times 8 \times 7}$ 、8個赤の時...と考える。)

本当に5個赤だったのなら、 $\frac{5 \times 4 \times 3 \times 2}{10 \times 9 \times 8 \times 7}$ 2%の状況だったことになる。
それなら、次が白の確率は5/6だが、
よって、「サンプリングの結果から、赤が多かった確率が高い。」

4

そこで、そんなに難しい数字を考える必要はなくて、みんな必ず何かを選択する時に、何らかの形の確率というものをだいたい考えるということなんです。問題があります(図4)。たくさんの赤い玉と白い玉があると思ってください。この中から適当に10個を取り出して、袋に入れます。すみませ

ん。これ、授業ではチョークを使って実演するんですが、ここにはチョークがありませんので、頭の中で想像してください。袋の中に10個入れます。そこから1個ずつ取り出していく。それだけのことです。袋の中に10個あります。

とりあえず、まず1番。袋の中に赤い玉と白い玉が5個ずつ入っています。取り出します。皆さんに袋を渡して、実際にやってもらっていいのですが、1個目取り出したら赤でした。2個目を取り出したら赤でした。3個目取り出したら赤でした。4個目も赤でした。さて、5個目の色は何色ですか。赤だと思う人、手を挙げてください。いないですね。いいんですか、本当に。だいたいこういうのって、だいたい多数決ではありませんし、少しは少数意見が出るものですが。では、白だと思う人、手を挙げてください。ありがとうございます。恥をかきたくないから、自信がない人は手を挙げなかったようですね。もちろん、これは白の方が正解です。

2番。同じことをやります。袋の中に玉を10個入れてありますが、これをまた皆さんに渡します。袋の中にごそっと手を入れて、玉を出します。1個目が赤でした。残りは9個ですね。2個目を取り出すと、また赤でした。3個目、4個目が赤でした。はい、残りは6つあります。5個目の色。赤だと思う人、手を挙げてください。自信持って、手を高く。半分ぐらいおられますかね。手を挙げた方、理由を述べてください。勘でいいですよ。確率を計算したとは、絶対に思っていないですから。なんでそう思ったのか言ってください。そのメガネの方、どうぞ。

会場：すべて赤しか入っていない

はい。そうそう。すべて赤しか入っていないので、そう思った。他の理由の方、いますか。これは学生に聞いても面白いですよ。なんとなくそんな流れじゃないとか。全体的な言い方をするんですが、これ、実は計算を絶対にやれとはいわないのですが、真面目にやると結構面倒くさいです。

要するに、真面目にやると、中に何個あったんだろうと考えるわけです(図5)。最初から、もともと赤10個で白が0個だと、当たり前ですが、最初の4個は赤で、あと6個出しても全部赤です。

律儀にやってみる？赤4個が出る確率は、元の個数の場合ごとに

赤10:白0だったら	4個赤、は100%出る。	次の赤も100%	。
赤9:白1だったら	4個赤、は60%で起こる。	次の赤は 83%	。
赤8:白2だったら	4個赤、は33%で起こる。	次の赤は 66%	。
赤7:白3だったら	4個赤、は17%で起こる。	次の赤は 50%	。
赤6:白4だったら	4個赤、は7%で起こる。	次の赤は 33%	。
赤5:白5だったら	4個赤、は2.5%で起こる。	次の赤は 17%	。
赤4:白6だったら	4個赤、は0.5%で起こる。	次の赤は 0%	。
赤3:白7だったら	4個赤、はありえない。		

「赤が4回連続したってことは、結構もともと赤が多かったんだろう」
⇨よほどなことがなければ、赤4回連続ってないよね？

このサンプリング試験から、元の赤の期待値は9個。

次は、まず赤でしょ。(約83%の確率で)

(これが成立しなきゃ、世論調査なんてありえません！！)
もし言われたことと違ったら、何かの間違いか、だまされたか？

5

当たり前です。もともと赤が3だったら、ありえないからそういうことはない。ありそうなケースを全部足し合わせていくと、だいたい80パーセントぐらいの確率で、結局、赤が多かったんですね。これでなかったら、世論調査なんかできないですよ。この間の都知事選もすごかったですよね。秒殺でしたが、ちゃんと出口調査をしていて、もちろん皆さん、出口であなたはどちらに入れましたかとか、誰に入りましたかと聞いたもののサンプリングの結果と、開票結果を合わせてやってしまうわけですから、何も東京都民全員の有権者の意見を最初から聞いているわけではありません。ある程度のサンプルを採って、だいたいこんなふうだったから、赤が多かったのですね。それができるからこそ、これができる。これは実は、僕らがすごくやっていることなんです。

一例を挙げます。僕の知り合いですが、とある茨城県の日立市にいる人ですが、大変な愛妻家で、それはどうでもいいのですが、お子さんが5人いるんですね。一人目が男の子、二人目も男だったんです。三人目も男で、さて四人目を奥さんが妊娠した。ここまで男だったんですが、次の子を男だと思ふ人、手を挙げてもらえますか。半分ぐらいですか。理由を述べよ。

会場：女の子が欲しかったから、5人目の子どもがいると思うので、男の子だと思います。

小西さん：ちょっと待って。論理が。三人目まで男だったんだよ。四人目は。

会場：全員で5人いらっしやるとかがあったの

で、お父様は女の子が欲しいから、四人目が男で、五人目にやっと女の子が生まれたのだと思います。

そこまで深読みするか。それはすごいな。では、めでたく女の子が生まれると思う人。ちゃんと理性のある日本人の大人だったら、男と女が生まれる確率は半分半分だって、分かっているはずなんですけど、現にこうなんですよね。理由を考えるんですよ、みんな。どうも男しか生まれないのかねというのと、今度こそ女でしょうというのと、だいたい色々な理由があって、皆さん、理由を付けて、必ず次は男だろう、女だろうと決めるんです。どうも日立の人は、何か女の子が確率的に多いとか、都市伝説的なものも色々あるんですが、この手の話って結局、なんなのか。ちょっとこの話でもう一度戻ってみましょう。

もともとが、袋の中に5個と5個、赤と白入れました。ももとの母集団、赤と白の玉がいっぱいあるんですね。合計5個と5個入れましたというって、絶対、それが正しければ4個赤が出たら、残りは白しか残らないよなという推論は正しいんだけど、言わないで、だいたい本当にとってきたかどうか調べる必要もないし、言わないで袋を渡されて答えを類推すると、赤だったはずで、白だったはずが赤ってちゃんと答えが逆転している、このところを考えていただきたいんです(図6)。

しかし、現実社会で起こることは、すべて確率問題でなく、その確率をどう見るか、人がどう信じるか、という問題。

1)と2)では結論が逆転することに注意。

1)で言われたことを信じなかったり、聞き落とししたら2)のケースに逆転する。現実世界では、たとえ偶発事象でも、内訳を知らされない)の方が多い。まして、偶発とは限らない。

結局、「安全」「リスク」とは、「確率」でなく、その「確率をどのように信じるか」の問題になってきます。「経験」で判断。

「あそこの台はでる」とか、「わたし、モテ期?」とか。「つき」も、それを信じるかどうか、個人の経験の結果。

スロットマシンも同じ。宝くじも。ずっとはずれが続いて、いつか当たる。1)のケースと思って騙されているんですが。確率自体は確かでも、それがいつあたるのか?偏りは?誰に?

6

僕たちがこれはこういう確率で起きますといわれている現象というのは、この中身の見えない袋を渡されているんですね。この時に、ここには赤と白が5個ずつ入っていますと言われたんだったら、ある程度、残りからして検討がつくということがあります。じゃあ、その人の言われたことを本当に信じるか。いや、入れ間違えたかもしれないし、嘘をついているかもしれないし、色々な

ことがありうるんです。本人だって分からないことがあるんですね。それはもう、われわれが安全とかリスクとか、やっこの話になってくるんですが、この原子炉は大丈夫です、百万年に一度しか事故りませんからと。よく聞く話です。たまたまその一発目に当たってしまったらどうするんだよと思うじゃないですか。いや、それも私も技術屋の端くれだし、日立さんだって、東芝さんだって、何とか重工だってみんな真面目につくっているから、本当に百万年に一度しか壊れないものをつくっているんです。つくっているつもりでいるんです。だけど、中にはできの悪いやつが混じっていたりとか、そうつくったつもりなのに、そうではないものが混じっていたりするんですね。これは誰にも分からないのです。分からないけれども、結局、こういうもの。言われた通りのことをそう信じるかというのと、その確率をそのまま信じるほど、僕らもそんなにおめでたくないの、男女は半々ですなんていわれて、だれもそんなことを考えない。みんな理屈を考えるんです、ここで。これだったら、絶対にうちなんか生活環境に問題があって、食べるもの問題があって男しか生まれないんだとか、ちなみにその方たちは、ちゃんと4人男で、5人目は女の子でした。4人目で本当に落胆したんですが、やけのやんぱちでつくっちゃったら、今度はなぜか女の子でと。

われわれでも、ここにいる人は真面目だから、そんなパチンコなんかやらないよねということですが、あそこの台、出るよとか。女の子でも、私、ここに来るまでに3回もナンパされちゃったとか。いや、モテ期っていうことはあるんです。ツキは本当にある。でも、あるかないかって、こういうことって信じるか信じないかって、自分で実際そうだったからそうだと信じているわけですよ、これは。ツキって本当にあるなど、僕も思いますが、それは僕はたまたまついていた時期だったとか、極端に不運なこともあって、そういうことがあると信じる。スロットマシーンをやったって、ギャンブルをやったって、宝くじやったってそんなんです。もっとばかばかしいこと、ここに来るまでに交差点が5個あって、そのうち5個とも赤信号で引っかかっちゃったという、こんなことだって十分あるわけですよ。われわれの経験から考えてきて、実際、確率減少であるかどうかなんてい

うのは、それにしたがって勝手に僕たちは実は判断している。

安全性って、いったいなんだろう?
Institute of Sustainable Science

「リスク」が許容範囲であること
 → $\text{リスク} = \text{ハザード} \times \text{確率} < \text{許容範囲}$ (支払ってもよい対価)
 - ベネフィットが大きければリスクは許される?
 - どんなに利益があっても許容できないリスクがある?

リスクはどのように減らすか?
 - 確率を減らす
 - 被害(ハザード)を減らす

- 許容範囲を見直す?

7

確率で本当に決まっていることがあるのか(図7)。いや、サイコロを振れば、いかさまでなければ、その辺はいいんですが、実際の安全性の話やリスクの話っていうのは、とりあえず確率で語られてしまうんですよ。なぜかという、リスクっていわれた時に、原子炉の話をしました、僕たちだって、放っておいたら死ぬ確率は何%か知っていますか。知っていますよね。100パーセントなんです。今まで生き延びてしまった人はいないので、一生に一度は必ず死ぬんですが、これが今日明日死ぬかといわれると、ここでいきなり確率が出てくるんです。これができなかつたら、生命保険という商売は成り立たないわけです。死ぬ方は、お金持ちが死んでも、貧乏人が死んでも、人間の命は一個しかないんですが、だいたい被害の大きさと起こる確率で考えます。

悲惨なことはわりと確率は少ない。細かい地震だったら、毎日起きています。地震計を見ると、たくさん振れています。さすがに大地震、棚から物が落ちるぐらいの地震は1年に一回ぐらいです。何万人も亡くなるような地震だと、さすがに千年に一度とかいいながら、この国はもう少し多いですね。この国の場合。百年に一回、必ず起きている。関東大震災が起きたり、阪神で起きてみたりとか、東日本で起きてみたりとか。さすがにだいたいこのリスクというものは、ハザードというのですが、被害の大きさに起きる確率をかけて、これがだいたい少なければ、このぐらいだったらしょうがないかという許してもらえる。

人間についてもそうです。だいたい人間の死ぬ数でいうと、ある一つの死因について、この国で

はだいたい3万人を超えたら問題になる。なんとかそれを減らそうとするけれども、1万人を割ってくると、そろそろそんなものは放っておいてもいいんじゃないかと。あまりそういうことを言っではいけません、色々な病気でも、だいたいそれぞれの病名ごとに1年間に死ぬ人は3万人ぐらいです。僕が子どものころは、年が分かっていますが、交通事故で1万何千人の人が毎年死んでいました。今、7千人まで減りました。まだ頑張らなくて当然減らそうとしていますが、減ってくれなければ困るのですが、リスクというのは、これは減らさなければならぬと思ったら減らすんです。減らすにはいくつかやり方があって、確率を減らす、被害を減らす。被害といっても、人が死ぬ時は死ぬので、それ以上の被害はないので、数を減らすだけです、あとは許容範囲とみなす。結局、リスク管理といって、プロがやるのはこのような話なんです。

われわれとしては、これが受け入れられるかどうか。結局のところ、色々なものが世の中に出てくるのには、これが安全かどうかを許してあげるかどうか社会が決める部分があります。それについて、だからわれわれは全員が投票権を持っている。嫌なものは許してあげられないですから。そういうことをやります。

では、リスクとは？

Institute of Sustainable Science

1) たとえば「ガンのリスク」

- ・ガンが増えるというのはどういうことか？
- ・どういときにガンが増えるのか
- ・人は一回しか死なない

2) 許せるリスク、許せないリスク

- ・リスクへの対応
- ・保険と再保険
- ・対策と予防と緩和
- ・受け入れ可能なリスク
 - そこまで法、規制が保証する
 - つまり、すべての安全性は収斂する。
- ・地球温暖化問題
 - 結局、すべてのリスクは、「命ではかる値段」になる？

