

東京大学教養学部テーマ講義
「環境の世紀」講義録集 vol.2

平成 17 年 3 月作成

目次

1	はじめに	P.3
	東京大学大学院総合文化研究科 丸山真人	
2	東京大学教養学部テーマ講義「環境の世紀」講義録	
2.1	地球環境概論	P.4
	東京大学大学院総合文化研究科（当時） 石弘之	
2.2	環境問題の過去・現在・未来～トータルリスクミニマム思想～	P.24
	東京大学生産技術研究所 安井至	
2.3	生物の多様性とその保全	P.50
	東京大学大学院農学生命科学研究科 樋口広芳	
2.4	地球をめぐる水と水をめぐる人々	P.58
	東京大学生産技術研究所 沖大幹	
2.5	経済と環境	P.78
	東京大学大学院経済研究科・経済学部 石見徹	
2.6	駒場の学生にできること	P.88
	沖縄大学 宇井純	
2.7	学生による事例研究 ～携帯電話と環境～	P.98
	東京大学学生環境サークル 環境三四郎	
3	編集後記	P.117

1 はじめに

2003年3月に『東京大学教養学部テーマ講義「環境の世紀」講義録集』を発行してから、ちょうど2年がたちました。当初は商業出版を考えていましたが、諸般の事情により非売品扱いとし、テーマ講義を聴講した学生やこれからテーマ講義を聴講する学生、そしてこのテーマ講義に関心を寄せる学内外の方々に配布いたしました。

講義録作成の過程において、じつはまだすぐれた講義が採録されずに残されたままになっていたことがずっと気がかりになっていました。そこで、今回、講義録第2集として本書を出版することになりました。なお、2004年度の講義については、幸いなことに別途商業出版の見通しがたちましたので、この第2集では2003年以前の講義から、第1集に採録されなかったものを精選して掲載することにしました。

この講義録第2集が過去12年間のテーマ講義の歴史を振り返りつつ、21世紀の環境問題を考えるよき素材となること願ってやみません。なお、本講義録集に宇井純先生の講義を載せることができたことは何よりも喜ばしいことです。なぜなら、前回は紹介したように、「学生の手で環境問題の教科書を作ってみないか」とご提案されたのは他ならぬ宇井先生だったからです。こうして、これまでのテーマ講義の歴史を刻む講義録集と2004年度講義録の商業出版が可能になったことで、学生による教科書作りは徐々に軌道に乗り始めたといえるでしょう。

最後に、この講義録集への原稿掲載を快諾してくださった先生方に厚く御礼申し上げますとともに、熱心に編集作業を進めてくれた「環境三四郎」の諸君に感謝します。この講義録が多くの子供諸君の環境問題への関心を高め、その本質を見抜く力を涵養する一助となれば幸いです。

2005年2月16日

東京大学大学院総合文化研究科・教養学部

教授 丸山真人

教授 後藤則行

環境問題概論

東京大学大学院総合文化研究科（当時） 石 弘之

環境の世紀Ⅳ 第1回講義（1997年4月18日）

1. はじめに—ブラウンイシュー(Brown issue)とグリーンイシュー(Green issue) —

環境運動は自分たちがより良い生活を営むための運動であるという観点から考えると、環境問題はブラウン（茶色問題）とグリーン（緑色問題）に分けることができます。そしてそれぞれに対応した運動の主義主張として、ブラウンイシューとグリーンイシューが挙げられます。

「茶色問題」とは、まず先に環境汚染があるところから始まった環境問題です。茶色に汚れた水や空気を想像すると分かりやすいですね。この問題は高度成長期の日本については言うまでもないですが、現在深刻なのは途上国や旧東欧諸国です。これに対する反対運動や、改善を求める運動がブラウンイシューです。

「緑色問題」とは、自分たちの住んでいる空間をあまりにも、あるいは急速に変えることの問題です。森林伐採、地球温暖化、オゾン層破壊といった人類の危機の想定、広い意味で人類の生存に関わる問題、あるいは生活の質を問うことの問題とも言えます。グリーンイシューの一例としては、エコロジー運動と総称される運動を挙げることが出来るでしょう。日本では長い間このグリーンイシューの意識があまり無かったのですが、近年になってようやく注目されはじめました。

2. イントロダクション 日本における環境問題の特徴

今日皆さんに話したいのは、包括的に、今現在環境問題がどうなっているか、ということと、私自身のそれに対する認識です。

次回からは、多士済々な大変おもしろいメンバーがそれぞれの専門分野について詳しい話をされていきます。例えば今回は元環境庁長官の岩垂寿喜男さんで、この人はもともと社会党左派の労働運動の幹部でした。昔だったらそういう経歴を持つ人が大臣になって環境問題を扱うということは、夢にも思わなかったことです。彼が環境庁長官になったということは、今日本が抱える環境問題やそれに対する運動を象徴しています。

また樋口さんという人は日本を代表する鳥類学者で、ついこの間までは日本野鳥の会の研究員でした。民間の一グループの一研究員が東大にやって来て教授になって講義をするということも、今の日本の環境問題を象徴していますね。その他にも、加藤尚武先生は大変な論客で、かなり厳しい方だから、みなさんにも勉強してきてほしいのですが、この人はもともと哲学者でした。なぜ哲学者が今環境問題を語るのかということもおもしろいですね。

今ここでこうしている私は、以前は新聞記者をやっておまして、本学に来てから一年も経っていません。ですからまだ、ライフスタイル・考え方ともにジャーナリストの後遺症が残っており、この一年間はカルチャーショックの連続でした。

3. 地球環境問題概論

3.1. 乏しい知識による予測と判断を迫られる環境問題

環境問題には特徴的な危うさがあります。それは「実際に何が起きているかが、はっきりとはわからない」ということです。

例えば、地球が温暖化しているかどうかについては、実は議論が百出しています。オゾン層破壊についてはかなりはっきりしていますが、それでも、そのメカニズムや将来の予測、人類への影響など、全てがわかりきったわけではないのです。つまり科学的な知見が、環境の現象に対してあまりにも遅れを取っているのです。

「人間を含めた自然」ということを考え始めたのもつい最近のことです。わずか30年前くらいまで、私たちは環境問題について考えることさえありませんでした。そして、その後様々な環境汚染が発生することによって「科学的」な研究が始まりました。しかし科学の世界においては、対象をなるべく単純化したほうが論文としてきれいな結果が出ます。

このため、自然を研究する場に「人間」というファクターを外しやすい、という傾向があったのです。生態学者さえ、なるべく人間の影響が無い「きれいな自然」を選んでその仕組みを研究したのです。

実際、人間の活動が自然に加わると非常に複雑になります。人間は何をするかわかりません。木も切るし、川や海も汚すし、ゴミも捨てる。

環境についての私たちの知識は現在でも非常に乏しい。これだけDNAや宇宙の構造がわかってきたのに、私たちが吐き出した炭素が大気中をどう循環し、どう溜まっているのかさえわからないんです。呼吸したり発電をしたりすれば、二酸化炭素が出ることは確かですね。化石燃料の消費量からどのくらいの炭素が二酸化炭素に変わっているかも予測できる。しかし、毎年1ppmくらい増加している空気中のCO₂の濃度から逆算された結果とはかなりずれていて、20億トンもの差がある。これは「ミッシングシンク」と言われています。それくらい人間の知識はあやふやなのにも関わらず、私たちには二酸化炭素が増加すれば地球が温暖化するという危機感があり、もしそのメカニズムが完全に証明されれば未来の世代にとって大問題となる。非常に乏しい知識で判断を迫られるというのが環境問題の非常に大きなネックなのです。

3.2. 私たちの現代社会 ～20世紀初頭の未来予測は当たったか

20世紀の始まりの年、明治34年(1901年)1月3日のある新聞(読売新聞の前身)に、「20世紀の予測」という記事があります。最初の前書きには「20世紀とは人道時代である」と書いてあります。確かに人権は20世紀を代表する社会主張です。またこの記事には「婦人の時代だ」と書いてあり、ジェンダーの問題が100年近くも前に言われていたことについて、私は新鮮なショックを受けました。

『海底2万マイル』『80日間世界一周』などの作品を書いた19世紀末のSF作家、ジュール・ベルヌの未来予測で当たったものと外れたものを挙げてみましょう。

(当たったもの)

- ・ 2001年までに無線電話通信により世界各国と自由に通信
現在では携帯電話で国際電話が出来ますね。
- ・ 1000km離れた距離の間で、総天然色にて分かる
私たちは湾岸戦争をカラーテレビで見ました。
- ・ 70日間世界一周
いまは3日もあればできます。
- ・ 写真電話
テレビ電話がありますね。
- ・ 東京一神戸間が鉄道で2時間
3時間近くはかかるがほぼ実現しているといっているでしょう。
- ・ 馬車は廃止されてオートモビルに変わる
- ・ 石油ストーブが電気ストーブに変わる
- ・ アフリカの獅子、虎、ワニなどの野獣を大都会の博物館にて見ることが出来る
動物園が実現しています。(ただ当時の文脈では、「野獣がいなくなったら、けしからん」という意味ではなく、「野獣などは都会の博物館で見ただけでたくさんだ」という意味でした。)

(全く外れたもの)

- ・ サハラ砂漠が沃野と化して、東半球の文明は急速に発展
残念ながら、サハラ砂漠は拡大し、アフリカは衰退している地域があります。
- ・ 暴風雨制御
- ・ 人の身長は6尺(約1,8m)以上
一応平均身長は、戦後20cm伸びてはいます。

広い意味で、機械系については意外と予測が当たっていて、人間系については予測が外れていると言えるでしょう。

3.3. 人口の爆発

私は2つの大きな爆発が、20世紀後半の世界を変えたと考えています。それは、人口の爆発と欲求の爆発です。

人口について考えてみましょう。有史以前にせいぜい400万前後しかなかった世界人口は、18世紀の前半には10億人、今世紀の始め頃には20億人、1960年代には30億人、70年代には40億人、80年代には50億人、現在では58億人です。来世紀の始めには62億人くらいになると予想されています。

これだけ人口が異常に爆発した時代は、それ以前の人類の歴史には全くなかった。平均

体重が 50 k g もある人間以外の哺乳動物が全世界に広がった、ということも過去に例がありません。人口の爆発は 46 億年の地球の歴史において大異常事態なのです。

人口が 12 億人ほどだった 200 年前に、マルサスは人口論を書きました。今マルサスが生きていたら気絶するでしょうね。わずか 200 年ほどで 5 倍近くの人口を抱えている。ますます人口圧力の問題は深刻になっています。

人口は主に途上国で増えています。生まれてくる子供の 97% は途上国で生まれています。その人口は 1 年間で 9200 万人増えていて、10 年間で 9 億人から 10 億人増えている。隣国の中国は世界人口の 2 割、12 億人もの人口を抱えている。わずか 12 年で、途上国の人口は中国の人口分増える。想像を絶した人口圧力です。

1960 年から 70 年にかけて、人口増加率は 2% を超えた。これは 34 年間で倍増することです。銀行の複利預金と同じ複利計算ですから、34 年間預けたら預金が倍になると思ってください。それだけとてつもない人口の爆発が 60 年から 70 年にかけて起こったわけです。それ以後我々は反省して、人口増加「率」は減ってきました。

ところが、人口そのものは 80 年代から増え始めたわけです。これは当然のことで、出生率というのは生まれたときのことだから、20 年ほどしてからその子供が成長してまた子供を産むんですね。君らは「世界人口多いんだから子供産むのをやめなよ。」って言われても「いえ、一人か二人は産みます。」って言うでしょう。次の世代のお母さんがもういるということだから、世界人口は今後ともますます増え続けるだろうということになるわけです。

人が一人増えると食肉に換算して最低でも年間 200 k g、日本人だと 500 k g、アメリカ人だと 600 k g 必要です。人口と掛け合わせると大変な量の食料が必要になるかということもわかりますね。貧しい国は非常に人口が増え、富める国は徐々に人口が減り、ますます経済格差が広がっていくという循環です。

3.4. 破局の可能性

私たちは今チームを作って、世界人口が 80 億人になったとき、つまり 2020 年に地球はもつだろうか、果たして我々はその人口を養いきれるだろうか、という大きな問題を研究しています。それはいみじくも君らが 40 代の働き盛りです。

現在の人口は 58 億人ですね。君らが 70 年代になる 2050 年の半ばには、世界人口は間違いなく 100 億は超えるだろうと言われていています。しかし、それ以前に大破局が来て、人類がたくさん死ぬとも言われています。

例えば中世、14 世紀のペストがそうですね。当時のヨーロッパの人口は三分の一になった。それによってヨーロッパは過密状態から開放されて、大自然破壊を免れました。しかし、そのときは新世界が発見されて、新世界に人口をふりこむことができたのです。ヨーロッパは不幸なことに、一回はペストによって、一回は新世界の発見によって、過剰な人口の増加をまぬかれることができたわけですね。現在に例えれば、エイズが中世のペストのように地球への人口の圧力を減らすのではないかと考えられもしたのですが、今ではど

うやらさほど大きな影響はないだろうという説が有力です。しかしそうは言っても一部アフリカではエイズの問題は深刻ですね。ウガンダとか、タンザニアとか、ザイール、ザンビアといったところでは人口にかなり影響を及ぼし始めました。

それでも全世界では何しろ年間 9000 万人増えるので、エイズで年間 100 万人人口が減っても、ほとんど影響がないことになります。だからペストの再来ではありえない、と考えられています。ですからこのままですと、世界人口は 2020 年代に 80 億人、2050 年代に 100 億人くらいと予想されています。

4. 現代社会のおかれている位置 日本を中心に

4.1. 高齢化社会

65 歳以上の人口が全人口の 14%を超えるとその社会は「高齢化した」と定義されます。フランスでは 114 年かかりましたが、日本はわずか 25 年でした。

日本の出生率は昭和 30 年代の初めにはアフリカ並みでした。それからわずか 10 年間で先進国並みにまで来たのです。だから今になって日本は頭でっかちの高齢化社会にぶつかることになりました。

加えて平均寿命がのびています。日本の女性は世界最長です。従ってみなさんは 80 年くらい生きることになります。みなさんの頃には 86,7 歳くらいまでのびるでしょう。男性は女性に比して世界的に 4、5 歳短い。生物学的にそうなっているでしょう。

しかしアフリカの国々では、だいたい男性の方が長命です。女性はすさまじい重労働を課せられます。子供を 6 人も 7 人も産んで、労働もほとんど女性がやります。男性はほとんど何もやらないんです。

4.2. 世界の最貧国だった日本

今から 40 年ほど前の日本は、今のアフリカ並みの最貧国でした。我々は 40 年前には、世界中から様々な衣食の援助を受けていました。ですから私がまだ 10 代くらいの子供の頃は、今はアフリカを援助している「ケア・インターナショナル」といった団体や、それこそアメリカ人のむこうを回って、アメリカ人から食べ物をもたらしてきたわけです。それで 40 年経ってみたら、世界最富裕国です。その最富裕国がかつて世界から受けたような恩恵を世界に与えているかと、けしてそうではありません。「CARE」というのは今でも世界最大の援助団体の一つですが、この間日本でも「CARE Japan」というのができました。私は子ども心に、「CARE」と書かれた段ボール箱に援助物資がたくさん入っているのを憶えているわけですが、日本で出来たのに日本で援助がほとんど集まりません。日本はこういう国です。わずかな間に世界の最貧国から最富裕国にまでのし上がったということが、日本の最大の矛盾の一つです。環境資源問題についてもそうです。