8

簡単な話でというのでしょうか、なんでエネルギーの話がここに飛んでいるか、最後にちゃんとまとめてフォローしますから心配しないでください(図8)。がんのリスク。がんが増えるというのは、どういうことか。どういう時にがんが増えるか。どっちにしても、人は一回しか死なないんですが、だいたい例えば、がんは依然として、すみませんが、ここにおられる方の中で3分の1ぐら

い、がんで死にます。僕も含めてですが、日本人の半分が、だいたいがんになります。結構、今は直るんですが、死ぬ理由としては、依然として3分の1ががんで死にます。嫌だよねと言いながら、どっちにしても、人は一回、何かで死ななければならぬので、他の死因を全部つぶしていった結果として、一番つぶしにくいものが残ってしまったので、がんが残った。でもこれも今、一番多かったがん、胃がんなどは、本当に一生懸命減らしていますよね。手術の技術も上がっているし、胃カメラ飲んだり、バリウムを飲んだり、色々なことをやって何とか減らしていきました。そうしたら今度は大腸がんが増えてきたり、肺がんが増えてきたりした。こんなことが起きます。

一所懸命、多いのは減らすんですが、色々なリスクを秤に掛けて許すもの、許さないものを分けている。死ぬのは許せないですからね。受け入れ可能なところまで、とにかくリスクは減らします。法律で規制したり、社会的に色々な制度をつくったり、人間ドックを受けてみたり、色々なことをやります。地球温暖化問題も結局、それです。暖かくなるのが困る。寒いから、もうちょっと暖かくなっていいんじゃないかと、個人的には思ったりもするのですが、もちろん暖かくなるのが困るわけではないわけです。シロクマさんがちょっと不便をする。それは申し訳ないなど、ちょっとは思うのですが、本当にいけないのは、天気が悪くなると人が死ぬということです。人が死ななければいいともいいませんが、とりあえず人が死んでしまったり、ご飯が食べられなくなったりすると、やっぱり困るじゃないですか。要するに、すべてリスクというものが、命でとりあえず、人が死ぬのを何とか減らしましょうよという、そういう話になるわけです。

ずいぶんおおざっぱな話をしますが、人数でとりあえず減らしましょうとか、確率で減らしましょうということをやっ、全体としてのもののリスク、安全性というものは、人がこれ以上は死なないようにしましょうよということで色々な対策をする、予防をすることになる。死んだ人は生き返らせることはできませんから、人の命の値段ではかるリスクについては、回復手段はありません。環境については、色々戻し方はありますが。

リスクのはかりかた
 Institute of Sustainable Science

確かに、「リスク」は確率が入ってくる

- ・事故（異常）の確率
- ・通常時運転の結果として、被害が自分に及ぶ確率
- ・他の理由で被害を受ける確率

→すべてのエネルギーは人を殺すリスクを持つ。
 →すべてのリスクは社会で許容されるレベルに収斂する。

→ 被害をお金にすれば、確率をかけることでリスクは定量化できる。→ 「保険」

- ・実際に保険料を支払う
- ・支払い意思(willingness to pay WTP)

→「命の値段」は、計算可能である。。受け入れるかは別 **9**

リスクには確率が入っています(図9)。事故の確率について考えれば、当然、事故の起こる確率は色々な形で減らすことができます。ある一つの事故について、いきなり人がぼんと死んでしまったりするわけではなくて、色々前兆がありますから、例えば、原子力の話でいえば、ある一つのバルブが、ある一つの機械が壊れるかもしれない。必ず壊れるんです。百万年に一回なんていう数字がいきなり出てくるわけではない。百万年、その機械をにらんでいた人がいるわけではありませんから、例えば、ねじが10万個あったら、10万個の内、1個は必ず1年に1回飛んでいますというぐらだったら、その事故率はとりあえず10万分の1です。ねじがすっ飛んだら困るということであれば、そのねじがすっ飛んだ時のための予備のねじをもう一個つくっておく。この流れを、水を止められないと困るからというバルブは、必ず壊れるんです。壊れると困るから、それをもう一重付けておく。そんなふうにしてやります。だから、確率的な事故というのは、なんとかカバーすることができて、色々なリスクについては、とにかく人が死ぬ可能性があるものであれば、エネルギーですから人を殺すことはもちろんできます。百万人の家に電気を届けることができるんだったら、百万人殺す、そんなやばいことはないんですが、何人かは必ず人が死んでしまう確率がありますから、それを死なないようにするような対策というのは確率的にはコントロールできる。つまり、リスクは定量化できる。リスクというのは、起きていないからリスクなんですけど、これが仮想的なもの、頭の中で考えたものであるかないかという、それは毎年人が死んでいるわけではないから、それは仮想的なものだと思うでしょう。違うのです。

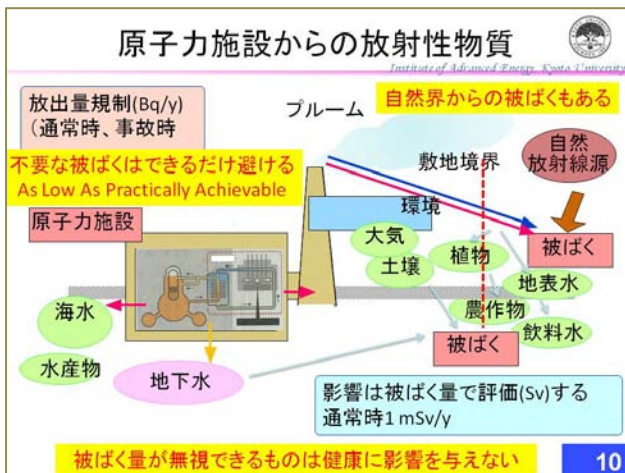
もうこれは、お金を払ってあるんです。ここでいきなり、命でといいながら、僕らはこれをお金にしてしまうんです。

皆さん、そうはいつでも、ここにおられる方はほとんど生命保険に入っていますよね。自分の命の値段、3,000万円、5,000万円、1億。何か値段がついていますよね。これに自分が明日死ぬ確率が千分の一だとすると、かけてみたら。いや、それにしてもちょっと生命保険の掛金高いよねと思いますよね。今日死ぬ確率が、明日死ぬ確率が一万分の一だとして、もらうのが1億円だったとしたら、毎日1万円ずつ払っていたら元が取れない。そんなに払っていませんね。そういうふうにして、お金は人の命の値段としては、計算が実はできてしまって、もうお金を事前に払ってありますから、リスクに対して、われわれはすでにお金を払ってリスクを買っている、あるいは売っている。実際に保険料を払っているし、あるいは支払い意志、**willingness to pay** という言い方を、こういうたぐいの経済では言うのですが、すでに現実に危ないものについてお金を払ってやり取りをするわけです。電気代にも入っているんですよ、そういうことが。電気をつくる過程で、必ず人は死にますから、その死んだ人の命の分に実はお金を払っている。あるいはこれから死んでしまう人についてお金を払っているということで、実は、リスクというのは、お金になっています。

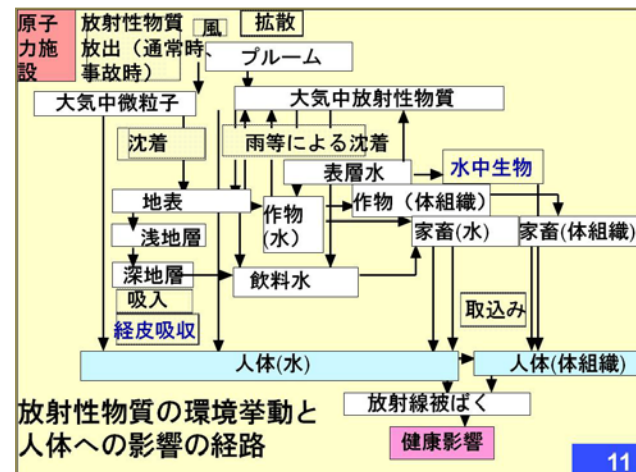
命の値段。さあて、僕の命はいくらだろうと。いやあ、300万円じゃ安いよね。2,000万、嫌。死んだら1億円くれる。それでも嫌だ。それはだいたい言います。残念ながら、命の値段というのは、非常に冷酷なはかり方をされています。

要するに、その人がそこで死んだら、生きていた場合に得べかりし、もらえたであろう所得が、収入がなくなってしまうから、その分ぐらい払いましようねということで、値段が決まってしまう。ひどいですよね。アフリカの奥地で乳児が死んでしまっても、この子はほとんど稼ぐ見込みがない。だって、もともとその国の1年間の人間が稼ぐのがせいぜい何百ドルと、千ドルと。そういう国の人の命の値段というのは、日本人の命の値段よりも千分の一以下なんです。ここでいえば、この辺の方、皆さん、大変エリートの方が多くて、死んだら1億円、3億円なんていう人がたくさんい

るんじゃないかと思いますが、人の命に価値の差はないと思うので、命の数でもってとりあえず話はしたいのですが、世の中は冷酷にできていて、とりあえずお金にはなってしまいます。いいか悪いかは別問題ですが。これは残念ながら、非常に便利であって、原子力であろうが、太陽光であろうが、風力であろうが、だいたいお金を使ったり、リスクを確率で表したりする時に、だいたい共通の単位を使います。

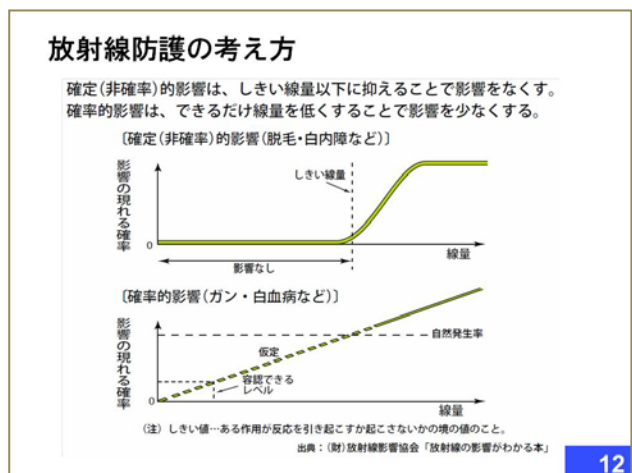


原子力施設について、これは話が延々と、皆さん、結論だけご存じですが、結構、面倒くさいことをやるんです(図10)。原子力施設がありますね。原子炉があって、とりあえずこれはすっ飛んだらやばいですから、囲いに入れます。これも福島の場合は、壊れてしまったのですが、一応、フィルターを通して煙突から放射性物質は出すように、うんと濃度を減らして出すようになっているんですが、これが壊れてしまったら、海に行ったり、水産物にいったり、地下水にいったり。煙突から出しても、結局、ふわふわと飛んでいって、敷地境界を出て、さらにその放射性物質が色々



なところ、大気や土壌や水、植物にいく。途中のことを全然考えませんね。結局のところ、人にどのぐらい放射線の被曝がいくか。とりあえず、これでもってコントロールはしています。

原子力というのは、ある意味では非常にリスクの管理がしやすいんです。何しろ放射能って、どこでも測れるので、すごく測りやすいものです。だけど、これのどこがリスクだろうと思うでしょう。シーベルト、ベクレル、なんか難しそうなのがいっぱい書いてありますが、これは気にする必要は全然ありません。僕たちは、まだこの先の話があって、これを目安するのがあまりに便利だから使っているだけで、その先がちゃんとまだあって、分からなくてもいいですが、放射性物質がだーっと色々なところを通って、結局、人体に行って、放射線被曝、シーベルト、ここまで考えなくてもいいです(図11)。とりあえず、健康被害が出てから、健康影響が出てから考えましょうということです。これは実際出ないかということ、仮想上ちゃんと計算ができます。何人の人が死にます。何人の人ががんになりますということが出る。そこまで考えた結果を面倒くさいから、その途中経過をすっ飛ばして、さっき言ったシーベルトというのに翻訳する。

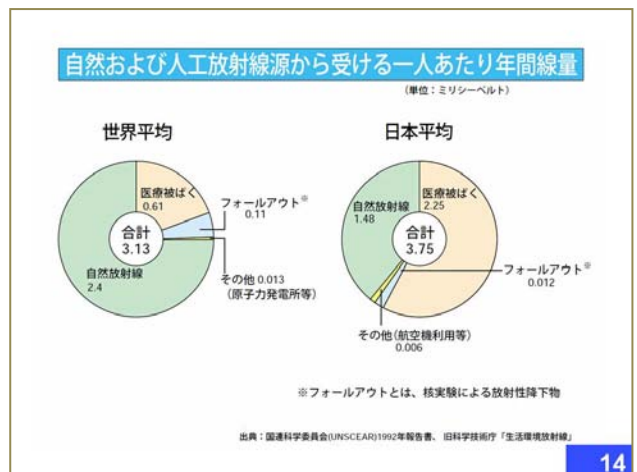
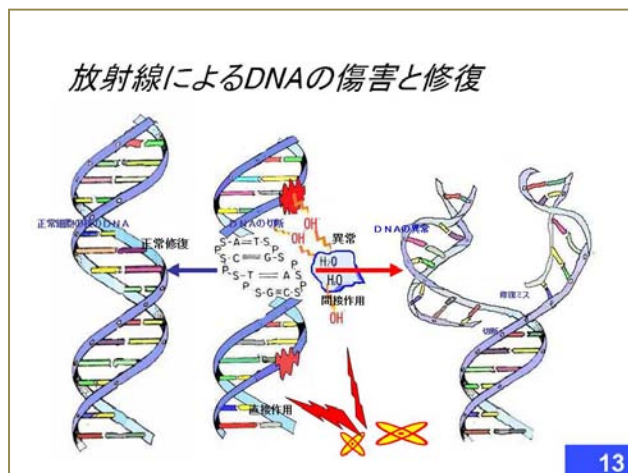


これは結構面倒くさいです(図12)。横軸が放射線で、影響が縦軸ですが、ある程度まであらわれない影響と、どんなに少なくとも確率的にあらわれてくる、絶対にあらわれる影響というのは、実は大量の放射線を浴びた場合には、ある程度までは出なくて、いきなり出るということがある。これはわれわれがやる場合に、まず関係がないです。日本でも、JCOではお二方が亡くなっていま

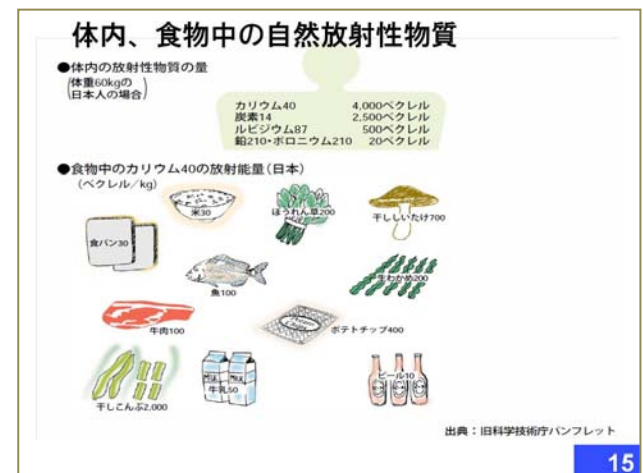
す。あるいは、原爆でも何人かかなり強力な放射線を浴びて亡くなった方はいます。第五福竜丸でも亡くなっています。でもさすがに今の世の中で、われわれ一般庶民がエネルギーを使うことで、特に原子炉を使うことで起きる影響としては、100パーセントこれしか考える必要がなくて、これはどんなに少なくても、放射線を浴びたら必ず何かの影響は確率的にあらわれる。これは確率です。どういう確率か。がんになる確率です。単純にがんになる確率。これは誰も測ったことがない。測ろうとしても、どうしても分からないんです。あまり少なくて。だけど、計算上出てくるので、このリスクを、これ以上は絶対に増えないようにしましょうねということでコントロールするんです。成功することもあるれば、失敗することもあります。

だからわれわれは、その確率をわれわれが受け入れられるものかどうかを考えればいいということになります。これは、先ほど言ったような、あなたが明日死ぬ確率が1万分の1ですが、いいですかと。百万分の1ですけどいいですかといわれて、嫌だと言うかという、そういう話になってしまうんですね。いや、僕はとりあえず明日死ぬ予定はありませんからといっても、お迎えが来てしまったら嫌だっていっても連れて行かれちゃうんですが。ちょっと待ってちょうだい。あなた、その死に神、どこから来ましたかと。いや、僕は原発の方から来ました。おまえ、いらぬ。いやあ、僕はちょっと病気の担当で、あなた、明日脳梗塞で死にますと。私、心臓専門の死に神です。あなたは明日、ハートアタックで死にますからといったら、じゃあ、そっちならいいやと、皆さん、言いますか。要は、確率の問題でしょう。

とりあえず、がんを話を絞らしましょう(図13)。



放っておいても、このうちの3分の1はがんが死ぬんだから、真面目に考えましょう。がんは面倒くさいようで、実は元はすごく簡単で、とりあえずDNAが壊れます。必ず壊れるんですね。毎日、いっぱい壊しているんです。これがだいたい変な遺伝子をつくって、変な細胞をつくって、その変な細胞が勝手に増えるとがんというものになる。その中の原因に、今、放射線というのがちゃんと入っています(図14)。放射線で、とりあえずDNAに傷は付くけれども、僕たちが日頃食べているものにも、いろんなものに放射能はあります(図15)。昆布を食べても、ワカメを食べても、椎茸を食べても、お肉を食べても、酒を飲んでも、どうせみんな放射性物質が入っているので、こうなるとこれを食べて、僕のDNAは大丈夫かしらといっても、何を見てもみんな入っているんですね。僕らのからだの中を見て、例えば、胃の細胞を見てDNAを壊れているのを、たまたま見つけたとして、おまえ、何をやられたといっても覚えていないよと思うのですが、何か痛かったから、あの辺にある原発から何か出たからやられたかな。で



も、さっき食べたポテチに入っていたカリウムかもしれないしとか、色々なものがあって、実は正直いってよく分からない。よく分からなければいかという問題はありますが。確率的に、とにかく放射線を浴びてがんになる人とならない人がいる。全員、放射線のある程度の量を浴びていますからね。

確率的影響 -放射線をあびてもがんになる人ならない人？-

近年の分子生物学の発展により、DNAの損傷・修復メカニズムが解明されてきた。

- 活性酸素ラジカルによるDNA損傷は、一日に13,000カ所以上
 - 一本鎖切断(SSB) 10,000カ所、二本鎖切断(DSB) 8カ所
- そのほとんどは、修復酵素の働きで修復されるが、修復ミスが起こる
- 異常細胞の自己破壊(アポトーシス)機構もある
 - 放射性傷害は運？ 修復酵素が損傷すると確率が増加

放射線による影響

- DNAの損傷 1Gyの放射線では、1,000のSSBと40のDSBが生じる
- 他に、放射化学的作用、たとえば活性酸素の生成もある

→要するに、DNAから見ると、酸素呼吸原因、放射線原因の区別はできず、しかも放射線のほうがずっと少ない。

(法定限度の約1000倍の放射線でも、呼吸酸素の1/10程度)

16

がんになる理由というのは、色々なものがありますし、だいたい人間以前、ありとあらゆる生物は、この星の上には放射線がいっぱいあるので、DNAを壊された時に直すやり方をもともと僕たちは知っているんです(図16)。一番極端なのは、僕たちは息をしていますね。息していると酸素を吸いますね。皆さん、活性酸素という言葉聞いたことがあると思います。活性酸素というのは、からだの中で酸素が働いてくれないと僕たちは生きていけないので、酸素が身体の中で元気に活躍しているんですが、こいつらが時々、勢い余ってDNAを切ります。日に1万3,000個。各細胞あたりです。これが直らないかという、心配しなくてもちゃんと直ります。だいたい直ります。時々直し違いをするんですが、だいたい直るので、時々間違うのがあって、放射線でも切れます。1グレイというんですが、これは僕たちが1年間で浴びる放射線の千倍のことです。これでやっと1千個、要するに、DNAが1千カ所ぐらい切れます。ということはどういうことかという、僕たちは普通に浴びている放射線では、1カ所しか切れないということ。その間に、僕たちは毎日息をしているおかげで、1万3,000個切れているんですね。だいたいみんな直しちゃう。直せなかったら、さすがに生きていけないので。

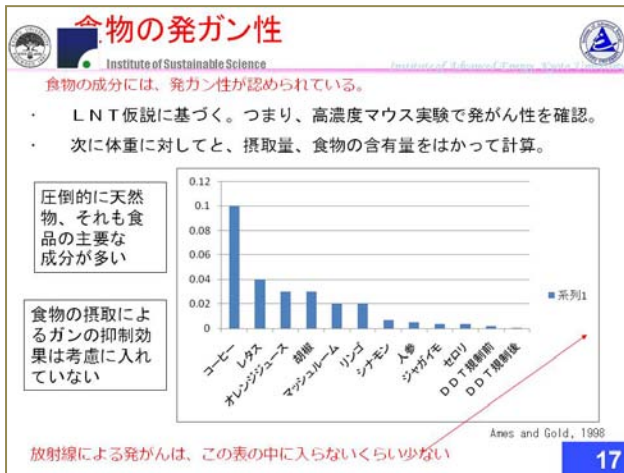
でも、この中で直しそびれがあるのでがんにな

るんですね。放射線でも切れるし、息をしていても切れる。とにかくDNAというのは、ぷちぷち切れるので、運の悪いものが悪い細胞になって、がんをつくることになるんです。ここまですべて全部考えておいて、とりあえず1ミリシーベルトを超えないようにしようよとか、そういうルールをつくっていますが、これはだから酸素呼吸に比べて千分の1とか、1万分の1ぐらいの悪さしかしてはいけないよというふうに放射線の影響を定めている。もちろんこの影響は少なければ少ない方がいいので、余計な放射線は浴びないようにしましょう。余計な放射線を出す原発は、なるべく人里離れたところにつくるようにしましょう。万一事故っても、余計な放射線をなるべく浴びないようにしましょう。そういうルールです。

ということで、原子力の安全性というのは、確率的にそういうふうを守っている。中には運の悪い人がいて、大量の放射線を浴びる。その方は残念ながらたいへんです。だけど、放射線を少ししか浴びなくても、運の悪い人は、それがたまたま運悪くがんをつくって、運悪くそれがその人の命を奪ってしまうことがある。だから、放射線はなるべく浴びないようにしましょう。原子力は、なるべく安全であるようにしましょう。だけど、それも時々外れるし、ましてさっき言ったように、人はうそをついたりするし、確率なんていうことは信用してはいけないから、これは多めに見ておこうよ。そういうことで、まだまだもっと疑いを持ってみていいです。すべてのリスクについての説明は、疑いを持って考えましょう。何しろ、例えば、原子力発電所をそこにつくっていいか、どこにつくっていいか、この国につくっていいかといった時に、われわれはつくってしまったので、もうそのリスクはここにいる方全員がすでに負っています。すでにその選択、原発からその事故の、あるいは通常運転で出てくる放射線でがんによって死ぬ人は、確実にこの国の中ではゼロよりは増えています。この国じゃなくても、中国でやったら、そこから流れてくるものPM(Particulate Matter: 粒子状物質)問題のようなものもありますが、やっぱりそれで必ず死ぬ人は増えています。

僕たちはギャンブラーじゃなくても、リスクというのは全員すでに負っているんです。ついでにその分のお金も払ってしまっているんです。日

本の中のどこかの原発立地地域は少し余分にお金をもらっていますが、それは誰がというと、僕たちがちゃんと電気代を払っているから、そのお金が回っています。払い込み済みということです。このような感じです。



でも、こういうがんをつくるリスクというのは、何にでもあるんですね。放射線と酸素の話をしましたけど、食べ物について、こういう統計があったので持ってきました(図17)。皆さん、机の上にコーヒーがありますね。みんな飲んじゃって、空になっていますよ。いいのかな。レタスもあるし、オレンジジュースとかね。みんなこうやって発がん性があるんですよ。営業妨害しているつもりはありませんが。もちろんレタスなんか食べれば、オレンジジュースなんかを飲めば、ビタミンCもあるし、食物繊維もあるし、がんを予防する効果もあります。これは全部それを無視しています。何しろ、このへんって、この中にあるカフェインとか、色々なレモンの成分、ニンジンの成分、色々なものをネズミにいっぱい食べさせて、それでがんになった数を数えて、それから確率で計算するんです。

福島の行ってはいけないところに1年住んだとして、発がん率、確実にがんになる確率は増えています。残留農薬というものもあります。これは規制した後と前では、当然残留農薬の量も変わっているんですが、これで見てもちゃんと減っているんです。何ていうのでしょうか。食べ物はだいたい余計なもの、人間が農薬を使わなくても、食べられてうれしい野菜って、植物の気持ちになってくださいよ。青虫にばりばり食べられてうれしい葉っぱってないですから、みんな自分一所懸命自分を苦くして、防衛していたんですね。

これを食べたら死んじゃうぞと、まずいぞといって、一所懸命防衛した結果として、苦みが出る。実はこれはみんなカフェインのような成分です。

会場：縦軸の単位はなんですか。

ごめんなさい、これは、ああ、忘れた。すみません。半致死量から計算した発がん率の確率ですが、何かでノーマライズしちゃったので、すみません、忘れました。原論文まであたらないと分かりません。相対値だと思ってください。

そういうことといえば、すべての発がん率というのは、そういう意味で計算できるんです。放射線についても、酸素についても。とりあえず、がんになる可能性をどこまで減らすかということといえば、原子力というのは、結構、優等生で、確実にこのぐらいの人はがんになって死にますよという確率があります。という数字が出せるという意味では、まだまし。だけど、それがしっかりしてしまっているものだから、逆にすごく嫌な気分になるんですね。でも、人が死ぬ理由はがんだけじゃないですからね。こういうのもありますね。一応、先ほどのご質問については、摂取量と食物の中に入っている量と、高濃度で実験して、それをやった結果として出てくる数字だったと思いました。

では、発電方法を選ぶ時はどうしようか(図18)。それは安全な方がいいですね、絶対ね。人は死なない方がいいですね。そう思ってやります。これはちょっと、だから、色々なことを考えなければなりません。例えば、リンゴとミカンとどっちがおいしいと言われても、なかなか比べようがありませんね。お米とお酒とどっちが危ないか。

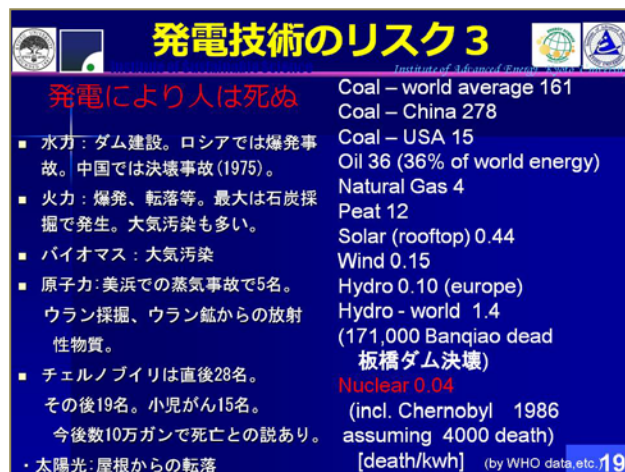
これもなかなか難しいですが、一応、電気については、何か考えなければならぬ。ライフサイクルと言いましたが、要するに、発電所をつくって、それを建設から後始末まで、全部で何人死にましたかと。何人死んだかというのも野蛮な話ですが、それに対して、つくった電気がどのぐらいありますか。つくった電気の量とそれに対して死んだ人の数を数えたら、かなり公平に危なさを比較できるのかなと思って、僕もやってみました。他にも実はやった人が色々います。いくつか実は、確率的に死んでいるはずだけど、よく分からないという因果律、よく分からないというのがあります。