4.3. 欲求の爆発

もう一つの爆発である欲求の爆発。これは人口問題よりも難しい話です。歴史上、私たちが生きる 20 世紀のような時代は、もちろんありません。今世紀の百年間で、世界の人口が 4 倍にふくらむ間に、世界の経済は 20 数倍になりました。私たちはバブルの世紀に生きているわけです。さてバブルをバブルたらしめた理由は何か。

みなさんだって豊かに育っていますね。我々の時代は「ご飯は残しちゃいけません。全部食べなさい。」って言われたのに、今は「そんなに食べたら太るからいい加減にしときなさい」って言われたりしませんか？

みなさんはこれだけ豊かになった理由は何だと思えますか？

(学生)「生活を良くしようとする意欲でしょうか。」

そうか。人間の向上心ね。うーんなるほど。じゃあ昔の人は向上心が無かったのかな。

(学生)「向上心と技術と科学があいまって、それがうまく行った。」

なるほど。人口問題も、裏返せば科学の進歩によって乳児死亡率が下がったことが大きいんですね。明治時代だって新生児 5,6 人の内だいたい育つのは半分くらいでした。アフリカもそうだったわけですが、今は乳児死亡率が減ってきましたから、新生児はだいたい生き残る。それは各家庭においては大変いいことです。しかし、医学にしても、可能な限り最上の医療を受けることで、全体的に見れば人口爆発につながるようになります。

科学技術は個々に対しては大変な恩恵をもたらしたけれども、全体に対しては良かったのか。つまり単に一方的な恩恵ではなくて、科学技術自身に内在するような歯止めはなかったのか。例えば人間は原子力を開放しました。これは 20 世紀最大の発明の一つです。単なる物理理論だったものが膨大なエネルギーを生み出すことができるようになりました。

しかし一方で、原子爆弾という、人類がはじめて自分たちの手で皆殺しにできる道具をつくったのです。今核軍縮によってだいぶ減ってきましたけれども、それでも世界中を何度も滅ぼすだけの核兵器がこの世界上にあります。これは 20 世紀の最大の問題の一つで、いろんな意味で 20 世紀の人々の主張に大変な影響を与えてきました。

4.4. 欲求の歯止め

いかなる社会においても欲求の歯止めがあります。アマゾンのインディオは、自分たちの生活をサステイナブル（持続可能）にするために、例えば 5 つの木の実のうち 2 つしか採ってはいけないといった掟を持っています。日本社会でもそういうことはありました。日本の森林は大変守られています。これだけ森林が守られたというのは世界でも大変珍しいくらいです。例えば江戸時代の農民には山に入るときの掟がありました。

- ・馬や牛といった家畜類を連れて入ってはいけない。
- ・持って入っていいものは、縄が一本、手斧が一本のみ。のこぎりは禁止。

その結果どういうことになるかというと、人間が薪を取りに山に入ったときに、馬を持って入れば大量に山から運び出すことが出来ますが、人間が肩で担いでくる量なんてたか

が知れていますね。それに縄一本で縛れる量も限られています。のこぎりでなくて、斧なら切り出せる量も限られてくる。というように、生産手段の規制によって日本は山を守ってきました。それは法律でも何でもなくて、タブー、不文律的なものによってであったのです。ところがその後私たちは、社会を支配していた様々なものを「因習」として切り捨ててきました。

4.5. 授業中の野球帽と援助交際

本校に来て最大のショックの一つは、一年生の最初の「基礎演習」の講義中に、野球帽をかぶっている生徒がいたことです。僕は彼に「おかしいじゃないか、何故帽子をかぶっているんだ。」と言って、僕も短気だからいきなり怒鳴りかかったのです。しかし私も一旦は本校に来てから人間が出来てきたものですから、ここでぐっと思いとどまりました。

夏目漱石の故事を聞いたことがありますか。かつて夏目漱石は旧制一高の教授でした。当時はみんな、学生も先生も和服でした。そのうち一人の学生が腕をふところに入れていたのです。そしたら夏目漱石は、カーツと頭に来て、「懐手をして聴講するとは何事だ。」と怒鳴りつけたのです。ところが実はその学生は片腕がなかったのです。夏目漱石はびっくりして、慌てて「君、僕だって無い知恵を出してるんだから、君だって無い腕を出してくれたまえ。」というユーモアで切り返した、という故事があります。私もそれを思いだし、この生徒もガンか何かで、例えば副作用とかで頭の毛が全くなかったりしたら、これはいけないと思って、「君は何故帽子をかぶっているのかね」と優しくきいてみました。すると何も答えないのです。だんだん腹が立ってきました、結局最後は怒鳴ったんですが、彼は「今朝起きたら、寝ぐせで頭が爆発状態だったんですよ。」と言うのです。「君はたかが寝ぐせくらいで授業中に帽子をかぶっていてもいいのか。」と言うと、「いいと思います。」と言うのです。

考えてみると、授業中に帽子をかぶっちゃいけないというのは、我々の世代の価値観であって、ある意味では因習かもしれなのです。確かに帽子をかぶっていることによって他人に迷惑はかからないですよ。僕なんかにとっては目障りで仕方がないから、非常に迷惑ですが。それでわかったのは「授業中に帽子をかぶってはいけないということを、論理的に証明することはできない」ということです。

ついこの間から、女の子たちの援助交際と称する売春が物議を醸しています。我々にとっては単なる売春なんですね。売る方も買う方もおかしいじゃないかと。しかもそんな十代のローティーンの売春なんてけしからんと、僕らの価値観では思う。ところが彼女たちの反論がのっている雑誌とかを読んでいると、例えば「コンビニでレジのアルバイトなんてやっちゃいけないと言わないけど、それと私たちが体を売っていることとどう違うんですか」と書いてありました。突き詰めていくと、援助交際という売春行為をやってはならないということを、論理的に証明することは非常に難しいということがわかってきたのです。最後は「いけないもんはいけない」といって叱りつけるほかに対処できないのです。

4.6. タブーの開放

以上は非常に卑近な例ですが、このように、私たちの世代は多くのタブーから開放された。タブーっていうのは生活上厄介なものです。禁止事項を、村の掟で決めて、破れば村八分になるわけです。村には十の掟があって、八分っていうのは冠婚と葬祭を除く掟です。冠婚葬祭だけは手伝ってもらえるけど、それ以外は一切仲間から放り出すということです。

私たちはタブーっていうのは無ければ無いでいいと思いました。今はお金があったら何でもできます。人に迷惑さえかけなければ何やってもいいんじゃない？

何を食おうと、どんなゴミをどう捨てようと、エアコンをガンガン使おうと、どんな自動車を買おうと、「いいじゃないか、何故悪いんだ」と言うでしょう？例えば「学生に分際で車を乗り回すとは何事だ」なんて言ったって、「自分で稼いだ金を使って何が悪いんですか。分際とは何ですか。私だって車の免許をもらえるだけの年齢には達しているんです。」帽子と同じで反論できないのです。

社会は個々の自由度を一つ一つ制御することによって、全体の幸せをある意味では調和してきたわけです。しかしこの世代によって全ての欲求が開放されて、例えば僕がニューヨークにいたときに、1980年のアメリカ最高裁判決で、ポルノを解禁していいかどうかという裁判が最高裁まで行きました。多数決で判決が出るんですが、僅差でポルノの解禁を認めたわけです。それから一気にアメリカはポルノ化するわけですね。そのときの議論は、「何故裸を見せちゃいけないんですか。裁判長、あなたは裸になったら猥褻物を持っているでしょう。」と言ったときに、裁判長も「ないというわけではない」んですね。男性か女性だったら、裸で歩いていたら猥褻物陳列罪で捕まるものをみんな持っているわけです（持ってなかったら別の問題ですが）。そして「みんな持っている物を見せて何故悪いんですか。」と言ったときに、さっきの帽子と同じで論理的に説明出来ないのです。「それは欲情を催させる」と日本の法律に書いてあるけれども、それは催す方が悪いのですし、皆さんお風呂に入って自分の裸を見て欲情しないですね。でもそういう論理になってしまう。

我々人類は、何千年のうちに、不合理かもしれないけど全体の福祉としての様々な規制、もっと重々しいところでは一つの不文律を作って、いくつかのレベルをもって続けてきた。それを、20世紀に全部とっばらっちゃった。ですからそこで、欲求の爆発がおきたんですね。それまでは「分」があった。学生は学生らしく、社会人は社会人らしく、教授は教授らしく、もっと上品な冗談を言えといった、そういう「分」があった。そういう「分」がなくなったわけですね。

5. 欲求爆発の世界化

5.1. 欲求の世界的具現化

いろいろな国連統計によると例えば1950年から94年の間に人口は2倍増えたわけです。

ところが世界の総輸出額、天然ガスとか紙といった消費は、人口をはるかに上回るペースで増加しました。これらは全て、私たちの欲求の開放でした。

いかに我々の世代が、倫理観を失ったかということではないでしょうか。倫理の正体というのは時代によって変わるわけですから非常に難しい。次の世代は全員が野球帽かぶって教室に入ってくるかもしれない。それはまあ難しいところですね。人口の爆発と、物質の消費の爆発がぶつかれば、すぎまじい勢いで経済がふくらむわけです。私たちはこれは当然いいことだと思っていた。冬は暖かく、夏は涼しく、夜は明るく、ね。食いたいものを食って、見たいものを見て、遊びたいように遊ぶ。いいじゃないか。しかしその中で一つだけ忘れていたのは、内部的な経済が持つかどうか、ということですね。車持ったらいいじゃないか、と。

しかし石油はいつまであるんですか。あなたの車から出た排気ガスによってどれだけ空気が汚されていくのか。あるいはその中の二酸化炭素によってどれだけ地球温暖化が進んでいくのか。ということはほとんどみんなが考えないままに欲求を爆発させたわけですね。一度留め金が外れると、もう元には戻りません。帽子をかぶってくる子を一人認めれば、それからは私が帽子を阻止できなくなるようなものです。

5.2. 鉱物資源の枯渇

今度は鉱石量全体を占める採掘量の割合について考えてみましょう。簡単に言うと、地球上にどれだけ金属があるかの推定値と、我々はどれだけ使ったのかということです。例えば水銀は、地球上にある利用可能な資源の 8 割を使いきました。水銀を使い始めたのは、日本では古墳時代からです。水銀は防腐効果が強いですから、棺桶にじかに塗るとか、あるいは社の鳥居の赤い色は水銀で塗ったものです。ですから、水銀に至っては 8 割、金もだいたい 8 割近いですね。

ところが今まで使った金を全部集めても、50 メートルプールの半分くらいしかありません。だから値段が高いわけですが、その金を 8 割近く使いました。他の数字では、銅が半分です。我々がこんな大量消費を始めてわずか 4,50 年のことです。産業革命からとしても 200 年でしょう。

理論的にはあと 40 億年の間、この地球上に人間が生きることになっています。つまり 40 億年後に地球が太陽に飲み込まれて、カラカラに乾くまで生きると言われています。例えば 40 億年後に生きる人間はどうするのか。わずか 200 年で私たちはこれだけの金属を使ったわけです。「地球が小さくなった、狭くなった」と言いますが、物質的にはこれだけ使ったということを皆さん肝に銘じていただきたいですね。

石油これもしよっちゅういろいろと話題になります。「確認埋蔵量」(2)と「推定埋蔵量」(3)とを比較してみましょう。それにもう一つ、私たちの需要の伸びを考えてみましょう。すると確認埋蔵量と需要は 2020 年代でクロスしますので、今持っている確かな石油埋蔵量は、2020 年代に食い尽くします。また、指定埋蔵量という、これだけあってもおかしくな

いというめいっぱい引き伸ばした数字も、2040年ごろにはクロスします。もちろん新たな油田が発掘されますから、単純に全ての石油が無くなるということはないでしょうけれども、いずれにしても有限だということです。石油は生まれているかもしれないけど、使用できるまでには何億年もかかるわけですから、今石油が生まれても今使えません。

石油というのは現代の文明を支える、最大の欠くべからざるファクターの一つです。それが残りわずか40年足らずです。非常に危なっかしげに私たちの文明は成り立っているわけです。石油をこれだけ使い始めたのは1960年代からです。わずか3,40年の間に、人間はこれだけ熱量が高く、運搬が楽で、毒性も無い資源を、人間はもう枯渇させようとしているわけです。

5.3. Renewable な資源、Unrenewable な資源

以上に述べたようなものは始めから Unrenewable な資源ですね。つまり一度使ってしまったらもう戻ってきません。これに対して Renewable な資源、再利用可能な資源がありますね。Renewable な資源の代表的なものは何ですか。何を最初に思いつきますか？

(学生)「アルミですか。」

アルミは掘っちゃったらなくなります。こういったものとして一番代表的なものは木材です。木材というのはちゃんと育てれば回復しますから。私たちの御先祖はちゃんと木を植えて、育ててきました。

ところが現実にはどうか。東南アジアでは、タイの国土面積の65%が森林でしたが(1960)、今は16%だけです。わずかにちょっと天然が残っていますが、これは国立公園です。インドネシアの森林は、日本が全部使ってしまいました。フィリピンは完全に日本が丸ごと取ってしまいました。戦争直後に日本の大都市は焼け野原でした。焼け野原から奇跡の復興を遂げるには当然様々な物資が必要となります。中でも木が必要です。その木を、ほとんどフィリピンから持ってきたのです。ラワン材をごぞんじですか。輸入材の代表です。ラワンの意味はフィリピンのタガログ語で「大きな木」という意味です。日本はラワンというタガログ語が無意味になるくらい、森林の木を片っ端から日本に運びこんだのです。その結果、今現在はほとんど木がありません。丸坊主です。

1960年以前、フィリピンにはほとんど自然災害がありませんでした。今は世界で3番目の自然災害の被災国です。台風が近くを通ればたちまち大洪水、台風が通らなければ今度は水不足、至るところでがけ崩れ、とひどい状態です。これは丸坊主にしたせいです。

それからかつて日本が関東大震災の時に、東京横浜を復興するために、軍隊を動員して、朝鮮半島の木を片っ端から切りました。朝鮮半島の森林は日本の関東大震災の際、枯渇的に使用されました。次は第二次世界大戦、その次は朝鮮戦争。その結果、韓国はものすごく自然災害が多かったのです。今はだいたい木を植えたからかなり良くなってきましたけれど。

以上のように、私たちは日本は奇跡の復興を遂げたと言っていますけれど、この間に誰

を泣かしたかということは、今度の従軍慰安婦にしてもそうですが誰も考えないのです。これは日本人の大きな過失だと思います。

森林というのは、うまく使えば永久的に回るのに、例えば熱帯林はあと 150 年分しか無いのです。それから私たちが非常によく使う温帯性の広葉樹林はざっと 60 年分くらいしかない。半永久的に使えるものを、私たちは切ったまま植えないので、当然のことながら木は無くなっていく。このように、**Renewable** な資源でさえ私たちは、ひどい目に合わせています。馬鹿なことをしているわけです。

私はアフリカの国連機関で、砂漠化防止のために働いたことがあります。世界の砂漠化にしても同じです。土とは単なる土ではなくて、生き物の固まりです。よく言われるように、ティースプーン一杯の理想的な土には一億以上の生き物がいます。それはカビであったり、小さな小さな昆虫であったり、地面の中はそれこそ生き物に満ち満ちているわけです。だから、「土壌」なんです。土ってのは単なる鉱物ではない。単なる火山が爆発した鉱物質が粉になって、その中に無数の生物が住み込んで、地面の中に生態系を作ってはじめて「土」となるわけですね。そこで人間の食物を生産し、森林を生産するわけです。それだけの生命の固まりをもとの鉱物質に戻してしまう過程が砂漠化なんです。