例えば、チェルノブイリで何人死にましたと。その場で死んだ人はカウントされていますが、案外多くなくて、37人とか。確実にチェルノブイリで放射線が当たったから死にましたねという人は分かっているのですが、せいぜいそんなものなんですよ。そんな少なかったら話にならない。さっきから言っているように、チェルノブイリは大量の放射性物質が出て、一帯のたくさんの方ががんになったはずなんですけど、その人たちは他にも色々なものを食べているし、タバコも吸っていたりする。なんでがんになったか分からないから、絶対にチェルノブイリのせいでがんになったということが分かる人はいないんですよ。でも、そんなことを言ったら被疑者不明でもって無罪にするなんて、そんなこと許されるわけじゃないですかといいながら、このぐらい放射線を浴びたら、このぐらいがんになっているはずだよなということを一応、計算します。

ということで、実は100ミリシーベルト以上浴びた人というのは、何万人といるんですね。ちなみに福島の場合は5人はいなかったと思いますが、そのぐらい、実は事故の規模が違うのですが、これで一応計算できます。甲状腺腫瘍についても、余分に増えたのは実は5,000例増えたことが分かっているんですね。放射性ヨウ素の入ったミルクを飲んでしまって、子どもがだいたいそれなんですけど、実はこれも、この中で死んだ人は15人しかいません。それもうまくやれば治ったかなという話もあります。

このような形で比較をします。やってみましたという感じですが、発電すると人は死ぬんですが、ちょっとすみません、これ、英語版持ってきてし

まいましたが、一番上は石炭火力です(図19)。1テラワットアワーとありますが、同じ量の電気をつくるのに、どれだけ人が死ぬのかということ計算した結果です。上3つは石炭ですが、国によってずいぶん違います。中国だと何百人。なぜか分かりますよね。石炭というのは、掘るときにたくさん人が死ぬからです。でもそれは狭い炭鉱の中に穴にもぐって、つるはしでえっちらおっちら掘っている場合には、落盤や爆発とかが色々起きて死ぬんですが、露天掘りでトラクターでガッツとやっている場合には、人はそんなに死ぬわけがなくて、せいぜいちょっと暑かったから心臓病で死んだりとか、そんなことは実際は労災ですから、カウントするんですが、だから全然国によって違うんですよ。



石油火力でも何十人と死にます。これはとにかく電気の量でいうと、世界で圧倒的に多いです。天然ガスはほとんど人が関与していないので、死ぬ人は少ないんです。ピートというのは泥炭で、これも要するに火力です。太陽光発電。さすがにこれは安全ですというのは、ちゃんと0.4人とか、誰が数えたのか分かりませんが、死んでいるんです。屋根の上に付けた職人が落ちて死んじゃったりとか。つくっている電気の量はなんせ少ないものだから、結構、そこその数になってしまうんですね。風力発電でも、結構たくさん壊れているんです。羽が折れて飛んでいったりとか。水力は安全でしょうということ、実際、すごく安全なんですけど、でも世界平均でいうと、1.4人も死んでいるんですね。これは実は、中国の「板橋」という字を書くとところのダムが一個決壊して、いきなり十何万人死んだという、1970年代に起きた事故があるんですが、そんな例があつて、これ

が増やしているんです。

もちろんその他に、水力の場合は、ダム工事現場で人がたくさん死んでいるんですが、今の工事でそんなに人は死なないです、日本でやれば。でも、だいたい日本はそもそもダムをつくる場所はそんなに残っていませんから、だいたい途上国で電気が欲しかったら、まずダムをつくるんですよ。途上国だから、結構、荒っぽいやり方をしている。日本でも黒部第四は有名ですが、第三でさらにいっぱい死んでいます。これはあまり言いたくありませんが、日本で生まれていない方が結構亡くなっています。朝鮮半島から来られた方々です。

問題の原子力ですが、一応、チェルノブイリはえいやっというて、結構、多めに勘定したのですが、4,000人死んだと仮定してということで、0.04、え、原子力って一番安全なのと。この数字を見せると、反原発の人に怒られるんですよ。何を怪しげなことを言っているのと。だってしょうがないじゃないですか。本当に人が死んだ数を数えているんですから、それについては間違いないです。これは確率じゃないです、これから死にますということではありませんから。でも、この辺はやっぱ確率ですよ。どれだけ原子力で人が死んでいるか。正直いって、そういうことで、運が悪い人がたまたま原子力のせいで死んでいるかもしれないけれども、よく分からない。確率論的というか、統計的に計算して、このぐらいかなというので、分からないから多分に安全目に管理をしていることもあります。問題なのは、だから原子力をやめてしまって、何を選んでもこれだけの人が死ぬことは覚悟してちょうだいねなんて言うつもりはないのですが、下手したら死んじゃうんですよ。そこは何か考えましようねとは、さすがに言いたい。もちろん水力発電の場合には、つくるところで事故で亡くなる方は別として。基本的に、ダムのあるところの周りでしか人は死にませんから。

この辺、インチキなんですよ。日本の場合、もう今は原発が止まっていますから、石炭火力をたくさん使っていますから、これで人が亡くなっているといっても、日本ではないです。日本では石炭を掘っていませんから。この国に石炭がないんじゃないんです。石炭はまだあります。常磐炭

坑にもあるし、夕張にも、三井三池にもたくさんあるんですが、掘る方が高くなってしまったから掘らなくなっているだけです。ということは日本で石炭火力をして、死ぬ人がいない、ラッキーと、こんなこと言っているんですか。この人たちは、絶対に世界のどこかでは亡くなっているんです。オーストラリアから来た石炭は多分人は死んでいません。こんなことを言っているんですかね。少なくとも、必ずどこかの国で、誰かがエネルギーのために亡くなっているということは、残念ながら事実です。もちろんわれわれは、一所懸命これを減らしたいし、減らす努力もしているけれども、日本人よりも命の値段が安い国で人がたくさん死んじゃうから、被害が安くて済んでしまっている。それをわれわれはありがたく使っている。これはアンフェアなトレードの一種です。僕もチョコレート大好きなんですが、チョコレートのカカオを採っている子どもたちが、一日に何十円しかもらえないと聞くと胸にきますが、でも、そういう現実が今のところあります。

発電技術のリスク3

■ もし、発電の安全性を、年間の死亡者数で比べると、**火力 > 水力 >> 原子力 > 太陽光**。(発電量でわると?)
(最新の統計を調べてないがだいたい数1000人(1名/100万)、数100人(1000人/100万KW)、1人以下、ほとんどなし)

- ただし、火力は炭鉱事故、水力はダム事故で計算。
- これに、火力によるSOx、NOx放出に伴う呼吸器疾患を加えれば、数倍に増える。(これを「外部性」という)。ただし、炭鉱事故で日本人は死亡していない。(日本で掘ってない)
- 水力の死亡者は多いがだいたい建設時のみ。運転期間で割ればかなり少ない。しかし16万人死んだ例がある。
- 原子力は、ウラン採掘、低線量被曝が現状はいいっていない。入れば増えるが、信じていいか?チェルノブイリでも直接では約30人しか死んでない。その後の発ガンでも死亡は少ない。
- 太陽光の死亡者は統計がないが、発電量が少ないだけ。日本の冬季の屋根の雪下ろしだけで年間100名以上。今後が怖

20

ということで、まともというか、冷酷に数字で計算すると安全性は今のところこんな感じですよ(図20)。人の死んでいる数でいうと、問題なのは発電量で割ると順番が変わってしまうということです。この辺、だいたい原子力か水力がこっちに来るかなというところですが、ここに大きな差があって、太陽光は実は発電量がすごく少ないので、これからは結構危ないです。

ここで次のもう一つの問題をいいますが、安全性の中では、外部性という話が出てきます。色々な理由で人が死んでいるので、この辺ちょっと気を付けてください。人の死に方は、実はがんだけではないんだということです(図21)。先ほども

全死亡リスク

Institute of Sustainable Science

日本人の死亡原因

死亡原因	1980	2002
■ 死亡原因の1/3はがんによる。	結核 5.5	1.8
■ ガンの数は多いが、その中で放射線が由来と断定できるものは少ない。	がん 139.1	241.7
■ 病死以外で多いのは、自殺と事故。	糖尿病 7.3	10
■ 若年層では、20歳までは事故、それ以上で自殺が1位。	心疾患 106.2	121
(米国ではこれに他殺が次ぐ)	高血圧 13.7	4.5
米国、職業人の死亡原因(10万人当たり/年)	脳血管疾患 139.5	103.4
・全職業 3.9	肺炎 28.4	69.4
・消防士 10.6	ぜんそく 5.5	3
・運転手 38	胃潰瘍 4.8	3.9
・漁業 71	肝疾患 16.3	12.8
	腎不全 6.1	14.4
	老衰 27.6	18
	不慮の事故 25.1	30.7
	うち交通事故 11.4	9.3
	自殺 17.7	23.8
	合計 621.4	779.6

10万人当たり。
厚生労働省、人口動態統計 21

言いましたように、他の色々な病気もあって、職業的にも色々な危ない仕事があって、現に消防士さんなんかもそうです。事務職員は零点何人しか死なないんですが、この辺の方たちがやっぱり色々な危険性があるって亡くなることを考えると、これは10万人あたりの死亡率ですが、すでにエネルギーで死ぬ人の数は多くないです。他の死因の方を何とかした方がいいと、僕は公平には思いません。不慮の、不測の事故を防ぎたいければ、エネルギーよりもっとましなものがある。でも、エネルギーの中でも、より安全なものを選ぶという考え方は、とりあえず大事だと思います。

死亡リスクをあげる方法

Institute of Sustainable Science

死亡リスクを1/1000000上げるには以下の行動がありうる

■ 死亡リスクを減らすには、簡単なものも難しいものもある。	ワイン500cc	肝硬変
■ コストや手間、明らかに損な安全対策がたくさんある。	ニューヨークで2日間	大気汚染
■ しかし人為的死亡リスクは厳しく管理されている。	自転車で16km	事故
■ 「原子力を使う」と「原子力を使わない」はどっちが安全？	自動車で480キロ	事故
	ジェット機で1600キロ	事故
	ジェット機で10000キロ	宇宙線
	煉瓦の建物で2カ月	自然放射線
	レントゲン撮影1回	放射線
	喫煙者と2カ月	ガン
	ダイエットコーク30缶	サツカリン(ガン)
	原子力発電所から30kmで150年暮らす	放射線
	デンバーで2カ月	宇宙線
	水道水1年分	塩素(ガン)
	煙草1.4本	ガン
	炭鉱で3時間	事故

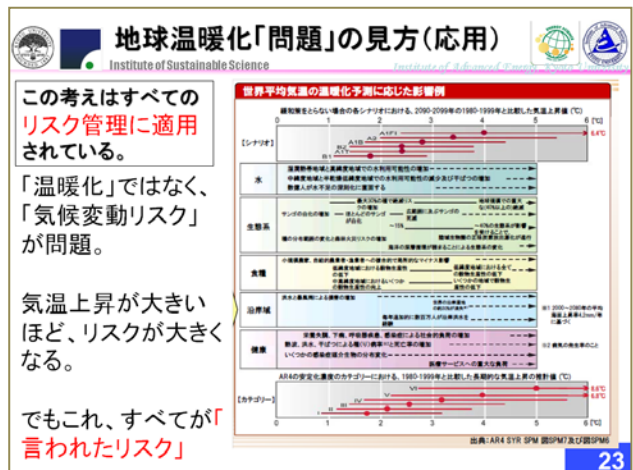
wilson, 1979

この表に、「福島20km圏内で暮らす」「東京に逃げる」を入れたら? 22

死亡リスクは色々なところであります(図22)。とりあえずたばこをやめるんですねという話もあります。何をやっても、空気の悪いところからいいところに来て、いいところから悪いところに行っても死ぬ理由が変わるだけで、確率もちょっと変わりますが、これがリスク管理といったら許してもらえないでしょうが、われわれは一応、リスクには囲まれて生きているので、原子力を使うにも、原子力を使わないにもリスクは必ずあります。要は、どうやってそのリスクを管理するか

という問題なのと、やっぱり公平に見てリスクを管理しやすいものを選んだ方がいいのではないかと。だから、あまり原子力の肩を持ちたくありませんが、実際、世界のどこかで人が死ぬ話は、とりあえず、日本の中ですでに人が住めないところがあったということは、決して過小評価してはいけないのですが。

4. エネルギーの費用



いきなり話が飛びます。結局、人がどれだけ死んだら嫌かという問題を話さなければならないときに、地球環境問題は出てくるんだけど、要は、リスク管理というのは、すべて人の命の問題か、お金の問題にできる(図23)。地球環境が悪くなって温暖化、僕は温暖化という言葉は個人的にあまり使いたくないので、気候変動リスクといつも必ず言い直して使うのですが、地球が暖かくなったからどうだっていうと、とりあえずそこまではあまり。シロクマさんのことはどうでもよくて、人が死ぬか死なないかで考えましょうといったときに、百年後に6度温度が上がったら何人何人が死ぬかなんて、誰も予測できないんですよ。でも、予想できないといったらしようがないので、実は、二酸化炭素も放射線と同じことをやります。専門家は色々なことをやります。

結局のところ、二酸化炭素濃度いくらと。今度は二酸化炭素濃度の前に、今度は二酸化炭素放出量があるのですが、その辺もすっ飛ばして、要は、気候変動リスクはお金にして計算されています(図24)。今、これは結構正確に計算されています。そうすると、お金の被害だったら、被害よりも対策の方がたくさんかかってしまったら、被害は甘んじて受けた方がいいと。人が死ななければ

ね、ということがあるので、対策コストというのが、損失額よりも小さいようにやればいいのですが、実は想定被害額よりよっぽどたくさん払っています。われわれは、そういうことで、実は地球環境の悪化は色々問題だから、温暖化の話とか、温暖化と言ってしまうのですが。温暖化というのは、気象学者にとっては大問題です。あたりまえですが。地球の気候が変わってしまうのですから。でも、それは悪いですが、前にこういう話があり

異なる長期安定化目標に向けた排出経路における2030年及び2050年のマクロ経済影響推計値*

安定化レベル (ppm CO ₂ 換算)	GDP**損失の中央値**3 (%)		GDP**損失の範囲**4 (%)		年平均GDP**成長率 の低下**5,6 (percentage points)	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
445~535**7	-	-	< 3	< 5.5	<0.12	<0.12
535~590	0.6	1.3	0.2~2.5	ややマイナス ス〜4	<0.1	<0.1
590~710	0.2	0.5	-0.6~1.2	-1~2	<0.06	<0.05

※1: この影響の推計はGDP数値を提供している全てのベースラインと緩和シナリオを扱う多くの文献に基づいている。 出典: AR4 SYR GPM 表B7
 ※2: 市場交換レート(MER)に基づく世界のGDP。
 ※3: 分散化されたシナリオの中位に位置する値。
 ※4: 10%~90%信頼区間の値を示す。マイナスの値はGDPの増加を示す。445-535ppmCO₂に関しては上層推計値のみを記載。
 ※5: 2030年及び2050年におけるGDP損失に連続するような、期間中の平均損失に基づき計算している。
 ※6: 中央値の損失は、GDP損失の一筆書き推計値に対応する。
 ※7: 研究の数が相対的に少なく、かつそれらの研究は異なったベースラインを使用している。高排出ベースラインは異なった費用をもたらす。

環境省

- 「気候変動リスク」は、**損失額**として計量されている。
- 「対策コスト」は、リスクより小さいとき正正当化される。
(実はすでに、想定被害額より多く払っている)

24

ましたが、気象学者さんに任せておけばいい部分と、われわれ一般庶民が気にしなければいけない部分があって、興味がある人は別として、気象に興味のある人は別として、そうでない人についても必ず出てくるのは、問題なのは、気候変動ということ。天気がおかしくなって、被害が出る。人が死ぬ。お金がかかる。それだけはなんとかしてちょうだい。これだけはさすがに人類共通だと思います。ただ、これも当然、百年後に起こるリスクで、今日明日、暖かいか寒いか、そういう話ではありません。すべて確率で語られているリスクに対して、われわれがお金を払うのか、払わないのか。いや、実は現実に払わされているんですね。

日本の予算が、気候変動対策にもう何兆円とつぎ込んでいますので、インチキなんですよ。道路をつくっても、渋滞が減るので、排気ガスが減るので、地球環境問題にはいいということになって道路をつくっちゃったりするんですが、そうしないと、逆にこの国の予算は通らないですから。僕たちは、現実にこのリスクにもお金を払っています。現実に損害が出ているわけです。某T社のハイブリッド車を買っちゃった人。ちゃんとお金を払っていますよね。そんなようなことがもう現

実に起きているわけです。これで地球の気候がおかしくなるのに対して出てくる損害額と、ハイブリッド車を買って、余分に20万円だかを払った分とどっちが得かという、実はすごく損だということが分かっていますが、そこは気分の問題だということにしておきましょう。

要は、リスクというのは、すでに現実にお金を払っているんだから、現実の存在です(図25)。仮想上ですが、計算で出てくるのですが。色々な形で保険料、お金を払っています。お金で払う他に不安で払っている。何となく気分が悪いなんていう、払っているのもリスクについてのコストです。決してギャンブラーだけのものではありません。まじめな人だけの問題でもありません。確率論が分かる人、分からない人関係ありません。現実に僕たちは税金を取られ、ものの値段を払い、保険料を払うだけでなく、色々なところで色々なリスクにお金を払わされています。見れば分かるものもあれば、隠れているものもあります。

「確率」は仮想的なものかもしれないが、

「リスク」は現実の存在!

いつか起こる災害(起こるかもしれない、起こらないかもしれない)

→ 現実に保険料を支払っている。

リスク=ハザード×確率<許容範囲(支払ってもよい価値)

何で支払うかはいろいろありうる。

お金
不安
反対に受けている利益

リスクはギャンブラーだけのもの?まじめな人は考えない?
実は誰でもがこのギャンブルには参加させられている!

25

エネルギーというのは、割とそういう意味でいうと、これでも見やすいです。原発反対といって、石を投げたり旗を振ったりすれば、とりあえず原子力に対しては反対の意志を示すことはできるでしょう。だけど、それ以前に自分のポケットの中から、あるいは銀行振り込みですかね、電気代は。その中で太陽光とか風力のために、どここの携帯電話会社がメガソーラーをつくったら、その分、余分に電気代を僕たちは取られている。携帯の他にまだ持っていくなよと僕は言いたいですが、もうすでに地球環境が悪くなるリスクに対して、現実にお金を取られています。これは立派な損害です。原子力が嫌だったら、当然、そのためのお金を払わなければなりませんし、現に高くなってし

まっているんですからね。こういうギャンブルに
 僕たちは全員参加させられてしまっています。い
 いか悪いかはともかくとして。

エネルギーの「外部性」

Institute of Sustainable Science

**エネルギーは商品であるだけでなく、市場の外で
 ヒト、社会、環境に影響を及ぼす。**
 → **エネルギー技術の外部性**

- ・エネルギーは、利益(命/金)も損害(命/金)も与える
 - 取引関係者以外にも影響する
 - コストに反映されているものもある(内部化)
 - ダムや原発の立地、石炭採掘の人命損失など。
- ・地球環境問題(いわゆる「温暖化」)は最大の外部性の一つ
 - 2100年GDPの10%オーダーとされる
 - すでに人類はコストを払っている
 - すでに一部「内部化」されている。
- ・原子力は、(拡大した)外部性の大きなエネルギー

26

エネルギーを選ぶ時には、色々なことを考えな
 ければなりません、これはお金だけの話ですが。
 ここでもう一つ、ちょっと面倒くさいものです(図
 26)。経済のことをご存じの方ならお分かりかも
 知れませんが、要するに、エネルギーというのは
 電気代を払ったり、ガス代を払ったりするので、
 コストといったときには、当たり前ですが、電気
 代、ガス代でとりあえずは見ることができますが、
 問題なのはその裏を回ってくる被害については、
 お金を僕たちは払っている意識がないんだけど、
 取られてしまっているということです。

代表的な例でいうと、今の中国のPM だけでは
 なくて、色々な大気汚染が石炭火力発電のおかげ
 で出ていて、これで何万人死んでいるの分かりま
 せん。すごい数が、実はこれも同じく統計上、死
 んでいることになります。この医療費を誰が払っ
 ているのですか、いったい。いや、当然、ぜんそ
 くになってしまった人とか、日本でも昔から四日
 市でも訴訟が起きましたが、目の前に見えるプラ
 ントがもくもく煙を出していて、それで呼吸器疾
 患になった人だったら、まあ、いいです。よくは
 ありませんが、あいつが悪いと言えますから。さ
 すがどこかにある原子力発電所から飛んできた
 放射性物質を僕らが吸って、がんになっても、あ
 れが絶対に悪いとはいえないですからね。こんな
 ような形で、誰が悪いと言えないけれども、お金
 が社会から見れば確実に出ています。これのこ
 とを外部不経済とか、外部性費用といいます。

取引で、伝票が付いていてお金を払うものにつ
 いては、僕たちは当然、納得づくで払っているの

ですが、納得しないでお金を取られてしまってい
 るのが結構あります。ところが、まったく面倒く
 さいのですが、コストに実は反映されているもの
 があって、さっき申しあげたような石炭を掘って
 いて人が死んじゃうとか、ダムをつくった時に人
 が死んじゃったとか、この方たちの葬儀費用は、
 もう実は払っています。電気代に入っています。
 だからこれはコストの中なんです。そうじゃなく
 て、発電所ができて、環境が悪くなって、大気汚
 染が起きて、何か百キロとか先のところで、どう
 も呼吸器疾患で死んじゃったりとか、こういうの
 というのは、実は誰が悪いのか分からないので電
 気代には入っていないのですが、社会としては絶
 対損失をしています。

地域温暖化問題、地球環境問題で、被害が出た
 時もこれです。誰が悪いのか分からない。僕らだ
 って加害者なんです、車に乗ったり、電気を使
 っちゃったり。色々な形で地球に二酸化炭素を増
 やしてしまったのは、僕たちですから、悪いんだ
 けれども、その分余分にお金がかかっちゃったか
 らといって、誰が悪いといってお金を取れないで
 すが、社会全体としては費用が出ています。この
 ことを外部性といいます。だけど、これも炭素税
 といって、余分にお金を取られてしまったり、そ
 れを環境対策に回していたりすると、これは内部
 化というんですが、コストの中に入ることになり
 ます。原子力に関してもそういうことで、一見し
 たところ、そのために人が死んだということはあ
 まり多くないことによって、色々な形で外部性
 という、つまり伝票が付いて回らない経済効果が
 大きくて、いいことも悪いこともしているんです

実は、色々な要因が考えられて、いちいち事細
 かには言いませんが、本当はエネルギーを選ぶ時

外部性 (外部経済性)

Institute of Sustainable Science

・ **エネルギー技術はもともと経済価値を持つ商品。それに加えて**
 ・ エネルギー技術は、社会での運用において様々な経済価値換算可能な影響を生む。
「外部性」 (外部経済性) - 市場を介さない経済的影響

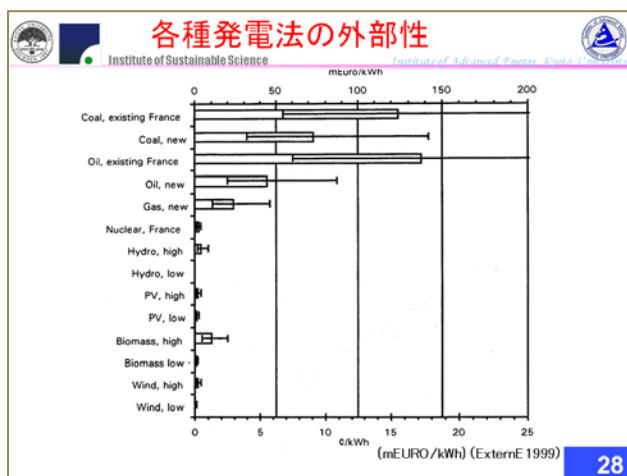
-負の環境影響: 環境汚染・環境破壊、健康被害。温室効果ガス。
 -正の環境影響: 環境浄化、緑化。温室効果ガス削減。廃棄物処理。
 -負の社会影響: 社会の非受容。風評被害。災害リスク。核拡散、
 軍事利用、テロ。
 -正の社会影響: エネルギーセキュリティ。バックストップ。
 社会インフラ・生産力・技術力。災害防止効果。

	利益	損害
社会	コスト	核拡散 風評
環境	資源リサイクル 環境浄化	温室効果ガス

・市場における売り上げはその経済影響の一部に
 すぎない。
 ・発電コストは市場選択の(一つの)指標になるが、
 社会的選択の指標にならない。(コストは、納
 得して払う人には問題にならない)
 ・エネルギー技術が社会に与える利益と損害は、
 すべての効果の総和で評価される。
 ・投資者が国家であれば、国家の機能としての
 政策における効果で評価される。

27

は、得か損かと一見目の前で見ただけに分かるものよりも、裏に隠れているものの方が実はとても大事なんですね(図27)。特に原子力の場合、エネルギーセキュリティ、純国産である。国産エネルギーになるんだから、少し高くてもという話。僕たちでもやりますよね。和牛が高くて、輸入牛が安い。和牛だったらグラム300円、それでも安いですが、500円とかでも買うけれども、輸入のオーストラリア産ビーフだったら200円は高いから、100円になるまで待つてから買うとか差を付けますよね。輸入米だったら安くなければいやだけど、国産米だったら、高くても買う。新潟産のコシヒカリだったら、もっと高くても買う。10キロ7,000円でも買う。買いますか?一応、そのように色づけしたりするじゃないですか。そういうところで、実は、外部性というのは、われわれもある程度、選ぶ時には出てきます。だけど、中には本当に根拠がなくてお金がかかってしまうような、風評被害というものもあるし、誰も気が付かなくて分からないものも出てきます。そういうものを、一応、色々僕も計算とか検討しました。



実は、日本ではこの研究はあまりありません(図28)。ヨーロッパではこういうことを真面目にやっていて、先ほども言いましたように、外部コストというか、発電の電気の値段ではなくて、社会全体が余分に払っているお金を計算した例があって、それでもやっぱり火力があまりよしくなくて、誤差がすごく大きいのですが、やっぱり再生可能エネルギー、太陽光とか風力とかはすごく少ないことになっています。こんなことをやれば、実はお金になっていない、コストになっていないものもわかるんですが、実は、二酸化炭素をたくさん出すものというのは、実はこの倍ぐらい、外