砂漠は世界で毎年 600 万 ha 広がっています。ちなみに日本の農地面積は 600 万 ha くらいですが、今どんどん減っています。これは減反のためです。つまり、ほぼ日本の農地面積を上回る面積が、毎年砂漠化して不毛になっているわけです。

もう一つだけ挙げると、もう一つの **Renewable** な資源の代表は漁業資源です。魚も卵を産んで、また大きくなるわけだから永久的に回っているわけです。これは世界の海洋生産、漁獲量の伸びを見てみましょう。1950 年のときは 2000 万トンだったのが、今は 1 億トン近くです。ここまで獲ってしまうと理論的に **Renewable** でなくなるという線を書いてみます。これは銀行に例えると、元金に手をつける、食いつぶすということです。だからこの線を超えたら、ほんとは漁獲量を少なくしないと魚がいなくなってしまうのですが、1980 年代末に入るとこの線を超えています。つまり私たちは、海の魚を枯渇させようとしているわけです。現実には、東南アジアや日本近海では、魚が少なくなって来ています。うまく獲って、資源管理をして、利子を使う分には良かったのに、私たちはついに元金まで食いつぶしはじめたのです。ですからこれも **Renewable** ではなくなってしまっている。馬鹿な話です。森林にしても、土壌にしても、漁業資源にしても、うまく管理すれば子々孫々うまく使えるはずなのに、今はそうではなくしてしまいました。

Unrenewable な資源、鉱物資源やエネルギー資源は、人間がどんどん掘り尽くしたので、底が見えてきた。同時にもっとうまく使えば半永久的に使える、**Renewable** (再生可能な) 資源も、人間はだめにしたのです。

6. 共時的不平等の拡大

6.1. 南北問題のワイングラフ

このような2つの爆発の結果どうなったか。「南北問題のワイングラフ」という図をご存じですか。何を意味するかというと、縦軸は5等分した世界人口、横軸はGNPです。いま58億人ですけど60億人とみなします。この一つのブロックが12億人。これ(一番上)が世界で最も豊かな国々の12億人ですね。この中にはもちろん、アメリカ、ヨーロッパ、日本があります。それからだんだん貧しくなると、一番下には世界で最も貧しい12億人がいるわけですね。どこでしょうか、この国々は。

(学生)「メキシコ？」

メキシコはもう少し上ですね。

(学生)「えー、ソマリア？」

苦しそうですね。あまりいい例ではないです。

(学生)「インド？」

インドは最近すごく高度経済成長しているからもう少し上ですね。

(学生)「ネパール？」

そうですね。あとはバングラディシュなどです。

以上のように、世界で金持ちの2割の国々が世界のGNPの84%を占めています。一方で、一番貧しい2割の人々、ネパール、ソマリア、バングラディシュといった国々では、人の数は同じなのに、経済を1%しか持っていないのです。これは極端な南北問題です。このグラフは、だから、この形からワイングラフと呼ばれるわけです。私たちは経済を爆発させた、そして彼らは人口を爆発させたということです。

6.2. 国内における経済格差

今度は国内における経済格差を考えてみましょう。1994年には、国内の最も富裕な20%と、最も貧しい20%の所得格差を見てみると、アメリカは9倍くらいです。ところが日本はわずか5倍。ポーランド、ハンガリーがこのあとに続きます。日本は旧社会主義圏並みに所得格差が低いということです。一つの会社の中では、日本だと例えばトヨタに入ると、トヨタの中で一番月給が安い人間、これはおそらく年収にして二百数十万円でしょう。それから社長、おそらく二、三千万円くらいでしょう。社長という一番の高給取りと一番の下っ端との間で、せいぜい数十倍しか差がありません。ところがアメリカのGMだと、あそこの会長は年間に100億くらい取りますから、千倍くらいの差があります。一企業をとってみても日本は非常に所得格差が少ない。

一方でアフリカの途上国などでは30倍40倍のすさまじい差があるわけです。ですから途上国における、国際的なアンバランスに対して、国内のアンバランスというのがあります。これは非常に大きな問題です。アメリカはレーガン政権以降、非常に国内の差が広がっています。これも一つの大きな不安定要因です。逆に見れば、ほんとお金持ちの2割が全資源の8割を握っていて、残る8割の人は、全部まとめてもわずかのものしか入って

こない。資源にしても、食料にしても、エネルギーにしても、みんなそうです。このようなアンバランスが、非常に大きな意味で環境に対してインパクトを与えています。

6.3. 人工衛星から見た地球の夜 ～増え続ける二酸化炭素の排出

この図は何でしょうか。

(学生)「……？」

これは人工衛星から撮った、地球の夜の部分だけを撮って合成した写真です。黄色いのが光です。アメリカの東海岸、ニューヨークから、ワシントンを通して、このあたりは五大湖の工業地帯、シカゴあたりが明るい。それからサンフランシスコからロスアンゼルスにかけてです。ヨーロッパも日本もすごい。全日本列島は電気の渦ですね。日本海が明るいけどこれは？

(学生)「船の漁火」

そうそう、何の漁火ですか。

(学生)「いか」

そうそう。これはいか漁の集魚灯です。これだけすごいんです。いまイカを獲るときには後樂園のドームくらいになる光をつけてイカを集めますから、これもだんだん大型化しているわけですね。ですからイカの資源が枯渇しているわけです。

さて何故このアフリカのサハラ砂漠にこんな赤い点があるのかな。とても町があるとは思えませんね。

(学生)「焼き畑」

そのとおり。焼き畑の光、つまり森林を焼いている光です。アマゾン、アフリカ、東南アジアもずいぶんありますね。じゃあこの湾岸地域が明るいのは何故でしょう。

(学生)「油田」

そうそう。油田の何。

(学生)「油田の火が」

もうちょっと！油田の火が？

(学生)「油田が壊れたりしている。湾岸戦争とか。」

油田が火事になっている？湾岸戦争のときは火事になったかもしれないけど、あれはみんな止まりましたね。油田までは合ってます。油田の排ガスを燃やしている火です。油田では、ガスは燃やします。それからは天然ガスが取れるのに全部燃やしているのです。

だからこの明かりの原因は 3 つあります。電気の火と、森林を焼いている火と、石油を焼いている火です。これはある意味では人間の文明ですね。文明とは、ある意味「明るいこと」です。アフリカとか、アマゾンとかに住んでみますと本当に実感しますが、明るいことが文明です。夜中、アフリカでもアマゾンでもだいたい熱帯では 6 時に日が暮れますから、朝 6 時に日が上がって 6 時に日が暮れます。町に出てくると、日本から比べたら暗い町でも文明だと思います。我々の文明は明るかったのです。

ところが、その文明がとんでもないのです。今の光が全部CO₂になりますから、結局大気中のCO₂が増えているわけですね。1958年にハワイのマウナロアという山頂で、24時間の大気中のCO₂濃度の測定が始まります。これ以前にも測定結果のグラフがありまして、これはだいたい産業革命以来の測定値です。日本では1988年に岩手県で、24時間測定が始まります。いずれにしても大気中のCO₂が増えているのが明らかです。

1年の間にも山と谷があります。山はだいたい1,2月で、植物が活動しないため、大気中に炭酸ガスがたまるからです。谷は6,7月です。植物が一斉にCO₂を取り込んで炭酸同化作用をはじめ、消費するわけです。ちなみに南極での観測結果では、植物がないので山の勾配が緩やかです。

世界中のどの大気を採っても、刻々と炭酸ガスが増えています。ですからみなさんが今一生懸命吸っている空気、この空気も本来の「清浄な」空気から比べれば20%以上炭酸ガスが多いわけです。ですから、おいしいでしょう？ビールってのは炭酸ガスの固まりなんだから。

6.4. エネルギー消費量の増大

二酸化炭素排出量の増加。その背後にはどうやらさっきも言った人間の欲求の爆発があるようです。それは一番端的にはエネルギー消費量の増大です。贅沢とは、いかにたくさんエネルギーを使うかということでしょう。自動車に乗るのも、コンピュータゲームもエネルギーでしょう。

これは人間が使ったエネルギー量を見て行くと1950年ごろから増えています。50年前より以前というと、人類の歴史は500万年近くまで遡っていますから、500万年ですね。人類が1950年までに使った全エネルギー、これはたぶんほとんどが薪炭とか泥炭などでしょう。それから人間が、1950年以降過去50年間に使ったエネルギーというと、石油を筆頭に石油石炭が多いですね。60年以降のエネルギー革命後は石油が中心になってきます。

さて、1950年を境にしてどちらの総量が大きいのでしょうか。答は、過去50年に使ったエネルギーが、それ以前の500万年に使ったエネルギーよりも多いんです。ということは過去50年間にいかに私たちがばかばかしいほどのエネルギーを使ってきたか、ということです。

ですからみなさんは人類史上、かつての王侯貴族も及ばなかったような贅沢なエネルギーの使い方をしているわけです。その結果みんなの家の身の回りにはいくつくらいの電気製品がありますか。君は下宿ですか？

(学生)「はい」

君の下宿の中にいくつくらい電気製品がありますか。一つ一つが電気を食わせないと動かないわけですね。10じゃきかないか。

(学生)「きかないですねえ。15,6」

そんなにありますか。とにかく電力消費は炭酸ガス排出に変わるわけです。

7. 地球温暖化

7.1. 気候変動と二酸化炭素排出の増加

日本を例にとりますと、炭酸ガスの年間総排出量は世界で4番目くらいです。1番がアメリカで2番が旧ソ連、3番目が中国、で日本が4番目です。世界第4番目、これだけの工業国にしてはまあまあですね。一人あたりの消費エネルギーからすると、日本は世界の20番目以下です。日本の上位には北朝鮮、カザフスタン、トルメキスタン、ポーランドやハンガリーが入っています。それは日本が省エネルギーに大変成功した国だからです。日本は輸出国だから石油を買ってきて付加価値の高いものに変えて国外に売らないといけません。2回の石油ショックで、日本は競争するために大変エネルギーの使い方を工夫したので、これは結果的には大変いいことで、日本は省エネルギーが大変進みましたから、1993年くらいまでは実は消費エネルギーが減っているんです。

ところが94年からはぼーんと増えてきた。一番大きなものは民生部門です。なぜか。みんながでかいRVに乗ったり、カラーテレビをでかいブラウン管にしたり、でかい冷蔵庫に買い替えていったことです。でかいことはいいことだ、みんな広告に乗っかって、そういうような一人一人の生活が向上していったのです。

産業部門はあまり大きな変化はないです。産業部門はエネルギーを買って競争しています。エネルギーを使い過ぎたら負けますから、そのようなインセンティブが働いたわけです。心配なのは、去年あたりからまた石油代が安くなったことです。私は石油の値段をどんどん上げるべきだと主張しているんですが、また下がってきたために、石油の使い方がどんどん消費的になってきたのです。

さて世界的に気温の上昇が始まるのは1960年くらいです。このあたりからあちこちで気温の測定が始まります。もちろん断片的には15,6世紀くらいから気温の測定はありますが、信頼すべきデータは大体過去130年くらいです。世界の共通点を見ますと、大体今世紀の前半は冷たく、そのあとどんどん上がって、80年代以降は特にすさまじい勢いで上がっています。これが今世界で騒がれている地球温暖化という言葉ですね。

今年は大変大きな会議があります。正確にはですね、1992年の地球サミットで出来た「気候変動枠組み条約」の第3回締約国会議ですね。将来の二酸化炭素の排出削減計画を決めようという条約加盟国の会議です。それを京都で12月1日から10日まで開くわけです。

7.2. 地球温暖化の科学的根拠 ～不確実な見通し

ただし、温暖化の因果関係の詳細はよくわからないのです。だいたい気象予報で明日の雨が降るかどうかもよくわからない人間が、あと100年後のことを分かるものか、と私も実は陰ながら思っています、そのことを言いましたら、香港の気象学の先生にえらく怒られた経験があります。

最初に言ったように、私たちの環境に対する科学的知見はまだまだ貧しいのです。ですから比喩で言えば、今後地球が暖まるかどうかということに対して 10 だけ科学的な知識が必要だと仮定すれば、私たちはせいぜい 2 か 3 しか当たっていません。それで議論しなきゃいけない。人間の苦しきですね。ですから私たちの先輩はさぼったのです。一所懸命原子爆弾を作る技術は開発しても、地球の環境はどうなっているかという科学的研究をしなかったんですね。

それで例えば、宮沢賢治に地球温暖化をモチーフにした小説があるのを知っていますか。その中には地球温暖化の話が出てくるのです。宮沢賢治はそのとき既に二酸化炭素が地球を暖める理論を知っていました。彼は東北の冷害で大変悩んだ人ですから、火山に穴掘って爆破させて、炭酸ガスを増やして、それで地球を暖めるということを小説の中で使っているのです。ですから地球温暖化理論というのは 1890 年代にもう確立されているんですね。これは周期律表を作った人でもあるアレニウスというスウェーデンの科学者が考えました。

そのとき彼が既に心配しているわけですけど、このあたり（1960 年代）で地球は冷えてきているわけです。実はこのあたりから私は新聞社で働いておまして、「当時は実際地球が冷えてきた、このまま地球は氷河期に突入するんじゃないか」という記事を実は書いていたんです。今でもちょっと恥ずかしいんですが。

けどもね、今は地球温暖化の権威とされている大気象学者たちが、当時は「冷える地球」とか「凍りつく地球」だとか本を平気で書いていたのです。彼らは手のひらを返したように「灼熱の地球」なんて本を書いています。つまり気象は見通しにくいのです。ですから気温が下がって 3,4 年冷たい年が続けば、みんなあっけらかんと忘れるでしょう。

新聞の切り抜きを検索してみますと、その年の気温が上がると二酸化炭素の記事が増えるんです。寒いとそうはならないです。93 年の冷害の時にはほとんど二酸化炭素の記事は載らなかったです。というわけで、人間というのは現状重視で、現状が将来を決めるのです。現状が暗いと将来も暗いのです。今みたいに何となく経済がうまくいなくて暗いと将来暗いのです。また経済成長が戻ってきて「バブルだ！」って浮かれ出すと、たちまち将来明るくなるのです。だから人間の将来予測なんてのはそういう性質がずいぶんあるんだということです。

7.3. 地球温暖化と酸性雨の相関

これは少しショッキングなことです。IPCC(1)がつくった地球温暖化の今後に関する調査(4)に従うと以下の結果を得ます。

成層圏まで上がった酸性雨の粉塵というのは、地球を冷やす効果があるんです。だから酸性雨がひどくなればなるほど、地球を冷やす効果があります。おもしろいですね。この予測は酸性雨の効果を入れた結果です。酸性雨の効果を入れると冷えてきて、実は実測値とよく合うわけですね。だからそれだけ酸性雨がひどかったんですね。日本は過去 20 年間で酸性雨対策、SO_x対策が進んで亜硫酸ガスの排出量を過去 20 年間で 6 分の 1 まで下げ

ました。世界の奇跡中の奇跡です。どこの国も亜硫酸ガス排出量を少し下げるので精一杯なのに、6分の1まで下げました。ところがこの日本でさっぱり酸性雨の被害が減りません。アメリカでもスウェーデンでも、ずいぶん酸性雨の原因物質は減ったのに、被害は減らないのです。これにはもう一つほこりという要因のためです。例えば自動車が走ればほこりがたちます。工場が稼働すればほこりが出てきます。そのほこりというのはかなりの部分が非常に強いアルカリ性なんです。道路から巻き上がる土ぼこりもアルカリ性なんです。アルカリ性ですから当然酸性を中和してくれますから、土ぼこりがあれば酸性雨の被害が少なくなる。しかし世界的に大気汚染対策が進んでいるため、浮遊粉塵としてほこりを徹底的に取り締まったんですね。そのため、酸性雨の中和物質が無くなって酸性雨の被害がひどくなるのです。