部性費用でいうと、二酸化炭素削減効果とか、あるいは二酸化炭素を出していることで取られるペナルティーが、今、すごく大きいです。

投資と「割引率」

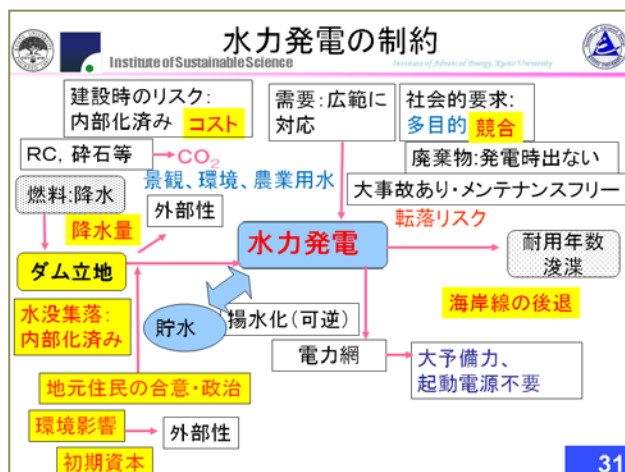
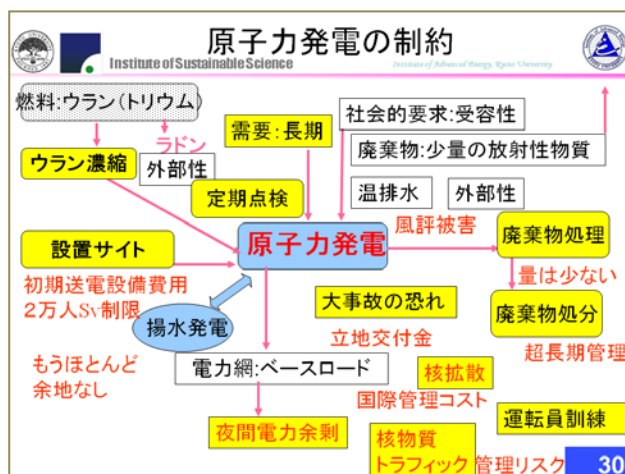
Institute of Sustainable Science
Institute of Advanced Energy, Kyoto University

投資と効果の間には時間差がある

- エネルギー投資は、回収に時間がかかる
 - 現在の繁栄は、過去の投資の結果 (過去世代の「恩」は、感じるより大きい)
- 現在の投資は、未来に行くほど効果が小さくなる
 - 未来世代は、成長と投資、開発の効果により必ずより豊かになっている
- 「割引率」効果は、損害に対しても適用される
 - 未来世代の損害コストは、現在に割り戻せば小さい
 - 一きわめて遠い将来の損害はゼロに収れんする?
 - 「命の値段」であれば、単価も上がっているが。

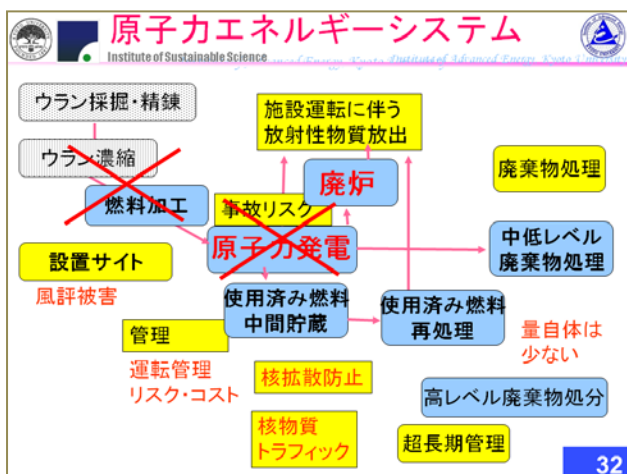
29

もう一つは、今、言っている技術の話に対して必ず出てくるのは、これからのエネルギーというのは、今、お手元にはありませんが、今使っているエネルギー技術というのは昔の人の投資でできているものですね(図29)。原子力だけではなくて、水力なんか昔の人が死んだり、苦勞したりしてつくってくれたダムのおかげで、僕たちは今、



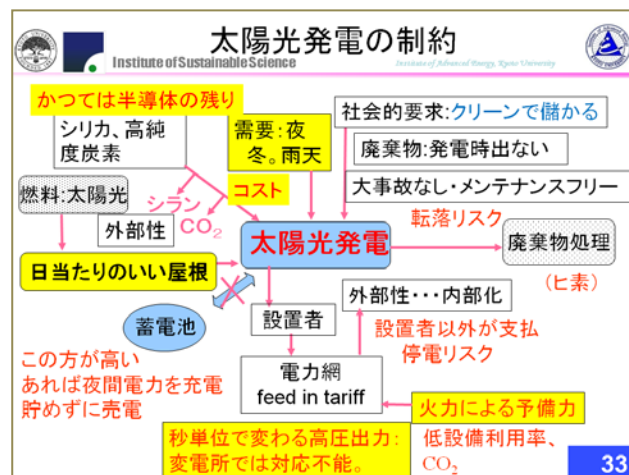
ほとんど元手なしで水力の電気を使うことができます。社会が投資したものを今使っているし、僕たちが今、やったことというのは、実は必ずあとの世代に影響します。僕たちが使っているエネルギーというのは、ほとんどサプライチェーン、社会インフラでお金をととも払って生きています。

これから僕たちが、実は払うエネルギー代金もそういうことで、電気代、ガス代として一見払っている、その場で使ってしまう消耗品だけではなくて、社会の形を実は変えている。それだけのことを言いたくて、これを出してきました。要は、色々なエネルギーについては、そういうことで、この間もお話ししましたが、電気そのものが出てくる原子力なら原子力じゃなくて、どこから来てどこに行くのか、余分なものは何が出ているか(図30、図31)。この辺をみてみると、お金に入っているものもないもの、影響を受けているもの、いいもの悪いもの、一応、なんとなく見えてきますので、これで色々なエネルギーについては比較をすることができます。



水力についてもそうです(図32)。水力はダムがあれば電気をつくってくれるのでありがたいのですが、つくるまでに色々な騒ぎがあって、コミュニティがなくなってしまって立ち退きさせられてしまったりとか、日本の海岸線でだんだん砂浜がなくなってしまったり、そんなことも出てきます。太陽光だって、そういう意味でいうと、廃棄物が全然ないようできて、無罪放免してあげるわけにはいきません(図33)。つくる途中でいっぱい色々変なものを出しています。つくったあと廃棄物はまったく出ません、といたいところですが、使い終わった太陽光パネルはちゃんと後始末しなければならぬ。リサイクルもできるんです

けど。載せる屋根の問題もあるし、電力網への影響もあります。電気はためられませんので、蓄電池を余分に買うと、実はそちらの方の影響が大きかったり。屋根の上に載せると、屋根が傷むという話もあります。とにかくゴミも二酸化炭素も、実は太陽光をつくるときにたくさん出しているんですよ。20年分まとめて出してしまっているんです。



幸いといいますか、太陽光パネルのシリコンウエハーは日本で今、つくっていないので、電気の安い国でつくるので、実は日本は無罪放免になってしまっているんです。他の国が出してくれているから。だから日本の国にとっては、太陽光はすごくクリーンです。いいのかそれで。いや、最後にパネルの後始末でちゃんと出てくるんですが、他にも高性能のものになってくるとヒ素が出てきたり、背後で色々な変な物質も使っていますし、都市鉱山として再生も可能ですが、色々なものがあります。このへんを無視して話をしては駄目だということです。

色々なエネルギー技術は選べますが、とにかく

現実社会で起こることは、すべて確率問題でなく、その確率をどう見るか、人がどう信じるか、という問題。

「人が死ぬ確率」。データは統計として確かにある。

言われたことを信じなかったり、聞き落としたら、経験で原因を判断するしかない。現実世界では、たとえ偶発事象でも、内訳を知らされない方が多い。まして、偶発とは限らない。

結局、「安全」「リスク」とは、「確率」でなく、その「確率をどのように信じるか」の問題。「経験」で判断。

これが**ベイズ理論**。たとえ確率現象でも、偏りもあれば間違いもいかさまも「想定外事象」もある。観測後にわかるから**事後確率**。

ギャンブラーでなくても、すべての人がすでにこのリスク統計＝確率現象の経験に巻き込まれている。

人が死ぬ確率というのは、データが統計で出てきますし（図34）、さっき言った、自分の経験で確率論を判断するというベイズ理論、これもあとで暇があったら見てみてください。これが実は僕たちが本当に確率論を自分で評価する時に使っている、頭の中で使っていることの正体ですが、こういう名前が付いています。事後確率といいます。最初から与えられた確率ではなくて、最終的にこの確率は実はこうだったんだねという、それで実はリスクというのは評価しなければならなくて、聞かされている話だけ信じないでくださいねと。

5. 脱原発

脱原発？について

Institute of Sustainable Science

技術的には、「脱原発」そのものは難しくない

- ・わが国には火力中心にそれだけの発電容量はある。
 - もともと必要時のみ稼働する発電所
 - 燃料費はかかる
 - 再生可能エネルギーにメインのエネルギー供給の能力はない
- ・原発の停止、廃炉そのものは技術的にはほぼ確立されている
 - 炉の停止、解体は容易（事故炉でなければ）
 - 使用済み燃料の再処理、廃棄物処分技術は運転継続と同じ

エネルギーは、社会が選択する

- ・エネルギー選択は、確実に社会の経済状況や成長に影響する
 - 現在の日本のエネルギー選択は世界標準ではない
 - 現代の選択は、後世への負担を決める（費用、リスク）

35

ということで、最後に脱原発のお話をしておこうと思います（図35）。よく皆さんが間違えておられるのが、するかしないかという話は別として、したい人に聞いてみると、原発を止めるとこの国からいきなり原子力や放射線とか、放射能がなくなってくれると思っている人がいるんですね。まさかここにはそんな人はあまり多くないと思いますが。あまり信用できませんが、とにかく脱原発は、実はやろうと思えば、そんなに難しくありません。すでに発電容量があるのは、分かっているじゃないですか。問題なのはこれです。止めても、今までつくってしまった使用済み核燃料の放射能はまったくなくなならないし、動かしている時とまったく同じような処理をしなければならないだけでなく、今までどころ、処理しないで放射性物質は諸々の大量の使用済み核燃料に関していうと、発電所が管理してくれたのを止めてしまうという、いきなりこれを管理する人がいなくなってしまうんですね。動いていたものは全部廃棄物になるんです。今まで管理してくれたし、それ

の費用も実は電気代の中に入っていたものは、誰かが面倒を見なければいけなくなる。むしろ、止めるのだったら一刻も早く、当たり前ですが、止める。廃炉はすごく簡単なんです、実は。すごく簡単です。今までもやったことありますし、そんなに難しくないです。原子力発電所というのは、わりとゴミとしては扱いが簡単です。

だけど、使用済みの核燃料については、動いていなくても、実は処理がすごく大変だということは皆さんご存じだと思います（図36）。10万年単位で、どこかにちゃんと管理して置いておかなければならない。これが今までできていないのに、これからもできる見込みがないのに、どうやって原発を止めてしまうだろうと思うとすごく怖いんですね。よくトイレのないマンションとありますが、そのマンションが嫌になったから出るとしても、30年のローンを組んでいて10年目に出たとしても、残り20年ローンを払い続けなければなりませんよね。その処理をしないで出ていいかという、誰かはやっぱり処理しなければいけないわけです。ということで、選択には必ず責任が出てきます。

本当に脱原発したければ

Institute of Sustainable Science

最初に必要なのは廃棄物の管理場

- ・脱原発すると、運転していた50基すべては**直ちに廃棄物!**
 - 今までは稼働中の発電所が「中間貯蔵」をしていた
 - 廃棄物は減らないし、寿命が短くならない
- ・放射性廃棄物の処分方は技術的には開発されている
 - 政治的には解決されていない
 - 廃棄物は放置することができない**

選択には責任が伴う

- ・今まで受けてきたエネルギーの恩恵は、支払い済みではない
 - 現在の日本の繁栄は過去のエネルギー選択の結果
 - 過去の日本が未来に向けた投資の結果もある
 - まだ支払いが終わっていない負担もある

36

何しろ原子力発電所の廃棄物に関しては、原発を止めても処理をしなければならないし、今までの原子力発電所は動いている限りその分の費用は、全部ではありませんが、かなり積み立てていたのですが、これもなくなってしまうんですね。という、原子力を止めたら、その分の後始末費用をほかの電気代にさらに乗せて、それも払わなければならないし、それは僕たちがえいやっと払うのではなくて、あとの世代が今後50年かかってできるかできないか分からないのをやっつけていかなければならないんですね。どうやっても残る使用済み

燃料。これを処理しなければならない（図37）。実際に処理する方法も10万年、本当に管理できるのかということもすごく怪しいと思うのですが、技術的にはできるんですが、それをどこに置いて、誰が管理するのかという政治的な問題の方がよっぽど問題で、そのまま埋めるというオプション

残る廃棄物

Institute of Sustainable Science

どちらを選択しても、使用済み燃料は残る

- ・現在、使用済み燃料はほとんど発電所に保管されている
 - ー将来的には再処理の予定(まだまともにも動いていない)
 - ーさらにその後、高レベル廃棄物処分場に移送(場所さえ未定)
 - ーそのまま埋設するオプションもありうる(そのほうが安い)
- ・原子力発電は、いくつかの費用をその内部で計上している
 - ー使用済み燃料の管理、再処理、最終処分の一部
 - ー脱原発したらこれらは別途財源から支払う必要がある
 - ー運転者、技術者、教育は原子力が存在しなければなくなる

いずれにしても原子力の後始末は現世代責任

- ・脱原発も、運転再開も、確実にエネルギー経済に影響する
- ーどちらにしても将来世代に管理責任と費用を残す

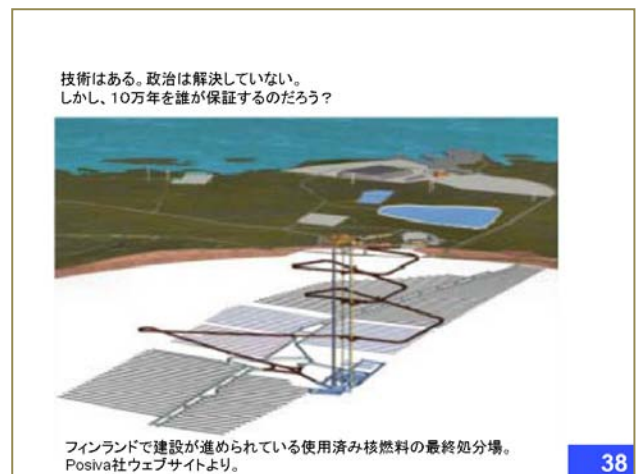
37

もあって、再処理しないという方法もあるのですが、そのほうが安いんですが、なんで処理するかというと、実はゴミをちゃんと放射性廃棄物をガラスの中でかちかちに固めて、流れたりもれしたりしないようにするという処理も含んでいるので、僕は個人的にはそのまま埋めるとするのは、すごく危ないと思っています。つまり、使用済み燃料を何もしないでそのまま缶の中に入れて、密封して、そのまま置いておく。それは破れたらもれてしまうし、破れないという保障はないし、かさもすごく大きい。千倍ぐらい大きいので、あまりいい方法とは実は思いません。

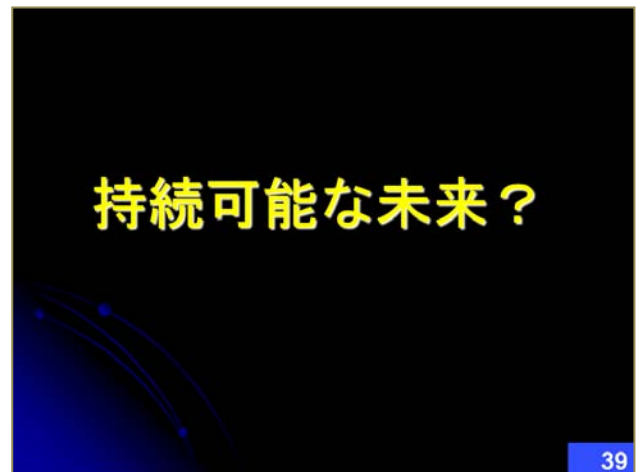
とにかくそれをやる人がいなくなってしまう問題とか、そのためのお金がなくなる問題もあって、これはすべてあとの世代にいつてしまう。原子力をやめることを僕たちが決めてもいいんですが、あとの世代に何らかの費用と責任を残してしまうということは真面目に考えた方がいいと思います。原子力をやめたければ、誰に聞いたらやり方をよく知っているかと思ったら、原子力技術者なんですよ。だけど、反原発の人は原子力技術者の顔を見るのも嫌だから、聞きに来てくれないんですね。だからやり方がよく分かっていないんじゃないかと思って。やり方というのは、実はよく分かっている、お医者さんが嫌いでも病気のことはお医者さんに聞いた方がいいよということなんで

すね。

これが某元小泉大臣という人が行って見てきて、これは駄目だよと（図38）。逆ですよ、これは。フィンランドに放射性廃棄物を10万年埋めるという施設ができていて、世界中でフィンランドだけです。一応、保護はできているんですが、埋めておくことができるので、この国は一応、ほとんど卒業している。技術的にはそれほど難しいものではありません。これが日本でできない限り、原発はやめられません。だって、原発をやめたあとの原子炉を入れる場所がありませんから。これはちょっと考えなければならないと思います。



6. サステナビリティ



最後にちょっとだけ、5分だけ余分にください。持続可能な未来（図39）。リスクの話だけではなくて、最終的に大事なものは、エネルギーではありません。こういうと怒られますが、皆さん、エネルギーの話聞きに来たんですよ。大事なものは、僕たちがちゃんと生きていくことでしょう。僕たちの個人の生活もそうですが、日本人がとか、人類が、あと50年、100年、千年、千年ぐらいにな

るとどうでもいいという気もしますが、生き延びることが大事なので、エネルギーというのは、そのための材料にしかすぎませんね。この島の人たちは、こういう立派なものをつくったのですが、木を切り倒して何もなくなって、ここになるまでに100年かからないで、全部滅んでしまったんです(図40)。このうしろの方に見えていたのかすかにある木がすごく育ちが悪かったので、構わずばきばき切ってしまったので、はげ山だけが残ったということです(図41)。エネルギーというのは、なくなってしまうとさすがに生きていけません。

かつて16世紀半ばに巨石文明が栄えたイースター島は



40

エネルギー資源(再生可能なはずの)枯渇で崩壊



41

これは何の話をしていたかというと、水槽の中にメダカを入れておきます(図42)。これはミジンコという小さな生き物ですが、藻というのでしょうか、植物性プランクトンを入れておいて、これはふたをしておいて、エサを何にもあげないんですよ。3年生き続けました。同じことを実は今、僕は自分の部屋でエビを飼ってやっているんですが、やっぱり1年半もっています。本当にエサを

有限空間での持続可能性
Institute of Sustainable Science
Faculty of Advanced Study, Kyoto University

・水槽の、藻、ミジンコ、魚でエネルギーさえあれば持続可能にできる

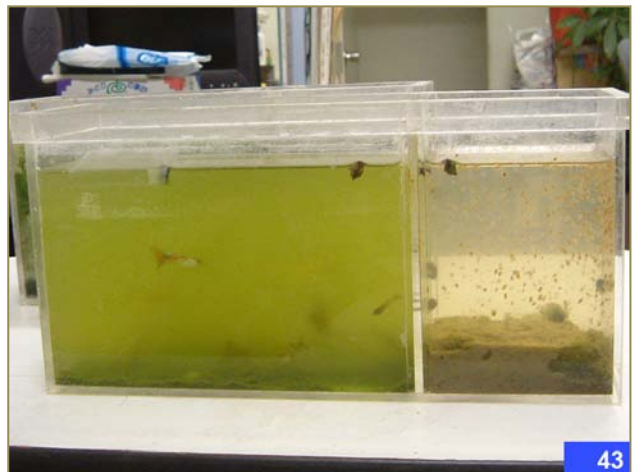
(1) エネルギーバランス
 ・エネルギーの入口: 光
 ・エネルギーの出口: 熱
 安定なシステム: 一定なエネルギー消費
 入るエネルギー = 出るエネルギー

(2) 物質バランス
 物質は循環する。
 → 廃棄物と原料は相対的なもの。
 しかしリサイクルにはエネルギーを使う。

(3) 個体数、社会システム
 ・個体数は一定
 ・適切な個体構成

42

何もあげなくてもちゃんと生きています。かわいそうですが。やってくるのは、要するに、光だけです。中で色々な元素がぐるぐる回っているんですが、エネルギーはその逆、入って出ていだけ。太陽光が入って、熱が出ていだけで、物質は中でぐるぐるしている。これをやると、個体数が一定だったら、生き延びられるんです。魚が勝手に増えてしまうということがありますが(図43)。



43

経済成長、エネルギー、人口
Institute of Sustainable Science
Faculty of Advanced Study, Kyoto University

エネルギー供給自体が人口を増加させてきた。
 それがエネルギー需要を作る。→自己撞着
 産業革命以来、持続可能性を超えた成長が続いてきた。
 安定解の必要条件は人口一定。→エネルギー=善ではない
 このとき経済成長は? →持続可能な「発展」は未解決

44

人類というのは、まだ増えていますから、こう

いう状態になれるかどうか分からないです(図4-4)。僕たちがエネルギーを使いたいからといって、エネルギーを使ってしまうのですが、エネルギーはつくと経済成長をしてしまうので人口が増えるんですね。経済活動が発達すると、ますますもってエネルギー需要が増えるので、一所懸命つくるんですよ。これをやっていると、エネルギーを一所懸命つくとかえって人口が増えてしまうんですね。これは僕たちが産業革命以来やっていたので、あまり言いたくありませんが、エネルギー研究者は一所懸命いいことをしているつもりでいて、人類の破滅を早めているという気がします。かといって、これからの途上国の人に、きみたちもう十分だから、もうお金持ちになるのはやめなさい、今のままでいなさいとはいえませんからね。だから日本はべつに原子力をやめてもいいのですが、これからお金持ちにやっとなろうという国にそれを僕は言えないなとは思っています。

個体数の一定、は自明ではない

思考実験

一草食動物しかいない島に肉食動物が漂着したら？

1. 草食動物全滅→肉食動物全滅
2. 肉食動物全滅
3. 適当なバランスで安定



古典的ダーウィニズムでは

- ・生物は環境に適應する。
- ・より適應が進んだものが生き残る。

実際には

- ・生物は生存環境と相互作用する。
- ・相互作用の結果、持続可能なシステムにバランスしたときだけ生き残る。

「持続可能」は、自明でも自然でもない。

すごく難しいかという。??-実はどこにでも見られる、

45

ということで、人類が持続可能に生きていくために、エネルギーというのは要ることは要るんだけど、使い方を間違えると、それも善意でやっていることが決していいことにならないということにちょっと気を付けていただきたいと思えます(図4-5)。だいたいネコとネズミはどちらが強いかがありますが、ネコじゃないんですね。あたりまえですが。僕たちがネズミもネコも身の回りで見ることができるということは、無人島にキツネとウサギを両方見ることができたとしたら、これは実力が拮抗しているからなんですね。どちらかが強すぎれば、ウサギがすばしこかったら、こいつらお腹が減って、エサを取れずに死んでしまいますし、こいつが強かったら、当然これは全部食われていなくなってしまいます。

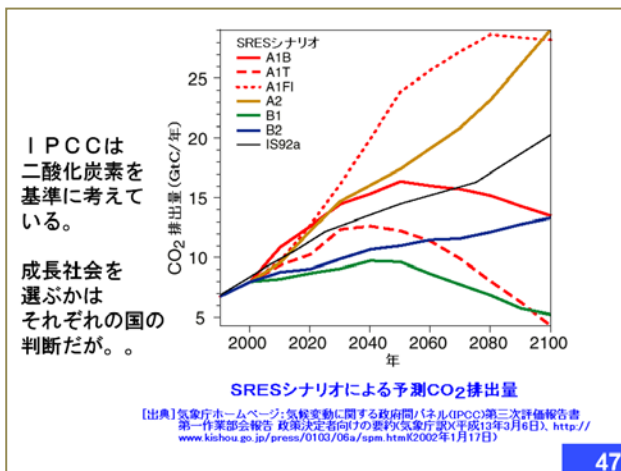
人類の未来像—IPCC報告書の例

シナリオ	A1	A2	B1	B2	IS92a
高成長社会	多文化社会	持続発展型社会	地域共存型社会	-	-
世界平均1人当り所得(2050年)	US\$20,000	US\$7,000	US\$13,000	US\$12,000	-
人口(2100年)	70億人	150億人	72億人	100億人	110億人
1次エネルギー需要(2100年)	2100EJ/年	1600EJ/年	820EJ/年	1400EJ/年	1500EJ/年
化石燃料からのCO2排出量(2100年)	130億t/年	300億t/年	60億t/年	140億t/年	200億t/年

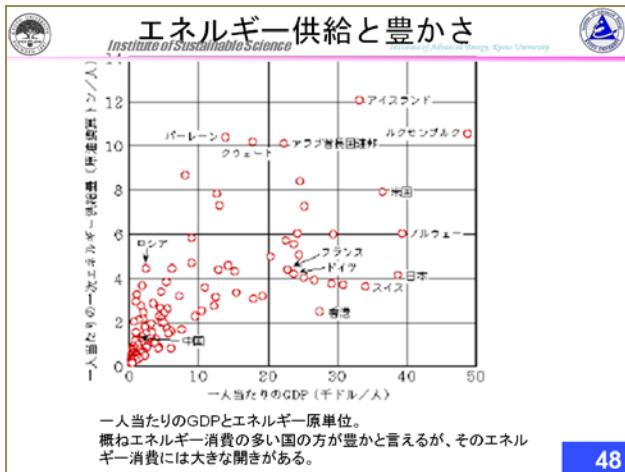
IPCC特別報告書(SRES)における排出シナリオ

46

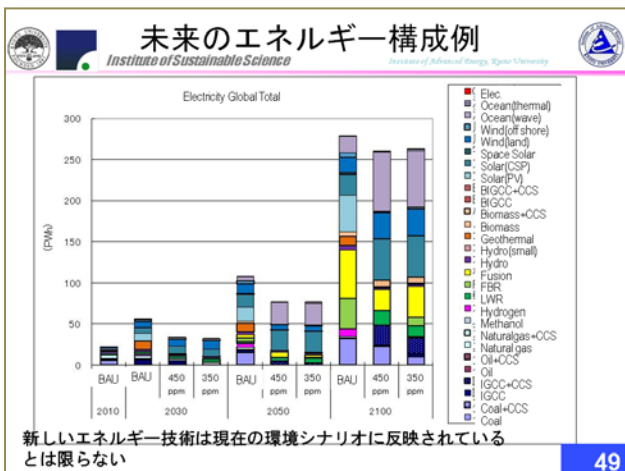
僕たちが地球の上で生き物を見ていると、ちょうど全部バランスが取れている状態で、この生態系は必ずそこに入ってくるエネルギーと出てくるエネルギーというのは、あたりまえですが、ちゃんとバランスするようになっているはずなんです。そういう例はいっぱいあって、人類のこれからのエネルギーの使い方については、地球温暖化問題として、色々語られています。その中で、二酸化炭素を放っておくとむちゃくちゃ増えてしまいます(図4-6)。なんとか頑張ればゼロに近くなる、減らせるというシナリオがあって、減らしながら人類が豊かになる方法があるんじゃないかということ色々考えた人たちもたくさんいるんですが、成長したければ、だいたいこっちにいつてしまうんですね。成長社会を選ぶかどうかというのは、それぞれの国の判断ですが、あたりまえですが、今のところ貧乏な国は絶対に二酸化炭素なんかどうでもいいから、もっともっとお金持ちになりたいといっています(図4-7)。