一番典型的な例は、中国からかなりの酸性雨が来ていることです。日本全国に降る亜硫酸ガスの6割は実は中国から飛んでくるんですね。日本海側、新潟、富山、石川、京都といったところでは、12月から2月まではかなり強い酸性雨が降るんです。特に能登半島、能登の出身いるか？能登半島はずいぶん木が枯れています。あれは中国からの越境酸性雨だといわれています。ところが、3月の初め、2月の末くらいからばたっと酸性雨が来なくなるんです。何故でしょう？

(学生)「黄河から黄色い土が。黄土？」

黄砂のこと？

(学生)「黄砂。はい。」

黄土高原から降ってくる黄砂、そうですね。西日本の出身ですか？

(学生)「いや、ちがいます。」

そうか。東京だと黄砂はありませんね。中国から3月は季節風に乗って、黄色い砂みたいなもの、黄砂が大量に飛んできます。黄砂はきわめて強いアルカリ性なので日本海の酸性雨を全部中和してしまいます。というわけで、土ぼこりと、酸性雨と、地球温暖化という、3つが不思議なトレードオフの関係になっています。環境問題がいかに難しいかということの一つの例ですね。

8. 21世紀に向けた課題

お話したように今環境問題と言われてもあまりにも科学的知見が少ない。今度は君らの責任でやらなくちゃいけないわけです。やっと東京大学に環境学科ができましたからそれは皆さんに大いに期待します。それが第一です。第二はですね、私たちの二つの爆発をどういうふうにこれから制御するのかということです。それは、援助交際はいけない、ということと同じ論理なんです。下品だから、授業中に帽子はいけないということでもいいです。授業中に何故帽子はいけないかということ、これは同じ原理なわけですね。この20世紀から21世紀にますます私たちの欲求がますます増えていきます。ますます地球は私たちからご迷惑を受けるわけですね。そんなことをやってれば、遠からず破綻がくる。20世紀

の後半に生まれた君たちは、これから 21 世紀にかけて、これまで過去 40 年、50 年の人類のつけを一身に負うわけです。そこで大事なことは君らがどんちゃん騒ぎを続けて、君らの子供にさらにひどい地球を受け渡すのではなく、君らの世代で少しはましにして、君らの子どもや孫に引き継ぐという世代間の公平性です。世代間の公平性の岐路に立っているということを、これから認識しておいてほしいと思います。以上が私の講義です。

環境問題の過去・現在・未来
～トータルリスクミニマム思想～

東京大学生産技術研究所 安井 至
環境の世紀Ⅶ 第9回講義（2000年6月23日）

1. 自己紹介

皆さんこんにちは。

ご存知かどうか知りませんが、生産技術研究所っていうのはすぐ隣にあるんですけど、このリサーチキャンパスのどでかい建物にもう 2 年間くらい住んでいるのであります。今日はちょっと題名が違うかもしれませんが、リスクゼロからトータルリスクミニмумへ、環境問題の過去・現在・未来という話でやりたいと思っています。

先ず、皆さんにですね、アンケート用紙を配っていますので書き始めてください。もともと我々が何をやっているのかと言うと、材料とか環境とかをやっていたんですけども、最近工学系であるにも関わらずかなり文系的な研究をやってみて、みなさんが環境を判断する時、一体何を基準にして色んなものを判断してるんだろうかということをお研究対象にしています。そういったことに役に立てたいのでアンケートを書いて下さい。実を言うとそのアンケートの答えもどれが正しい、どれが正しくないということではありません。ですから正直に書いて下さい。裏にもあるんですが、1 時間 20 分くらいで私の講義をやめる予定でありますから聞いてから書いてください。で、6 番の問題であります、5 分じゃ書けないかもしれませんが、講義中にちらちらと眺めながら、どんなことなのかかなと思いつながら聞いて頂いても結構です。1 分間くらい時間をとりたいと思います。書いて下さい。

あんまり時間が無いのでぼちぼち始めますね。最初は聞かなくても結構です。先ずは自己紹介。

それから今日使いますパワーポイントのファイルですが、環境三四郎の方にコピーが行ってます。学生同士でやり取りする分には自由ですので、もしも欲しいというようでしたら、何とか頼んでみてください。この本は今日の日経の広告に出てましたが、実を言うと 6 月 20 日発売ですが、驚いたことに本屋にもう売ってるみたいですね。『リサイクル～回るカラクリ止まる理由(わけ)～』といいまして、一応これ五、七調になってるんですが、そんな本を出しました。それから最近 NHK の『地球大好き～環境新時代～』という番組が毎週土曜日の午前 11 時から、松井君の大リーグ中継が無い日にはありますよね。したがってこの放送は年間 36 回行われる予定なんですけど、そこに大体 4 週間にいっぺんくらい現れます。松井さんと言うアナウンサーなんです、コメンテーターが NHK の解説員の小出さんか斉藤さん。それとあと私と、赤池学さん。その 4 人で順番にやっています。最近日本でも少し色んな角度から環境に取り組んでる人が多くなってるので、そういうのをご紹介するという番組であります。

2. リスクとは何か

いよいよ本題に入ります。とにかく、リスクゼロからトータルリスクミニмумへっていう話ですから、キーワードとしてはリスクであります。このリスクっていうのはそもそも何なのか。リスクっていうものはもはや日本語になっているようでもあります。しかしながらリスクの意味っていうのは中々難しく、リスクって定義してみろって言われると結構難し

いんですね。適当な日本語が無いんですよ。それで、そもそも何かって言いますとこういう事です。先ず被害を受けそうな確立みたいなものがリスクの本当のいみであります。リスク＝危険性×その危険なものに出会う確立であります。例えば、夜道を歩いていまして危険な暴漢に出会う確立それがリスクであります。例えば台風なんかですと、台風が大きいほどその危険性は大きいんですけど、こっちに来ないでどこかに逸れてしまえば被害は無いわけですよ。真正面を襲われれば結構被害はありそうだと。リスクの大きさと言うのは、その出会う確立とそのものの掛け算で表現をします。専門家はですね、危険性とか出会う確立という代わりにこんな言葉を使います。リスク＝ハザード×暴露。ハザードって言うのは危険性の意味なんですけど、例えばある化学物質のハザードはと云ったら、1mg 飲むと死んでしまいますとか、2g 飲んでも大丈夫ですとか、そんなものがハザードの表現になりますし、それ以外にも色んなハザードがあるわけですね。やはり同じ暴漢でもナイフを持っているのとピストルを持っているのではハザードが違うわけですね。それから暴露。暴露と言うのは出会う確立であります。例えば空気なんかですと、皆さんは一日に 15 リューベという量をすっていますのから、その中に入っている物質をどの位取るかというのが暴露であります。これは、どの位取っているかということで、確立とはちょっと違うのかもしれませんが、「もし取れば」という事だと言えれば確立だということも言える。

リスクと言うのは何に効いてくるのかと言え、結果として色んなところに出てくるのですが、一番最終的に本当に深刻なのは命であります。ですから非常に大きなリスクがありますと、命に対するリスクというのが大きな問題になります。これは WHO(国際保健機関)のですね、日常的なリスクに対する損失余命と言うものですね。

損失余命と言うのはですね、本来だったらこのくらい生きられるのに、こういう原因によって何故か命が短くなっちゃうという年数です。単位は年です。これは世界と、日本とオーストラリアとニュージーランドとシンガポールとが入ってます。1億5千万人分くらいのデータであります。それから北米、それから EU。こういうものの損失余命を書いたものであります。ぱっと見てでかい数字はどこにあるかと言いますとここにあります。それは何か。世界全体として 20.73 年と言う命が失われている。それ何故か。低体重です。要するにカロリー不足。世界全体の平均ですから、例えばアフリカのある地域なんかでは非常に寿命は短いわけですね。次くらいにそれはでてきますが、それからぱっと見ますと、「危険な性交渉」なんてありますが、これは HIV ですね。世界全体で相当な命が失われています。日本でもゼロではありません。0.23 年くらいであります。それからずっとこっちにいきますと、高血圧なんてもあるんですが、それは EU あたりとあんまり変わりませんね。で、コレステロール。体重オーバーなんていうのもありまして、さっきのは低体重なんですけどこちらは体重オーバー。太りすぎて北米なんかですと 6.58 年とありますから結構命を失っていますね。で、日本人はあんまりそんなことは無いんですが、それでも 2 年くらいは体重オーバーで命を失っているという国です。あとずっと見ていくと不衛生な水って

WHO日常的なリスクによる損失余命比較 単位・年

	世界	日本+	北米	EU
低体重	20.73	0.01	0.01	0.00
鉄欠乏	4.22	0.05	0.18	0.09
VA欠乏	4.25	0.00	0.00	0.00
亜鉛欠乏	4.35	0.00	0.00	0.00
高血圧	9.07	5.94	7.03	8.86
コレステロール	5.71	3.01	6.44	6.97
体重オーバー	3.78	1.92	6.58	5.71
野菜果物不足	3.83	1.87	3.65	2.53
運動不足	2.59	1.78	3.03	2.95
危険な性交渉	12.57	0.23	0.98	0.46
避妊の欠落	0.69	0.00	0.00	0.00
たばこ	7.45	6.15	13.81	11.43
酒	5.34	1.61	2.80	3.01
ドラッグ	0.79	0.49	1.27	0.97
不衛生な水	8.04	0.03	0.02	0.02
大気汚染	1.05	0.54	0.48	0.28
煙の室内汚染	5.74	0.00	0.01	0.00
鉛暴露	0.46	0.05	0.12	0.13
気候変動	0.81	0.00	0.01	0.00
怪我(職業上)	1.16	0.23	0.20	0.23
発がん物質	0.22	0.23	0.28	0.35
SPM	0.24	0.06	0.21	0.17
ストレス	0.00	0.00	0.00	0.00
騒音	0.00	0.00	0.00	0.00
注射	1.50	0.00	0.00	0.00
幼児虐待	0.28	0.16	0.12	0.07

図1 日常的なリスクによる損失余命比較

うところに大きな数字があって、世界中では8年くらい命を失っております。では日本はどうかって言いますと、0.03年。0.03年っていうと10日くらいですね。10日くらいは水が原因で命を短くしている。この不衛生な水の大部分と言うのは、多分砒素と感染症だと思われれます。それからあと大気汚染が、世界中ではそれほど大きな値ではありませんが、先進国では0.5年くらいということにはなってます。煙の室内汚染で言うのは5.74年で大きいですね。煙って言うのはけっこう毒物であります。そのくせタバコなんてよく吸うよ、と思いますが、タバコは実際結構大きくて日本でも6年、世界的にも7年、アメリカなんかですと14年くらいタバコを吸うことによって命を短くしています。煙って言うのは危険なものでありまして、何が危険かって言いますと、本当に色んな物が入っていますから特定できないんですが、中でもホルムアルデヒドみたいなものは危険物でしょう。ホルムアルデヒドっていうものは防腐剤にもなります。例えば煙で蒸した食品、燻製と言いますが、燻製なんかはなかなか腐りませんが、あれは煙の殺菌作用を使っているわけですね。殺

菌とか除菌とか防カビとかって言うのは大体毒物なんですね。昔「防菌グッズ」なんてのがあって、皆さん喜んでた時代もあるんですが、はっきり言って細菌よりその防カビ材の方が危険です。こんなものでありますが、高血圧・コレステロール辺りってというのは世界的にもあんまり変わりません。世界中どこであってもこんな事があるようですね。それから大きく違うのは、環境のところってというか、水・大気・煙、このへんは汚染物ですね。やっぱり大きく違うのはこの分野かなということになります。日本というのは後から述べるようにこういう風な状況にある国であります。それで、寿命がどんなになってるのかというと、これは先進国の寿命ということですが、最近健康寿命というようなことも言われるのですがそれは今日の話題ではないので平均寿命の方でいきます。そうしますと、日本の女性の平均寿命の 84.8 年と言うのは世界ダントツトップです。ほかに、スイスが結構高くて、アイスランドはそんなに高くないんですね。男性の方の 77.9 というのはですね、アイスランドにちょっと抜かれてしまいました。まあ、おおよそトップですけど。そのアイスランドと日本で何が違うかといいますと、男女の差なんですね。これがアイスランドで 3.2 年。日本は 6.9 年あります。まあ 6.9 年くらいあるところも無いわけでは無いんですが、この中では比較的多いですね。その理由は何かっていいますと、自殺です。それで男性が自殺するんです。それ今は中高年、50 代の自殺が多いかな。自殺の統計なんてのものもありますけど、今は 3 万人くらい自殺していますね。そのうち、何も無くても 1 万 5 千人くらいは自殺しちゃうものなんですけど、経済的理由で概ね男性だけが数千人自殺していて、それで寿命が延びないっていう国です日本は。途上国の状況ですが、最悪なのはザンビアですね。多分、昔は教養学部の先生だった石先生が大使をやっている国であります。平均寿命が男で 36.7、女で 47 っていう国であります。で、ロシアは非常に特徴的な国でありまして男女の平均寿命差が 13.4 年もあります。理由は何でしょう？そうです、ウォッカです。酒の飲みすぎですね。女性っていうのはやはりあまり酒を飲まないようですね。そういうわけで、寿命っていうのは結構国状を表しているのです。

3. 日本における環境問題

そういう風に日本の環境っていうものを考えてみますと、まあ命だけが問題じゃないんですが、取り合えずみてみようというわけです。もちろん、日本の環境って言っても日本だけ見てれば良いのかって言ったらそうではなくて、色々な見方があるわけですけど、ちょっと抜かして日本の国内の環境だけを見ましょう。で、どんな状況かといいますと、多分こんな風です。

これは私が勝手に書いているものでありまして、必ずしも合意があるというものではありません。どうやって読むかっていいますと、1970 年から 2050 年にかけての約 80 年間でどんな風に環境が推移してきたかというものです。例えばダイオキシンがこの辺に固まっているのは、この辺が一番ダイオキシンによる汚染が大きい時期があったということです。皆さんはダイオキシンといいますと 1998 年の所沢のダイオキシン問題を思い浮かべるでし

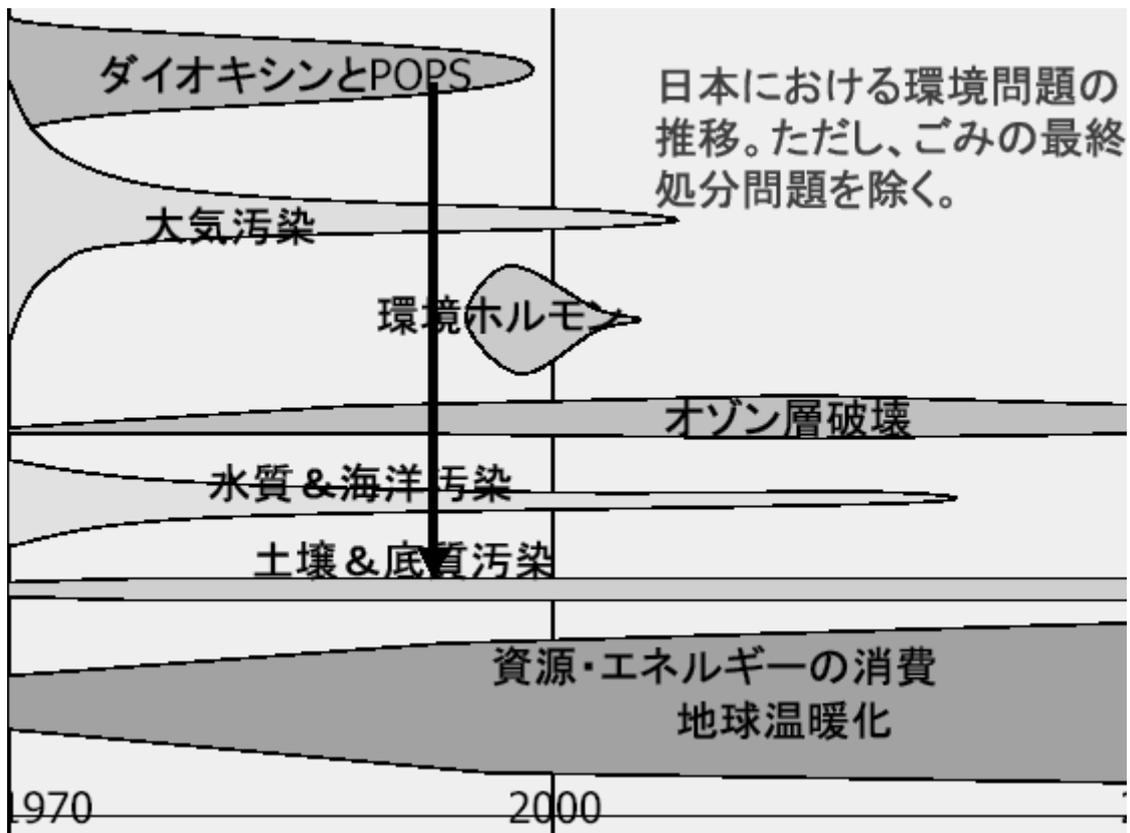


図2 日本における環境問題

よう。久米さんが「葉っぱものの中にダイオキシンが多いという」事をいって、所沢のハウレンソウが売れなくなったというあの事件の頃ですね。で、そのあとで「葉っぱもの」というのがお茶であることが分かってですね、「あのハウレンソウは何だったんだ」という事件が起こったのが98年のことではありますが、それはこんなところであります。実を言いますとダイオキシンの放出起源といいますのは、焼却炉が主要な起源ではありません。それ以前に、農薬ですとかPCBとして環境中に出てしまったものが結構多いんですね。それから何とか減っております。それから一応ダイオキシン特別措置法というものが出来て、それで今はかなり減ったと考えても良いかと思えます。それから大気汚染は1970年ごろが最悪でありまして、それからすつときれいになっています。大体10年くらいできれいになっています。今のレベルとそんなには変わりません。但し、道路の端はそうでもありません。道路の周辺は結構しつこく汚染がありまして、どのくらいでなくなるかという話ですが、石原さんにより今年の10月からディーゼル車の規制というものがかかるんです。ですが、あんまり効果的ではないと思えます。2世代前の規制の車を動かしてはいけないといふとんでもない規制で、中小企業の運送業者はつぶれる可能性のあるとんでもない条例を作ったんですが、あんまり効果的ではないと思えます。2005年に世界最強のディーゼル規制というものが日本は出来ますんで、それから恐らくしばらくたつと良くなると思えます。

それから環境ホルモン。環境ホルモンについては後で述べますが、あの話っていうのは大体終わったように思います。さして重要ではないんじゃないかということですが、まあ後で述べます。

それからオゾン層破壊。これは、先進国はもう対策が終わっていますが、中国、ロシアなんかは相変わらず特定フロンなんか作ってます。それから地球の自定数といって、これは地上で出した物質が大気中に上がるのに時間がかかりますから、上空で分解されてオゾン層を破壊するまでには時間がかかるわけです。それで、2020年くらいがそのピークで、一番大きな穴が開くだろうと言われているわけです。その後は段々と良くなっていくんじゃないかと思われまます。

それから水質・海洋汚染ですが、これが結構しつこいんです。ダイオキシンとか POPS っていうのは **persistent organic pollutant** といひまして、難分解性の有機汚染物質であります。それがどこへ行ったかと言ひますと、土と、川底と海底の泥の中にいます。そうなってしまうと中々分解されないので、これらは 100 年、ないしは 200 年くらいは当分減らないと思ひます。で、当然その上に水があるわけですから、水もそう安心できるわけではありませぬ。河川の水につきましても、農薬ですとか、そもそも農薬だけじゃなく色々な原因がありますので、あまり安心ではありませぬ。河川水というものの汚染は相当気をつけなければいけません。但し、水道水が危険かというとは実はそんなことは無くて、水道水については後で述べますが、日本という範囲においては水道水は最も安全な飲み物です。最も安全な飲料水です。ミネラルウォーターはどうなんだと思われるかもしれませんが、残念ながらミネラルウォーターの水質基準というものは水道水より 5 倍くらい緩いんです。何故か。ミネラルというものはつまり鉱物ですよ、鉱物が溶けていなければミネラルウォーターじゃないからです。ミネラルといひますと一番問題なのは砒素ですわ。砒素が水道水中のリスクファクターとしては大きいんですけど、水道水中の砒素っていうのはかなり規制がきついです。それでも若干リスクファクターとしてはあるんですけど、ミネラルウォーターはそれより 5 倍くらい緩いんです。なぜかと言ひますと、砒素が溶けてる水って美味しいんですよ。ですから美味しい水を飲みたければミネラルウォーター、安全な水を飲みたければ水道水です。そう決まっているんですけど皆さんはそうは思っておられない気がしませぬ。あとは海洋汚染もなかなかきれいになりませぬ。これは下水の問題とか色々ありまして、それでも 2050 年くらいにはなんとか片付くんじゃないかと思っております。

結論は何かと言ひますとですね、下の方の資源エネルギー消費ですとか地球温暖化といひますのはこれから先の問題でありまして、まだ問題にはなっているような気がするということです。温暖化だって何となくこのところ気候が変だと言ひますが別に被害が出るほどじゃありません。被害がでるとしたら温暖化は 100 年後でしょうかね。資源エネルギー消費も、被害がでるとしたらやっぱ 100 年後かな。まあそんなもんでしょう。だんだん厳しくなりはしませぬが、現時点では厳しいというほどではありませぬ。これが本当

かという話ですが、少し証明してみようかと思えます。

これが大気汚染の過去 70 年のデータで、平成 10 年までしかないけれども現在までの推移でありまして、大体こんな風にヒューッと変わっているんですね。これは二酸化窒素と一酸化窒素ですね。大体大気汚染っていうのは出すものやめてしまうと 10 年くらいできれいになるものなんです。それから先は実はあんまりきれいになっていません。道路の脇はこれほどきれいになっていません。じわじわと下がっている状況です。それというのは我々が便利な生活を求めて、クロネコヤマトをはじめとする宅急便やセブンイレブンのようなコンビニのようなものが出来て、輸送量が莫大に増えているからですね。輸送すれば当然トラックの量は増えますから空気の方はあんまりきれいにならないということになります。水のほうですが、こちらは 1970 年から平成 5 年までしかありませんけども、環境省が発表した水質基準未達成地域の割合ですね。ここでは鉛とか砒素とかカドミウムとか亜鉛とか、そういうものが基準を満たさなかったんですけど、まスーッと基準を満たすようになってきて、未だにちょっと満たしていない地域はありますが大体こんなもんです。最近環境省もやるのがずいぶん変わってきました。最近の行政のやり方では、何か基準を作ろうとしますとパブリックコメントっていうのをとります。まあ諸君もこういうのに答える機会があったらちゃんと意見を述べてくれるといいんですが、残念なことにもう終わってしまいました。例えば水環境にアニリンとかフェノールとかの環境基準を今は作ろうとしておりまして、例えば亜鉛ですと全淡水域で $30 \mu\text{g/L}$ 、海水域が $20 \mu\text{g/L}$ 、海水特別域が $10 \mu\text{g/L}$ です。ぱっと見て、どんな意味があるの分からないですよ。恐らくどんな意味があるのか誰も知らないでしょう。水道水はどのくらいかって比べてみますと、なんと基準値が $1000 \mu\text{g/L}$ です。ですから、亜鉛というのは人間にとってはあまり毒ではないんですね。毒物なんですけど毒ではない。何故かと言いますと、人間というのは一日に大体亜鉛を 30mg くらい取らないと健全に生きられません。要するに必須元素なんですね。でも、例えば海水域に住んでいる牡蠣、我々は牡蠣を食べると亜鉛を取れるんですよ。何故か牡蠣は亜鉛を大量に含んでいるんですね。ところが、海水中に亜鉛が多くあると牡蠣はそれを溜め込む習性があるって、そのためちょっと多くの亜鉛を溜め込むと亜鉛の毒性ゆえに自分たちが毒になってしまうんですよ。ですから亜鉛の濃度が高いところだと牡蠣が死んでしまうんですよ。そういう理由があつて海水域では基準値を $20 \mu\text{g/L}$ にしなければならない。例えば工場があつたとしますね。工場から亜鉛を含んでる廃水を出してたとします。どうしたら良いでしょうねえ。水道水で薄めようと思つても、水道水ってこの基準より 50 倍濃いんですよ。だから水道水を海水にジャーってあげるとこれは基準違反であります。そのくらい我々は環境基準というものを厳しくやり始めているのです。もう人間だけのことを考えている時代は終わってるんですよ。それが今の現状であります。

それから神栖。これもなかなか変な話なんですけど、ご存知の通り茨城県の神州町で旧日本軍の毒ガス兵器由来「と思われる」有機砒素事件が起きました。これは井戸水中に水道水の基準値の 450 倍の砒素が入っていたというそういう事件であります。水道水の 450

倍、ミネラルウォーターだと 90 倍です。それで 3 名の小児に完全に発達遅滞が見られました。要するに歩けなかったりしたんですね。本当に気の毒な状態です。大人も手足の痺れが見られてりで気の毒というしか無いんだけど、実をいうとそこは賃貸住宅で井戸水が供給されていました。水道は隣まで来てまして、その気になれば引けました。ただ、井戸水は美味しいからという理由で飲んでました。う～ん、どういう風に考えるんでしょうねこの問題は。国は 4 億円という補償金を払いましたがはっきり言って小児の発達遅滞に対して 4 億円では補償には…、ただ補償ではないんですよこの場合。美味しいからという自由意志で井戸水を飲んでいたんですよ。こういうのってどう思います。

それから次は環境ホルモンです。環境ホルモンというのはさっき見せたように変な格好をしています。要するに問題がワットおきてヒュッと終わるだろうというそういう格好です。被害というものは多分殆どでなかったと思います。環境ホルモン問題というのはですね、96 年に火がつきまして、97 年に日本に入ってきて、98 年に環境庁が「SPEED'98」して環境ホルモンとして疑いのある物質リストを発表した。このリストには大体 70 個の物質があったんですが、以後ですね、その 70 個をメディアは「環境ホルモン」として扱いました。ほったらかしておくわけにはいきませんから、順次その 70 個の物質のテストを行いました。結局ですね、環境ホルモンとしてクロとなったのは、PCB とダイオキシンであります。但し、発生時の話です。この間、メカジキとキンメダイにメチル水銀が入っているから妊婦さんは週に二回以上食べない方がいいですよってという話、結構問題になっていますよね。普通の人には食べても全く問題無いんですが、妊婦さんの場合は発生時の胎児があるわけですね。発生時というのは、例えば神経の発生の時期などは非常に微妙な事が行われています。何せ、細胞が 2 個から 60 兆までいくわけですよ。それを間違いなく増やしていくなんて全く奇跡ですよ。それが人間の体では行われているわけですよ。そういうことが行われる際には、こういうものは若干影響があると今でも言われております。ただ、PCB もダイオキシンも減ってきておりまして、一番濃かったのは 1970 年ごろであります。それからトリブチルスズ、これは結構報道されましたね。貝なんかは生殖できなくなるという話だったんですが、貝以外には効かないという非常に特異なものです。何故かという話ですが、そもそも人間がトリブチルスズを作った理由というのは、あれは船底塗料といって船のそこに塗る塗料なんですね。こういうものを塗っておかないと貝がへばりついて抵抗が増えてスピードが出ないんですね。従って船のそこに何か塗料を塗るわけですが、それは貝に対する毒を塗るわけですね。そのために作られたものですから貝の毒物なんです、それが毒性があるという話です。ノニルフェノール、これは女性ホルモンのような魚類を女性化しますが、魚のオスメスというのは極めて微妙、未分化です。それで、オスとして生まれた魚に女性ホルモンを与えていきますとメスになるんです。まあ完全なメスではないんですが、元オスなんですけどちゃんと卵を産みまして、ちゃんとその卵は孵ります。ですからやっぱり人間とはちょっと違うんですね。環境ホルモンでは色んな動物が言われていますが、ミシシッピワニという話もありますね。ミシシッピワニっていうのはやっぱり性が未

分化で、卵が孵る時の水温でもって、温度が高いとメスが生まれるんです。だから、やはり人間とはずいぶん違うんですね。そういうものですから魚類というのは影響を受けやすい生き物であります。このノニルフェノールというのは工業用の界面活性剤にはよく使われているものなのですが、ただ、普通の川には下水から人間の女性ホルモンが流れ込んでいますよね。妊婦さんなんかは大量に女性ホルモンを流していますからね。そういうものが流れ込んでいるが故に、ノニルフェノールの女性ホルモン性って言うのは、人間の女性が出している本物の女性ホルモンの代謝物よりも弱いんです。となると、下水ってそもそも何さって話になっちゃいますよね。あと、フタル酸エステル類も魚類だけに効果があるんですが、これはまあいいです。シロになったものもあります。フタル酸エステルの全て、アルキルフェノールの全てはシロになりました。フタル酸エステルというのは、柔らかい塩ビにはみんな入っています。バッグや袋なんかも塩ビです。フタル酸エステルというのは本当にとんでもなく一般的な化合物で、例えばマニキュアなんかにはフタル酸エステルは必須です。ああいう物が無いと爪が割れちゃったりするんですよ。ほかにも、汗を防ぐものや、あるいは香水の中にもフタル酸エステルは入ってますね。蒸発速度を下げるためです。まあそんなものですが、概ねシロになりました。それから最初から人以外にも挙がっていたけども「なんじゃこれは。」というものもあります。現状で環境ホルモンとしてグレーだと言われているのはビスフェノールAです。これはなかなか難しいんですね。ただ、人に対する暴露はかなり限られています。昔は缶コーヒーの内側に、エポキシのプラスチックの膜が貼られていて、それからビスフェノールAが溶け出していたんです。缶コーヒーというのは熱いコーヒーを詰めますよね。それによって溶け出すんです。しかも冬なんかですと自動販売機の中で加熱されてますから、缶コーヒーの中にビスフェノールAってかなり入っていたんですが、まあどうって事は無いと思います。10数年前まで水道管の内側にエポキシ樹脂を流し込んでいたんですね。これは、古くなってくると赤錆が出るのでそれをエポキシ樹脂で処理するというものなんですね。あれって皆さんはものすごい量のビスフェノールAを飲ませられていたんだと思いますけども、だからといって何か起きたということはなさそうな気がします。そんなこと言うと「人間って本当に大丈夫か？」と思うかもしれませんが、実を言うとありとあらゆる生物の中で人間ほど丈夫に出来ている生物って無いんです。そうじゃなきゃ、地球上にこんな数が蔓延るわけが無いんです。これだけの数が蔓延れるというのは生物として良く出来ているからなんです。というわけで、色々ありますが「人」っていうのだけ見てみると環境ホルモン問題っていうのはまずあんまり考えなくていいと思います。唯一ですね、これも後で述べますが、1970年ごろに生まれた男性がちょっと女性っぽいかということが、本当かどうか分かりませんが、あるとしたらあるんですね。今年の6月にですね、大分テストが終わった段階で環境省が報道資料としてこんなものを出しました。環境ホルモンと疑われる物質を色々テストした結果、フタル酸エステルは通常の毒物として扱うことでよくて、環境ホルモンとして考えなくて良いです、と。まあ継続中のものも若干あるけどね、という話でした。但し