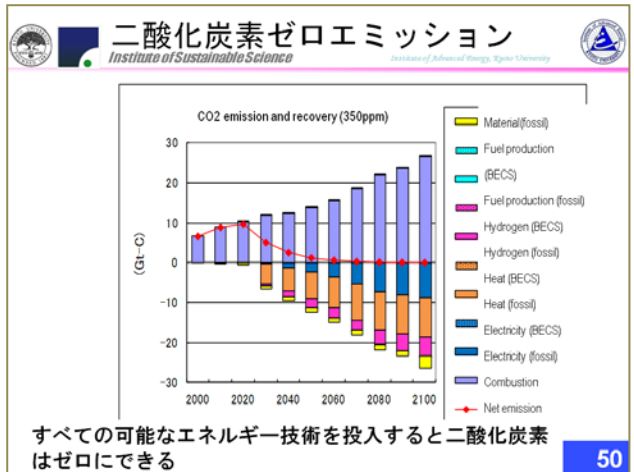
47



それはそうです。だって、一人当たりのエネルギー消費量と、一人当たりの収入というのは、だいたい右肩上がりの分布をしていて、その中でも日本は比較のお金はたくさん稼いでいるけれども、エネルギーの使い方は比較的少ない方で、多い国はこういう国があります (図48)。貧乏な国、まだまだ中国なんかも貧乏ですが、すでに日本と同じぐらいのエネルギーを使っていたりするところもあります。なんとかこういう国たちも、一斉に、できれば日本の方のラインには引っ張ってきたいわけですが、エネルギーをたくさん使った方が豊かになるということもまた事実だから、まだまだ貧乏だと思っている国は、これからたくさんエネルギーを使うというのは止められない。あとはこれで、地球を壊さずにどのようにしてやっていけるかというのは、なかなか答えは出ていませんが、実は答えはあるんです。色々なエネルギー技術を入れて、これから二酸化炭素が出ないようにしようというのは、いくつかの検討例があって、僕もやっていて、二酸化炭素がまったく出ないという答えのつくり方もあるんです (図49)。



あたりまえですが、再生可能エネルギーも使うし、原子力も使うし、火力は使っても二酸化炭素は埋めるし、とにかく二酸化炭素を絶対に出さないということを、かなり技術的には厳しいことをやりますが、技術的に厳しいことでもできないわけじゃない (図50)。今のところはそういう結論はありますが、二酸化炭素放出量が最終的にゼロになる。むしろ、エネルギーはマイナスにしなければならないです。ほかの産業で出しますから。こんなこともやります。



だけど、結局、人類社会がこれからつながっていくとしたら、昔からやっているやり方には、結構いいヒントがあるよねとって、実は私は焼き畑なんていうのも実験しています (図51)。焼き畑って、森林を燃やしてしまっていけないように思いますが、ちゃんと焼き畑を千年やっている国って、結構、アジアの国にはいっぱいあって、インドネシアとか。日本もそうです。今、ほとんど見ることはできなくなりましたが、むしろ一定期間、育てたところを燃やして灰にして、そこを畑にして、また新しい植物を育てる。こんなような



ことをやって、この国は一応、千年単位でもって来た。今の進み方は危ないのですが。

ということで、話をまとめますと、エネルギーというのは放っておいても被害は出るといえば出るんですが、必ず選択する時に、社会が自分の選択、自分の感じ方で評価する（図52）。その中に皆さんの感覚が絶対に入っています。社会が結局、選択して、そのリスク評価というのは、実は全員が参加しているので、これから日本が使うエネルギーというのは、よくも悪くも消費者の選択で決まっていきます。原子力を使っても使わなくても、それはこの国の勝手です。他の国はたぶん違う選択をするでしょう。

まとめ

Institute of Sustainable Science

エネルギーの被害—使っても使わなくても。

- ・貧困も、エネルギー不足も、人を殺すし不幸にする。
 - だからエネルギーを届けるシステムを人は開発してきた
 - 誰も、人が豊かになりたいという気持ちを止められない。
- ・環境問題もエネルギーの消費も、人を殺すし不幸にする。
 - 確定的な被害は可能な限り避けられ、リスクは確率で語られる
 - リスクは、社会の「感じ方」で評価される

エネルギーは、社会が選択する

- ・リスク評価は全員が参加している
 - 主役は消費者

人類全体の生存は、エネルギー選択によって決まる

52

その結果が、結局、エネルギー選択が人類全体を生存させるかどうか決めてしまいます。今までの石炭をいっぱい掘って、いっぱい使って、豊かになりましょうというモデルが崩れたことだけはわれわれみんな分かっています。さすがに。それはイギリスに始まった、ちょっと欧米的な考え方でしたでしょうか。日本の場合には、例えば、江戸時代300年みても、何しろエネルギーはまったく輸入していなくて、あれだけの文化を築いた（図53）。もちろん今、その50倍のエネルギーを使っていますから、江戸時代の生活に戻れるわけでは決してありません。でも、手元にあるエネルギーだけで、この国を食わせていくことは、どうも、この国の人にはできるので、この地ではなんとか世界中に広められるヒントがあるんじゃないのかなと思います。今、僕たちがやっているエネルギーの研究というのは、その中の一つではありますが、結局、選ぶのが皆さん方、消費者であるので、危ないものについても、高いものについても、安いものについても、安全なものについても

選ぶのは皆さんですので、中身をちょっと考えて、それで持続可能な社会をつくっていけるように考えてくださればいいかなと思っています。終わります。ありがとうございました。



【質疑応答】

会場：江戸時代の300年の人口の推移というのは、どうだったのでしょうか。

小西さん：だいたい1,500万人から3,000万人ぐらいに、270年かけて倍ぐらいに増えています。あたりまえですが、その間、結構皆さんひもじい思いもしたようですが、それなりに豊かだったという説もあります。何しろ当時、日本の生産品というのはお米の単位で測ったので、江戸時代の末期に日本の総お米生産は3,000万石だったそうです。3,000万人でしたから、一人が1年間に食べるお米はだいたい1石といわれていましたので、計算は合います。お米は通貨であったとともに食料で、食べる以外に使い途がないので、お酒にもしますが、そういう意味でいうと、そんなにすぐくみんなひもじい思いをしていたのではないこともたしかのようです。270年で倍というのは、低成長だけれども、安定社会かなという気がします。

会場：今の話に関連してですが、焼き畑がすごくよかったというのは、持続可能ということですが、今の方が人口が大分増えているので、みんなと同じことをやったらちょっとまずいんじゃないかと思ったのですが。

小西さん：当然、絶対にだめです。僕は日本中

で焼き畑をしろというつもりはまったくありません。重要なのは、すべてのというか、資源についてちょうど循環的にというか、持続可能に使うだけの知恵を持っていた、その知恵の中に何が働いているのかということ調べたくて焼き畑をやっているのですが、だから地面の中の養分が木に上がったのが、またそれで燃やして落として。当然、それで食べさせられる人口というのは、今から比べると4分の1ですから、我々はそういう意味でいうと、まったく新しい循環型の社会というのを、今のテクノロジーと世界中から色々な資源を持ってきて、なおかつ、循環的に使うという、そういうシステムでもっとたくさん人間がもっと豊かだけれども、やっぱり安定的に暮らせるというヒントがあるんじゃないかと思っています。だから、どんなものでも長続きしているものというのは、必ずその使い方に節度があるんですね。あたりまえですが。それがこれは日本の場合もそうですが、絶対に切っちゃいけない山ってあるんですね。インドネシアなんかに行ってもそうですが、神様がいて、ここは切っちゃだめよというのがあって、あるいはここは何十年に一回じゃないと切っちゃだめという、そのような何となくルールがあって、それでうまくいっている。だからわれわれは今、そういうルールなしに、とにかくひたすらたくさん、大量生産して、大量消費するというそういう社会になっているんですが、ちゃんとそこで節度を与えられるような新しい方法を考えなければならぬなど。そういうことです。

会場：私もたまたまちょっとつい最近、ミャンマーという国で焼き畑を見てきたんですが、夜になると山がこうこうと燃えていて、山火事かと思ったら焼き畑だということでびっくりしたんですが、文系で申し訳ないのですが、焼き畑って、単純に考えると、逆にCO₂を出して温暖化に貢献するようなイメージだったのですが、そういうことはありますか。

小西さん：二酸化炭素は当然出ています。だけど、逆に原生林が、ジャングルとか白神山地が温暖化に対して何かいいことをしているかという、何もしていないんですね。原生林というのは、成長が止まっているので、要するに、余分に生える

分と枯れる部分が実は同じ量になっていて、ずっと安定しちゃっているんです。だから、地球上の二酸化炭素は減らしてくれないんですよ。増やしてもいいんですが。焼き畑っていうのは、一時、そこで二酸化炭素が出るんですが、次に育つ時には本当に育つだけ二酸化炭素を吸収してくれるので、必ずしも悪いとはいえないんです。

会場：どうもありがとうございました。一件、質問ですが、先生が考えるエネルギーのベストミックスというのは、どのぐらいの割合で、年数にもあると思いますが、例えば、10年後でもいいんですが、それをどう考えられるかを教えていただけたらと思います。

小西さん：すみません。書いた質問でもいただいています。われわれ、先ほども言いましたが、処方箋は書けるんですが、こうなりたいと言っていたら、こういうのが一番いいですというのをつくれるだけのモデルをわれわれ専門家は持っているんです。だけど、じゃあ、お金をいくらぐらい、例えばGDPで、一人当たりいくらぐらいもらえるようにして、二酸化炭素をどのぐらい出すんだったら許してあげますという、そういうふうにいただけると、じゃあ、これとこれとこのぐらいに組み合わせたらいいんじゃないですかという答えは出ますよ。だけど、どんな社会を目指しているか分からないで処方箋は書けないんです。人によっては、あとの地球温暖化なんてどうでもいいから、お金をいっぱいかせいで豊かになりたいという人もいれば、貧乏をしてもいいから、不便してもいいから、とにかくエネルギーの消費を減らせという人もいます。どちらかという、どっちですか。

会場：どれというあれはありませんが、一つの基準としては、例えば今、2%ぐらいですね。例えば、日本の中でですが、そのぐらいの成長ということ前提にしたらどうかということです。極端にもすごくエネルギーを使って、素晴らしい生活をしようとか、逆に焼き畑で生きようとかそんなことは考えないわけですよ、大方の人は。

小西さん：そうですね。

会場：そのレベルで考えたら、どうなのかなというのが聞かせていただけたらと思います。

小西さん：その辺は大変穏当なご希望ですので、実は何をやってもできてしまいます、今度は。そこそこ二酸化炭素は減らせるし、今やっているように、原発を撤廃して、天然ガスとか石炭火力でやっても、ちゃんと IPCC ルールの中で二酸化炭素を減らしながらやることもできます。太陽光とか風力を増やすと、電気代が余分に高くなりますが、それでも何とか生きていけますし、原子力を動かした方がもう少し楽ではありますが、だからそれがいわゆる地球環境問題、温暖化問題、気候変動問題で後生の人たちに残す負担と、原子力を続けることで、あるいはやめることで起こる後生の負担と、どちらが多いのかというのは、やっぱりこれもまた選択肢になってしまいます。今の日本のエネルギーミックスというのは、結構、いい形をしていて、世界的に見ても、実は幅は大きいんですが、エネルギーの使い方の割には二酸化炭素の出方は少ないですし、もうちょっと太陽光とか風力を増やすことができますけど、せいぜい 10 パーセント以上は増えないでしょうね。水力もこれ以上増えない。あとは原子力を今、0 から 50 パーセントの間でやってみても、電気代は実は半分ぐらい違うのですが、生活でも経済規模でも、実はそんなに大きな変化が生まれませんでした。ちょっと実は僕もやってみて驚いたんですが、原子力を使わなければ、外国に余分に 10 兆円毎年払い続けることは確かです。でもその範囲内で、どうやっても社会というんですか、エネルギーの間には、お互いに交換できるというか弾力性があるって、日本はすでに結構いいシステムをつくっているんで、どちらにでも振れるという、ちょっと今、そういう状態にはなっています。その中で、ちょっと余分にお金が出ると、ちょっと余分に二酸化炭素が出るのと、その辺をやっぱり選択していくというぐらいの幅があると思ってください。

食べ物と同じなんです。今の日本人って、結構バランスの取れたご飯を食べていて、極端に偏っていない。それと同じで、今の日本のエネルギーはすでにある程度バランスが取れています。だって、現に原発が全部なくなっちゃっても、30 パーセント使っているって、われわれはほとんど生活に

変わらないじゃないですか。これが現実なんです。日本のエネルギーシステムは、そういう意味ですごく柔軟で、この間で依然として皆さんの選択にとりあえず任せる余裕はあります。ただ、最後の行き先は結構違うということです。

以上