そのときに目くらましとして環境省も色々な事をやるんで、オクチルフェノールがノニルフェノールに続いて二番目の環境ホルモンである事を認定しますという報道資料を出しました。それに対してメディアはどう対応したかと言いますと、これは読売新聞ですが、社会面に 157 文字の記事を書きました。たったのこれだけです。そこで、オクチルフェノールが環境ホルモンの二番目となりましたという事を書きました。要するに、フタル酸エステルという極めて重要な物質が環境ホルモンではないということ、これはすごく重要なことなんですよ、環境省が作った『SPEED'98』のかなりの部分を否定するということですから、それをメディアはそういう風に報道してくれない。世の中を安心させるための報道はニュースでないんです。メディアというのはニュースを報道するんです。真実を報道するわけではないんです。これは朝日新聞です。朝日は環境ホルモンが大好きで、環境ホルモンというと喜んで書く有名どころなんです。682 文字も費やして色々な事を書いているんですが、どこにも「フタル酸エステルは環境ホルモンとして考えなくていい」ということが書いてないんです。ですから、はっきり言って誰も知らないんですよ。環境ホルモン問題が終わりかかっているっていう話を。こんなもんなんですね。フタル酸エステルがどんな物かっていう話をちょっとしますが、さっきも言ったようにありとあらゆる所に入ってる物質なんですね。しかし、若干の毒性はあります。環境省が環境基準を作るときにどんな事をやってるかと言いますと、これは厚生労働省ですが、塩化ビニル製の玩具の規制というのをこの 8 月からやります。DEHP と DINP という 2 種類のフタル酸エステルを使った、塩ビ製の乳幼児用の玩具の製造・販売が禁止となります。理由は、フタル酸エステルが若干毒だからです。ただ問題はありますね。EU も同じような規制があります。米国にもあります。ここでは 3 歳以下のこういう玩具が禁止になっています。何故かと言いますと、マウシングといって、口の中に玩具を入れてしゃぶるからです。要するにおしゃぶりみたいなやつです。それに DEHP が含まれていたら、当然口の中に入りますよね。従って規制をしようということなんです、日本は実をいうと 6 歳です。6 歳の子供がおしゃぶりしますか？このように、日本というのはどちらかというと安全サイドに規制を振りすぎる国です。EU や米国の方が合理的なところで規制を留めようという国です。厚生労働省の食品衛生分科会というのはですね、こういうことを言いました。「合成樹脂製のもので、乳幼児が口に接触することをその本質とするおもちゃには、フタル酸ジ(2-エチルヘキシル)あるいはフタル酸ジイソノニルを含有するポリ塩化ビニルを主成分とする合成樹脂を使用してはならない。上記以外の合成樹脂製のおもちゃには、フタル酸ジ(2-エチルヘキシル)を含有するポリ塩化ビニルを主成分とする合成樹脂を使用してはならない。」これが問題なんですよ。この「玩具」っていうのが要するに 6 歳までの子供が使う可能性のあるものです。そうしたら PS2 なんかも子供が使う可能性があるから塩ビを使ってはいけないのか？というのがこの言い方では分からないんですよ。それで玩具業界は今大変なんですよ。本質は口の中に入れるか入れないかなんです。PS2 を口の中に入れるのは結構難しいと思いますが、そういうところで規制がかかるかかからないかが日本は議論さ

れる国なんです。そんな国になってしまいました。ですから、ある意味で日本は非常に安全になりました。安全にある意味ではなり過ぎかもしれないくらいなってるんです。フタル酸エステルの毒性ってのは色々調べられていますが、例えば急性毒性でいうとどのくらいかという、30g/kg ですから本当に毒性は少ないですよ。50kg の人だと 1.5kg くらい食べるとちょっとやばいかな、くらいの物質なんです。ですから、塩なんかよりはるかに安全です(笑)。急性毒性にかんしては、ね。

4. 環境に対する認識の違い

でも、皆さんに先ほど聞いたものですが、ようするに「環境の未来はどうだ？」って聞くと、同じ質問を中学校や小学校でやった過去の私の経験からいうと、大体 85% くらいの人は「自分たちが今生きてる環境は、親が自分たちくらいの年齢の時に生きてきた環境より悪い」って言います。なぜでしょうね。それは多分、いろんな問題があって、それが先ほどいったような報道のされ方をしているからでしょう。真実はほかのところにあるのかもしれない。でも要するにいろんな情報がバランスよく皆さんの判断基準の中に入り込んでいって無いからだと思います。

4.1. ダイオキシン

例えばダイオキシンですが、ちょっとデータが古いんですが、大体 1970 年ごろが母乳中のダイオキシン濃度は高し、血中のダイオキシン濃度も高いような時期でありました。それからドンドン下がってきて、今ではその時期に比べると随分と下がっています。ですから問題は、1970 年ごろに生まれた子供がおかしいかって事なんです。今では 33 歳ですね。諸君らの兄貴くらいですね。だから、女性っぽいのがいたら怪しいかもしれないぞ。ダイオキシンのせいかもしれません。まあ女性は問題ないのですが。そんな感じで、それ以降は多分あんまり問題は無いのではと思われま。このダイオキシンに関しては、増永先生という方の研究があって、これが焼却炉起源なんです。焼却炉期限に比べると除草剤やコプラナー PCB というものに含まれるものが沢山あるということです。

これは多分正しいだろうという話になっております。ただ、PCB というのは世の中に今は沢山あります。まだ、貯めてあります。何故かという、こんな危険なもの処理できない、という判断が多くて処理工場を作るのが大変なんです。それで今、北九州の処理工場が着工されました。着工の際には住民と環境コミュニケーションというものをとって、「PCB とはこういう物質でそんなべらぼうに危なく恐れる物質ではない」という事を伝えたんですね。例えば LD50 といいます。先ほどの急性毒性の話です。1g/kg ですから、すぐ死ぬかということに関しては、50g くらい食べても大丈夫なんです。50g くらい食べると半分くらいの人には死ぬかなという程度のものなんです。ですから微量でどうこうと言う物ではないですね。ところがですね、毎日新聞の福岡版にはこういう記事が出ました。「毒性・発がん性が指摘され、死者 300 人を出したカネミ油症事件の表面化を契機に、

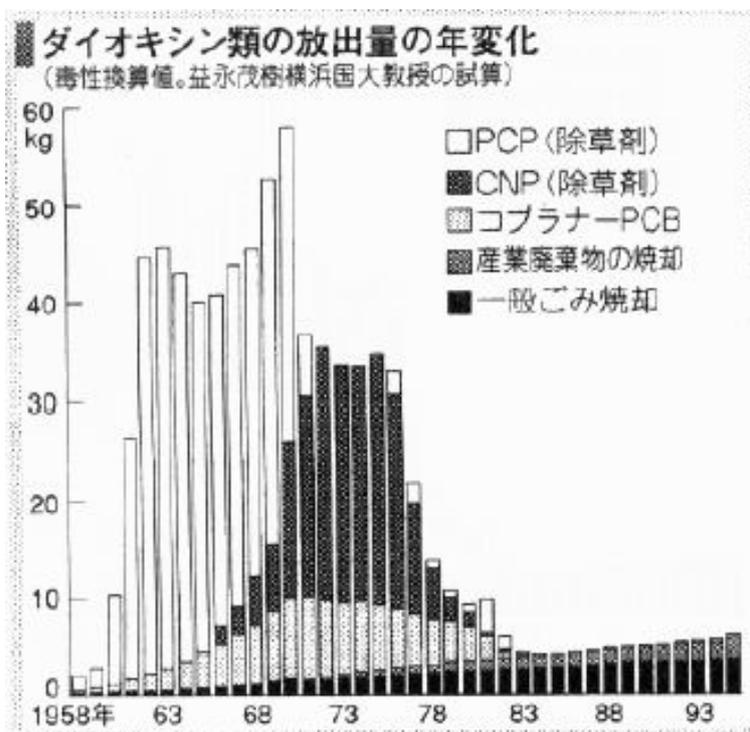


図3 ダイオキシン類の放出量の年変化

72年からPCBは製造・使用が禁止された。」その処理工場が出来たって書いたもんですから住民はまたかなり不安になりました。PCBはやっぱり毒物ですから全く安全だっわけじゃないんですよ。慢性毒性がありますから慎重にならないといけないのは確かなんですけど、何が問題かと言うと「死者約300人を出したカネミ油症事件を契機に」と書いているところです。事実は何かと言うと、カネミ油症事件で死者は出てません。それなのに、毎日新聞の福岡版に記者はこういうことを書いちゃうんです。何故か。事実を知らないからです。300人っていうのの根拠は何かって言いますと、カネミ油症事件が表面化したのは1968年です。それから31年たってる1999年にある統計が出ています。その統計っていうのは、1871人だったかそのくらいの認定された患者さんがカネミ油症事件にはいるんですが、1999年までに何人かが亡くなるのは当たり前ですが、その中の約300人が亡くなっているわけです。その1999年の記事かなんかを読んで、その数を死者と勘違いしてしまったわけです。はっきり言ってそれが新聞記者のレベルです。そういう世の中ですから逆の事もあって、安全だと言われているけど本当は危険だということだって、もしかしたら報道されていない可能性も無いわけじゃない。こんなに危険だと言って、実は大したこと無いという報道もあるし。ですから、報道言うのはかなり危ないもんですわ。それじゃあ、1999年の300人というのが多いのか少ないのかというのが議論になりますね。要するに、カネミ油症で油症患者と認定された人が早く死ぬのか死なないのかという話ですが、これは非常に微妙ですね。何とも言えない。男性は割りと早く死んでいるんですが、女性

はどうも少なそうです。肝臓ガンが割りと多いんですが、ご存知の通り肝臓ガンというのは C 型肝炎からなっているものが結構あってですね、ひょっとすると遺伝病、つまりその時期に患者と認定されて検査を受けて血を何回も抜かれたために感染したという可能性も否定できないし、何とも言えないんですね。世の中、原因と結果というのはそんなにクリアーじゃないんですね。この原因はこれだと言える事は少ない。とにかく、一目見て分かるほど死亡率は高くありません。特に女性はむしろ長生きしています。やっぱり人間の体というのは、ちょっと変になったら無茶しないんですね。加えて周りできちんと見てくれる人がいますから、その辺は何とも言えません。

4.2. ディーゼル車

ディーゼルの話もちよっとします。ディーゼルについては日本は大分色んな事を間違えたんですよ。ディーゼルの規制って EU と比べますと、NOX の規制は明らかに日本の方がきついですよ。EU というのはディーゼルがいっぱい走ってて、日本ではディーゼルが嫌われていますが、PM という黒煙の方は日本は明らかに緩いんです。なんで EU は PM がきつくて NOX が緩いのかと言いますと、それは法律の書き方によったんです。これは 1975 年の規制値を 1 として、日本における NOX と PM の規制値がどのように変化したかのグラフなんです。ご覧のように NOX は段々と下がっているんですが、PM はずっと同じだったのが一気に 4 割に落ちてさらにドスッと落っこちて、2005 年には最初の 2% くらいの値になるんです。何を意味しているかと言いますと、PMの方がはるかに危険だったということが今になって分かったわけです。何でこんなことになったかと言いますと、多分行政的には NOX の規制値を厳しくしすぎたんです。それが守れない。守れないと、訴訟なんかを起こされたときに国が負けますから、そうすると規制を下げるんです。ディーゼルエンジンというのは特性的に燃焼条件を酸性側にするか塩基性側にするかで色んな排気の制御が出来るんですが、PM っていう黒い煙は還元状態だと出て、酸化状態にすると NOX が出るんですね。ですから両方って言うわけにはいかないんです。どっちかなんです。それで日本は NOX を下げたもんだから、下げると同時に多分 PM は増えていってるんです。そんな行政的な間違いをやったような気がします。何とも言えませんがね。しかし、2005 年の規制でもって、明らかに EU を抜いて世界最強の規制になります。従って、それ以降のディーゼル車が全部を占めるようになる 2015 年ぐらいになれば大分きれいになってるでしょう。でも、まだあと 10 年かはあります。だんだん良くなるでしょうが、そんな状況です。

4.3. ガン

それが原因かどうかは分かりませんが、これは日本における肺ガン死の増加を描いたものであります。

悪性新生物っていうのはガンの正式名称ですが、こんな風にガンは増えています。ガンが増えているということですが、本当にガンが増えているかということは何とも言えない

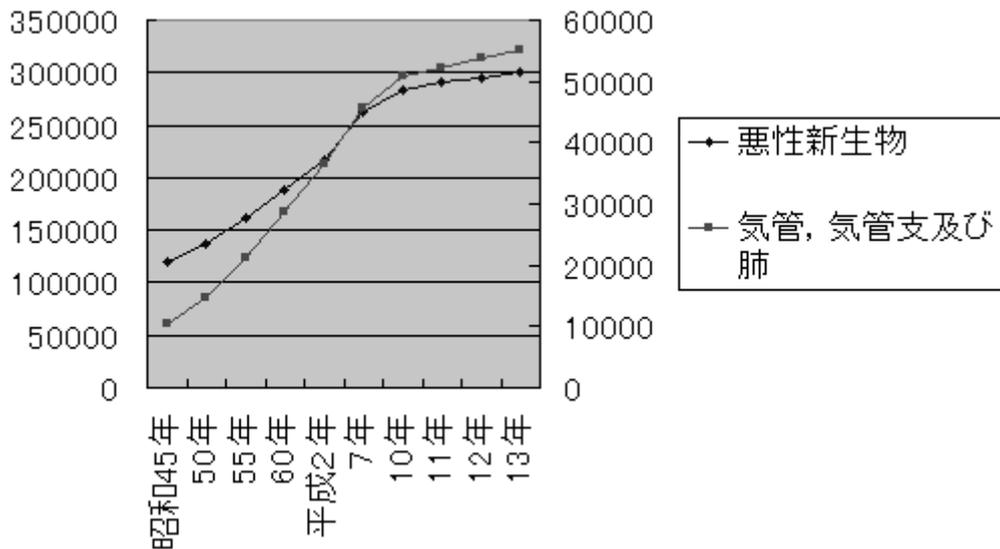


図4 全がんと肺がんによる年間死亡者数の推移

です。何故ならば、これはガンでの死ですよ。今は段々と他のガン以外の病気で死ねない社会に日本はなってきたんです。従って、長生きをしようとする大体はガンにかかって死ぬ以外は死ねないんですよ。だから、色々な方に「何で健康でいたいんですか？」って聞くと「ガンになりたくないから健康でいたい。」って言うんですけど、逆効果なんです。ガンになるのが怖かったら早く死んだ方がいいんです。老衰で死ぬ人っていうのは大体 100 人の内で 2 人ですよ。だから 98 人は他の病気で死ぬんですけど、今はガンで死ぬ確立が段々増えてるわけだ。それはそれとして、このようにガンで死ぬ人は増えているけども、ガンの病気そのものが増えているわけじゃないんです。他の病気で死ねなくなってるという状況を反映してるんです。それから気管、これは肺ガンですが、それはちょっと多いんですね。タバコというのは一番のリスクファクターですから、タバコのせいかもしれないんですが、最近はタバコをやめている人も多いし、ひょっとすると PM のせいかもしれません。これもよく分かりません。要するにですね、何がガンの原因かなんていう話も実を言うと良く分からないのですよ。

これはですね、約 15,6 年前にやった調査だそうでしたその文献値でありますけども、主婦とガンの疫学者に「何がガンの原因ですか。」っていうのを聞いたものです。

我々も似たような事を調査しておりまして、まだ新しいデータは出てきてないのですが。その当時はですね、食品添加物が危ない危ないと言われていた時期なんですね。そうすると主婦の人たちは食品添加物と残留農薬がガンの原因になって危ないというそういう回答をしております。しかりながらガンの疫学者は、そんなことはなくてタバコと普通の食品だと言っているわけです。普通の食品って、ガンの原因だと思ってないでしょ？いやいやとんでもない、普通の食品がガンの原因の最大のものです。世の中には安全な食品と危険

■ 食品添加物	43.5%	1%
■ 農薬	24%	0%
■ タバコ	11.5%	30%
■ 大気汚染公害	9%	2%
■ タンパク質焦げ	4%	0%
■ ウイルス	1%	10%
■ ふつうの食品	0%	35%
■ 性生活・出産	0%	7%
■ 職業	0%	4%
■ アルコール	0%	3%
■ 放射線・紫外線	0%	3%
■ 医薬品	0%	1%
■ 工業生産物	0%	1%

図5 リスクの感覚—主婦と癌疫学者

な食品があると思ったら大間違いです。危険性がやや少ない食品と、危険性が非常に多い食品の2種類しかありません。それでも食わなかったら死んでしまいますから、しょうがないから食うわけですよ。じゃあ、天然物なら安全、人工物なら危険というのもとんでもない話で、例えば普通の食品って天然物が多いですよ。何が危険かって言ったら、例えばカビ毒ですかね。アフラトキシンっていう猛毒があるんですが、これはある種のカビが出す毒物でして、日本には幸いなことにこのカビは生えていないんですが、南の方に生えているカビなので南の方から入る食品、中国もそうでしょうし、アメリカもそうですが、そういうところから入ってくる食品にはみんなこのアフラトキシンは入ってます。後ででてきますが、これが今の小児ガンの原因のかなりの部分なんじゃないかとも言われています。こんなもんなんです。今同じ質問をしてみますと、さすがに食品添加物だつて言う人は減ってきています。最近食品添加物はそんなに危険じゃなくなってきましたね。

実際我々は、あるものが発癌物質だなんて簡単に言いますが、実際はあるものが発癌物質かどうかなんてものすごく難しいんですよ。現実には、このくらいしか分かっていません。現在、日本で化学物質と分かっているものは多分数万種類あります。そのうちのたったの87種類が発癌物質として知られており、かなり怪しいなというのが63種類で、多分怪しいなというのは234種類くらいある。このくらいしか分かってません。あとの物質については未知です。ですから本当にリスクがないとはまだ言えません。それじゃあこの87種類の中に何かあるかみてみますと、さっき出てきたアフラトキシンがABC順で書きますと一番上にきています。ピーナッツ、まあピスタチオの方が出す量が多いんですが、ピス

タチオにくっ付いてるカビの出す毒で結構猛毒らしいんですが、アメリカの EPA という機関の報告では、子供が 14 歳までにガンになる主たる原因はこれだろうと言っているんです。じゃあ、規制を厳しくすればいいじゃないかと言う話になるかもしれませんが、大体が非常に少ない物質ですから難しいし、そもそも殆どの輸入食品がダメということになってしまふから、まあ出来ないですよ。今 40%しか自給してない日本のような国でこんなものを規制したら食べていけなくなっちゃいますわ。だからと言っても、私もピーナッツもピスタチオも食うけどどうって事ないわけですよ。何でそんな事を言うかという、次々出てくる物がとんでもない物だからです。この辺(アスベスト繊維、ベンゼン、X線など)は有名物で、この辺は避けろと言われてれば避けられます。ベンゼンは大気中にも若干あるので微妙ですが、もっとも最近ではガソリン中のベンゼンも大分減ってきてますがね。中性子線も微量なら問題はないし、ダイオキシンもあんまり問題じゃないと思います。この辺(ヘリコバクター・ピロリ、B型肝炎ウイルス、女性ホルモンなど)は結構原因で、例えば胃がんの原因はヘリコバクター・ピロリという細菌です。ガンって言うのは実を言いますと遺伝子的にその病気になれるかなれないかっていうのは決まってるんで、いくら胃がんになりたくてもなれない人もいます。多分諸君らの 6割くらいはそうですね。残りの 4割の人は、遺伝子的には胃がんになり得るといっていい感じでしょうか。それからウイルスですね。C型肝炎はさっきも言った通りです。もっと衝撃的なのは、実を言うと女性ホルモンは発がん性です。ですから、生存に必要な女性ホルモンが何で発がん性になってきてるんだろう、人間の体ってのは矛盾してるんですよ。だから、命が長らえるように、ガンにかからないように人間の体ってのは出来てるわけじゃないんです。要するに、実を言うとガンなどで死ぬことは想定されてなかったんだと思うんですね。その前に死んじゃうのが当たり前で、今でこそ非常に有害な物質でガンになってしまうと。もっともですね、微量のものでガンになるわけじゃありません。ガンの原因の最大のもは活性酸素です。この活性酸素というのは、我々が呼吸して酸素を吸って細胞の中で代謝を行うことにより毎日 100 億個くらいばこばこ出来てるわけですから、多少お茶を飲もうがビタミンCを摂ろうがダメなんですよ。結局何が重要かと言いますと、人間というのは先ほども言ったとおり一番良く出来た生物ですから、遺伝子に異常が起きたときにも自分でそれを修復する能力を持ってるんですよ。その修復能というか、免疫というのを誰もが持ってるわけですね。その免疫というのが大体 60 くらいから悪くなり始めて、従ってガンがそのくらいの年齢から増えてくるんですね。ですからよほどの事がない限り、若い人にガンは少ないわけですが。要はガンなんてのは自分の修復能力を信じるしかないわけですよ。まあまだそういう結論に行くのは早いかもしれないな。

次に混合物グループ 1 には発癌物質としてこんなものがあります。アルコール飲料。ビールもウイスキーもだめよと。昨日ちょっと飲みすぎて今日はちょっと辛いとかそういう話はダメよということです。鎮痛剤、つまりある種の薬剤はダメですね。コールタール、それから鉱油類。ですから、あんまり油にまみれるのも良くないですね。塩漬けの魚。そ

れから煤、昔から煙突掃除にはガンが多いって話は有名ですよ。それからタバコ。それから木、製材業なんかをやっている人はガンが多い。だいたい、太陽の光が発癌物質ですわ。紫外線ですけど、皮膚がんの原因です。だから例えばですね、健康的に太陽の下で野球でもやって、終わってから「今日はよく打ったなあ。」とか言ってタバコでも吸って、ビールを飲んで、ピザを食べて、アンチョビかなんか食えばもうパーフェクトですよ(笑)。こういう状況なんだから多少の事を気にしてもしょうがないっていう部分はあるわけ。もちろん、気にするところは気にして、防げるところは防ぎましょう。でも完璧に防ぐなんて事は出来ないんですよ。ですからどのくらいで防げばいいのっていう話です。アクリルアミドっていうのがあります。グループ 2A ですから、「多分発癌物質」です。去年、とんでもない事が分かりました。ポテトチップスの中にこのアクリルアミドがやたら大量に入ってるんです。それまで分からなかったんですよ、偉そうなこと言ってる人間様が。非常に有毒なもの故に強い神経毒性と発がん性なんて言われてて、ポリアクリルアミドというのは水に使われてて、 $0.5 \mu\text{g/L}$ と厳しく規制されていたんですが、なんとポテトチップスには $2.5\sim 3.5 \mu\text{g/g}$ も入っていた。だから水 1L を飲むよりもポテトチップス一枚の方がやばいという事です。そういう状況です。もしこれが本当なら、年間に 1 万人くらいガン死してるはずですが、多分してない。何か間違ってるんですね。だから神経毒性の方がひょっとしたら影響出てるのかもしれない。だから諸君の友達の中で何となくキレやすい人がいたら、その人の食べるポテトチップスの量を分析したらひょっとしたら相関が出るかもしれない。まあ、ポテトチップスに限りません。ジャガイモの中に含まれるアスパラギンというアミノ酸とデンプンとが高温に加熱されると出来ます。従ってイモ類全部出ていると考えてよろしい。焼き芋だってちょっとは入ってるし。だから「(リスクを)ゼロにしよう。」なんてのはとんでもない話です。

4.4. 乳児死亡率

いずれにせよ日本というのは結構すごい事を行った国で、これは約 100 年間の乳児(1 歳未満)の死亡率を示しています。

1000 分の 200 人くらい死んでるぞと書いてあります。10 分の 2、2 割です。要するに 100 年前は赤ちゃんはそんなものだったのです。10 人に 2 人は 1 歳未満で死んでたんです。今は 1000 分の 3 です。200 から 3 まで落ちました。立派なものです。死亡率が落ちた最大の理由はもちろん感染症の克服ですが、もう一つは栄養状態です。栄養状態でもって体力はつくわけです。先ほどから環境がどうのこうの言ってますが、環境が悪かったのは 1970 年ごろです。ですからその頃にピークでも出てれば何が言えるんですが、統計的に見て有意なほどでは無いんですよ。もしも本当に統計的に有意な値が出たら大変ですよ。ですから、こういう統計を見てもそれに出ないような状況です。こちらは死産率ですね。死産というのは人工死産と自然死産と両方入ってます。理由はしっかり解析しないと分かりませんが、ちょっと第二次世界大戦の後に上がって、最近また落ちてます。今は大体 2 万人く

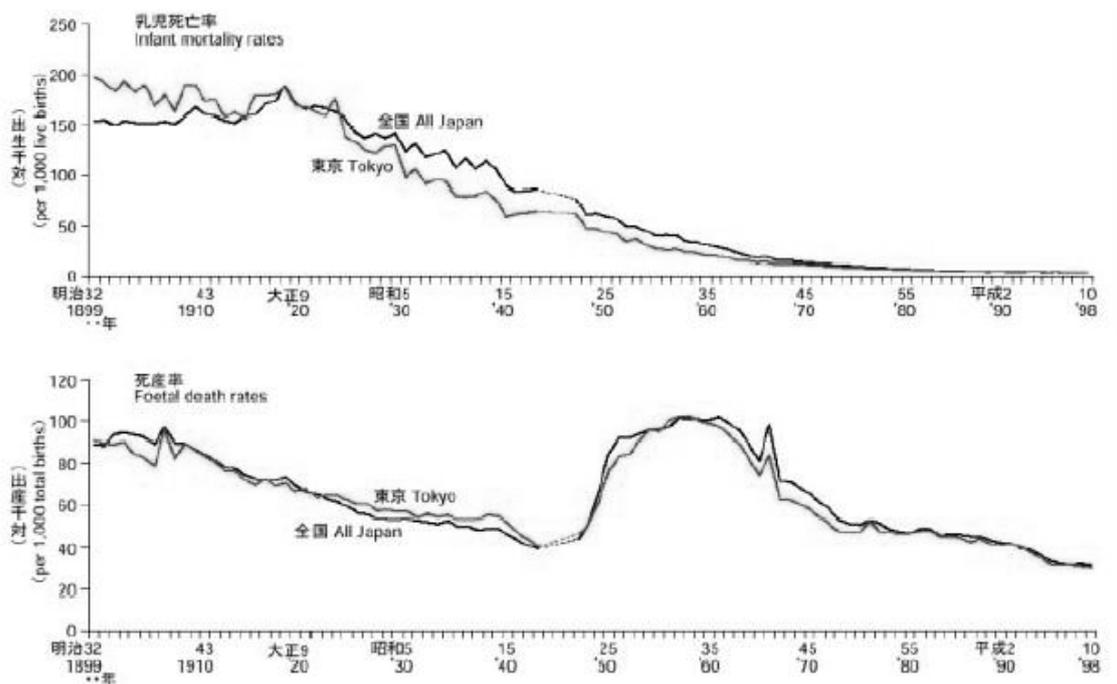


図6 乳児死亡率、死産率の推移

らいで、死産率も下がってきてるんですが、昔のように10人に2人とかいう時にはある種の自然淘汰みたいのが行われているんですが、今はそういう状況では全くなくて、唯一の自然淘汰がここで行われているんですね。ですからここはあんまりいじらない方が、生物としては良さそうな気がします。それでですね、ここ(67年ぐらい)にぴよこっと角があるでしょ。これはひのえうまっていうものです。分からなかったら家に帰って調べてください。ということもあってですね、1947年には男が50歳だったのよ。それが、先ほど言ったように78くらいまでなりました。27年延びてるんですね。50年間で27年延びてるんです。もしも50年間で50年延びたらその間誰も死ななかった事になるのを考えると、27年寿命が延びるっていうのの凄まじさが分かるんじゃないでしょうか。日本はそういうことをやってきた国なんです。先ほども言ったように、女性に比べて男性の寿命が延びにくくなってるのは自殺のせいです。

4.5. 化学物質のリスク

これは化学物質による日本における損失余命を日で表したものです。これは蒲生さんの力技の研究なんで、あんまり信用しない方がいいんですが、喫煙は日本ではけっこう大きくて大体2700日くらいだって言われてます。ディーゼルの粒子は14日くらいかなと。それから受動喫煙ってのもけっこうあって、受動喫煙もガンだけでなく虚血性心疾患ってのもあって、これで子供が死ぬってこともある。だから、やっぱり子供にあんまり煙は吹きかけない方がいいと思いますね。大人になってしまうと、肺がんの

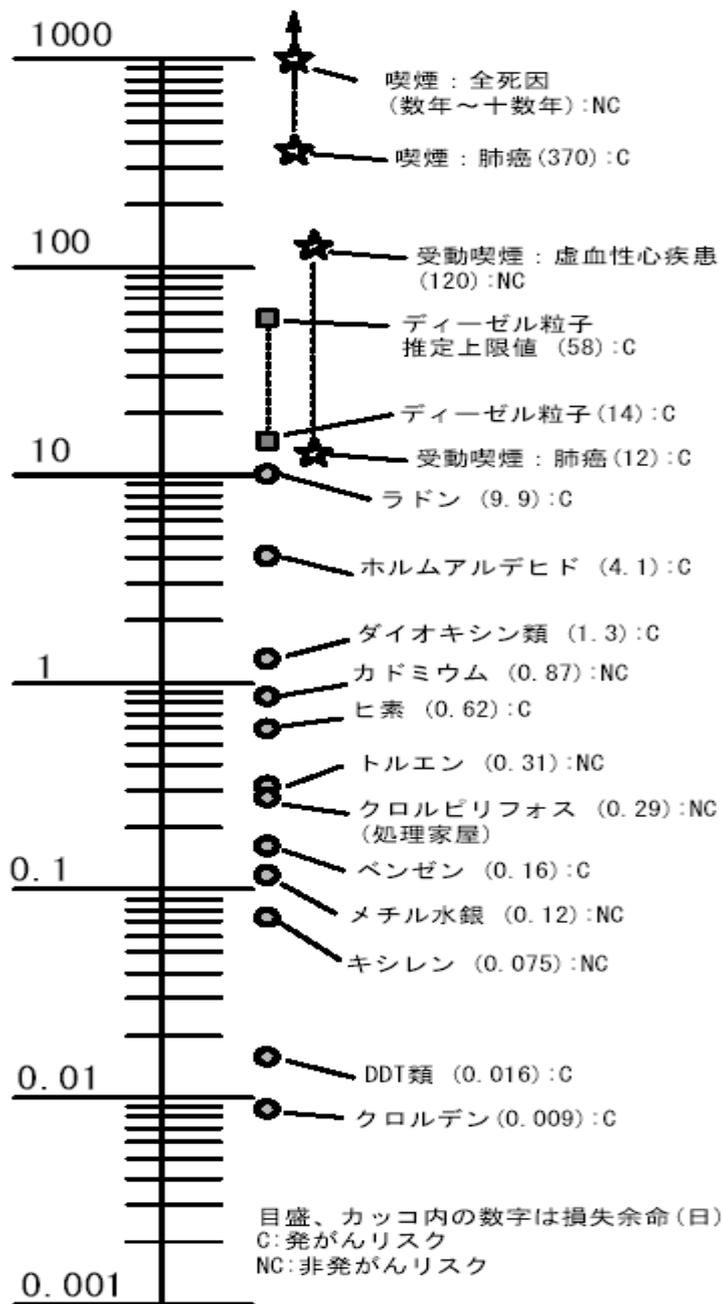


図7 日本における化学物質のリスクランリング

リスクは大きくないからどうって事ないんですが、子供における虚血性心疾患は結構あるので、諸君らが親になったら子供の前でタバコを吸わないように。女性なんかは子供を作るのにタバコは吸わない方が良くと思います。ダイオキシンなんかはかなりタバコの煙から出ますし、タバコの煙ってろくな物が入ってませんから。それからダイオキシンが1.3日です。従ってもしも、皆さんがダイオキシン嫌だと言ってダイオキシンを完全に取ったと

したら、実際にはタバコを吸っても何しても出るので出来ないのですが、海を浚渫するなり何なりして完全に取ったとしたら、皆さんはあと 1.3「日」長く生きられます。これをするかやらないかってのが今の日本の状況なわけです。やります？どうします？砒素、例えば水道水中の砒素は 0.6 日。ミネラルウォーターの方が多いため、ミネラルウォーターなら 3 日くらいですかね。ですから、いずれにしたって大した事はない。3 日早く死んだって上手い水が飲みたい、それはそれでいいよね。そういうつもりでミネラルウォーターは飲んでください。そんなもんですわ。他にも色々ありますけど、いずれにしてもそんなもんだというのが今の日本の現状です。

4.6. 温暖化

さて、それではこんなものしかリスクは無いのかよという話になりますね。さっきは話してない事がありますね。温暖化ですわ。実は温暖化もあんまりよくリスクが分からないのです。これは過去の地球の温度変化のグラフですが、実をいうと「過去の地球の温度変化」なんてのを一つとってもちゃんとしたデータは無いんだよね。大体考えてみると、地球の温度ってどうやって測るの？実際に中々難しいんですよ。一体地球の温度って何なんだろうね。世界中にくまなく温度計があれば測れるけども、海の上なんて温度計が無いじゃないですか。どうやって測るかという話になります。ではこういったデータをどうやって計ってるかと言うと、例えば花粉みたいなもので見てるんですね。花粉の化石、例えばこの時代なら平安時代の地層に埋まっている花粉の化石からその時代の植物種を特定して、「ここにはこんな植物が生えていた。従ってここはこのくらいの気温だろう。」といったことをやっている訳ですよ。だって平安時代の気温なんて測ってないですからね。ともかく、温度変化はこのようになっている。1800 年ごろは低くて、そこから段々と上がっているんですが、東京なんかは大体 3 度くらい上がってますね。と言っても、その 1.5 度くらいはヒートアイランドによるものです。皆さんが一生懸命にエネルギーを使うから世の中が暖かくなってしまふ。このエアコンだって世の中を暖めているわけだな。ここは冷やしているけど。平安時代は温度が低かったが、温度が低い時っていうのは世の中があんまり平和じゃないんですね。例えば戦国時代はこんな風に温度が低いんですが、平安時代なんかだと小説の中に殺人が出てこない。大体みんな恋かなんかをしてるんですね。でもこの辺(気温の低い時期)になると人殺しをやっているわけです。何故かと言うと、やはり食べ物の量なんですね。この辺なんかは冷害があったんです。ですから飢饉、天地天明の飢饉なんてのはここで起きてるんです。大体そういうもので、温度が低い時は人は争いごとをやっている。こちらはそれよりもずっと前のグラフです。この辺が縄文紀ですね。縄文紀は今よりも少し温度が高い。この辺は氷河期ですが、氷河期と言っても大体今と 6 度くらいしか違いません。そうすると 6 度ってと言っても結構大きいですよ。但し氷河期といっても東京に氷河があったわけじゃありません。地球上に氷河は二本しかなくて、日本は多分山岳氷河しかないので 6 度くらい寒いだけであります。大して変わらない気もしますが、それでも

ずいぶん違います。6度っていうのがどういう意味を持つかという事なんですね。

最近の温暖化の研究ってのは一生懸命「モデル」というものを作って、そのモデルと観測地(観測地というのもよく分からないんだが)でもって気温の変化を予想している。これも色んな人の話があるからどれが正しいのか分からないですが。それで、二酸化炭素の放出量に対してたくさんのモデルを作って計算するとこんな風になります(図参照)。

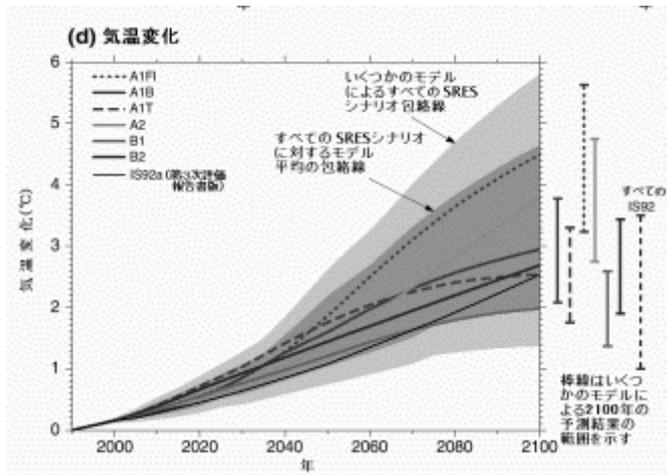


図8 気温上昇予測

緑の線だったらサチュエーションを起こしているから大体1.2度くらいでおさまるかな。上の方のやつとか点線なんかはダメだなと。これだともう6度くらい上がってとんでもないなと。こういう話になるわけですよ。そこで、2度くらいなら何とかなるんじゃないかという事で、グリーンの線がどういう風になってるか眺めてみますとですね、じわじわと2050年くらいまでは世界全体でCO2の放出量を増やしてもいいけどそこから先は減らせというものです。

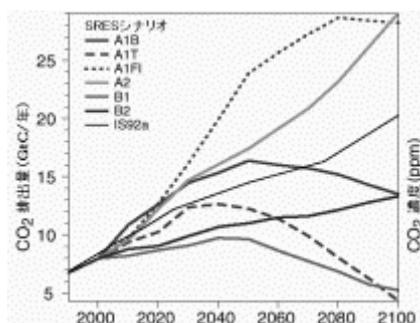


図9 二酸化炭素放出シナリオ

取り敢えず、しばらくは良いかなというシナリオです。とは言っても、後で述べるように先進国はそうはいかないんですが。

これは海面上昇の予想グラフですが、海面上昇はどのシナリオをとってもサチュエーションしないんですね。

何故か。そもそも皆さんは海面上昇の原因を氷が解けるからだと思っているようですが、そうではありません。山岳氷河は多少溶けますが、南極の氷は増えますし北極の氷は解け

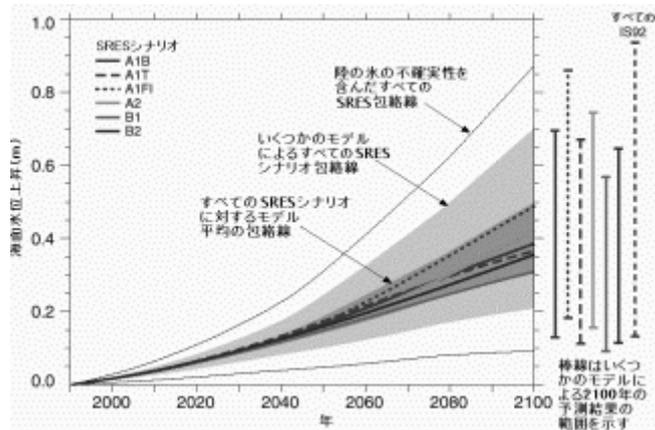


図9 海面上昇予測

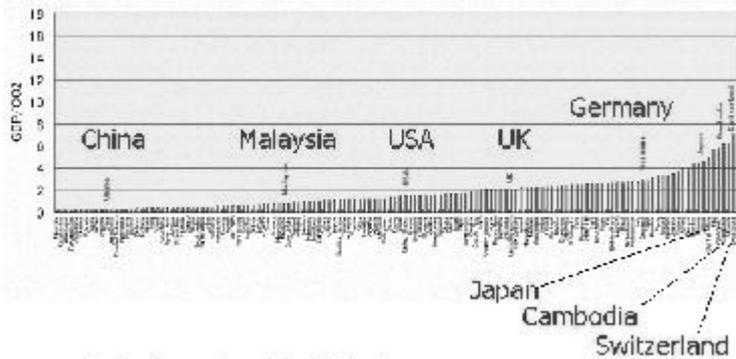
たところで海水面に変わりはありません。じゃあ何で海面が上昇するかと言いますと、海水が膨張するからです。ですから、海水の温度が上がるまで時間が随分かかるといことです。従って、300年くらいは海面が上がり続けるわけです。そしたら300年後には海面は0.6mくらい上がる事になるし、そうなってくるとベニス危険かなという話になります。京都議定書と言うものがあって、世界的に色々な合意を取ろうとしているのでありますが、日本はCO2排出量を下げて、アメリカは下げないと言っているのであります。困ったなど。日本にとっては京都でやってしまったのが運のつきで、昨年6月4日に批准して今はその批准書は国連の金庫の中に入っていますから「もうヤダ」って言うても間に合いませんよ(笑) やるっきゃないんですよ。それで、2008年から2012年の第一約束期間で1990年を基準にして-6%にすることになっています。ですが既に+8%くらいになっています。そうなるとこれを守るのは大変で、恐らく終わりごろには20%くらいの物を減らさなきゃいけなくなります。そんな事って出来るのかという話になってきます。でも、やらなきゃいけないのじゃないかな。

4.7. アメリカは発展途上国？

世界的にみて先ほどのシナリオのように2050年ごろからはCO2の排出量を減らさなきゃいけないのならば、ヨーロッパや日本みたいな国は早く減らさなきゃいけないけどアメリカは暫く待ってやるけどそのうち減らせ、ということになるんです。中国ももうちょっとだけ待ってやるけどそのうち減らせと。何故かって言うと、これはCO2をどのくらい出してそれでどのくらいのGDPを稼いでいるかという絵なんです、日本とかスイスとかはこのように右の方にあるんですが、同じ辺りにカンボジアやトップにチャドという国が来ています。これは非にCO2の効率がいい事を示しています。

要するに僅かなCO2でたくさん稼ぐという国なんです。チャドやカンボジアは工業がないからトップクラスにきているんです。そこからちょっとでも産業を作ってしまうと中国

CREST CO₂効率とGDPの関係



Data based on CO₂ Emission
in 1996 and GDP/person in 1997

図10 CO₂効率とGDPの関係

みたいに左の方へ落っこちてしまう。ですからどの国も最初は右からスタートするんですが、そこから一気に落ちて少しずつ階段を上ってくる形になるわけです。アメリカってまだこんな所で、階段を上りきれてないわけです。はっきり言って発展途上国です。本当にそうなんです。さっき言った乳児死亡率を見ても日本は1000分の3、アメリカは1000分の7.6。女性の平均余命も80ってないですよ。79くらいかな。確かに強い国、一強ではあるけども、色んな指標がアメリカは発展途上国なんです。よって、(CO₂排出削減に関しては)暫く勘弁してやるしかないんでしょう。

5. これからの環境対策

それで、我々はそろそろCO₂排出量を下げなきゃいかんのですよ。今まではどんどんモノを作ってCO₂排出量を増やしてGDPを増やしてきたけれど、これからCO₂排出量を減らして金を稼ぐにはどうしたらいいかという話になります。そういう時代になりました。そしたら、やることは唯一つ。軸をもう一本別に、「価値軸」という軸を作ることです。

今まで日本の経済というのは、値段の安いものばかり作って今のデフレを招いているわけだけど、これは馬鹿馬鹿しい。これからは高い物を少ない資源で作ってきちんと金を儲ける世界を作っていくないと、このシナリオのようににはならないのですよ。だから、日本がそういう方向に行くためには、我々は色んなものを変えなきゃいかんのですよ。

例えば、こんな例の場合も変えなきゃならん。あるビデオが壊れてしまったとする。修理代は15000円、新品のビデオは20000円で買えるとする。さあ、どっちにします？今までだったら無条件で新品を買う時代だった。ところが、もしも新品を買ったらどうなるか。新品というのは非循環なんです。資源採取が海外で行われ、製造も中国などの海外で行われ、中国から日本に来て、さっき捨てたビデオはごみになり日本の中で環境負荷になる。20000円のお金の大部分は海外に行ってしまう。修理の場合はどうか。修理すると輸送の

負荷は多少国内にもあるけども、大部分のお金は日本にとどまって、いささか日本にもよくなるかな。今まで我々はこれ(新品ケース)ばかり目指してきたから色んなところが変になってしまったけど、そろそろ色んなものの考え方を変えなきゃいけない。

昨年の 9 月にヨハネスブルグで行われた WSSD(地球サミット)において話題になったのは、「貧困の撲滅」、「持続可能でない生産・消費形態の変更」、あとはアフリカをどうしようという話です。それから先進国はとにかく生産・消費体系を変えましょうということでした。そのために全ての国が 10 年の事業計画を考えなければいけなくなりました。例えば車においても、化学物質の管理をきちんとやりましょうとかの話になってます。

ここでは sustainability というのがキーワードなのですが、sustainability とは一体何かという話になります。確かに sustainability とは、経済的・社会的な要因を十分考えた上で持続性を考えていかなければならないんだけど、人の健康というもの以外にも色んな問題があるぞということなんです。何故かというと、地球というものには 2 種類の限界がある。一つは生態系の能力の限界。何か変な物質を出した時に処理してくれる能力のことです。例えば諸君らが何かごみを出した時に、まあ多くの場合には東京都が持っていきますが、草むらに残ったとしてもいずれは分解する。それは生態系の分解能力だ。しかしその分解能力を超えるごみを出したらいつまでたっても分解しないで残っているわけだから、生態系の能力の範囲内で我々の活動を収めないといけない。資源・エネルギーというのも当然限界はある。結構ふところは広くてたくさんのエネルギーがあるんだけど、まあ限界はある。この 2 種類の限界の中で何をやっていくのかということをお我々は考えていくのだろう。

今まで人の健康のようなものだけを考えてきたけれど、先ほどの WSSD の話のようにこれ以外にも justice とか fairness みたいなものも考えると、やはり貧困の撲滅のようなものを考えなければいけない。だから、今まで我々は人間の健康のようなものだけを考えてきたけれど、他にも資源エネルギーとか貧困の撲滅とか生態系の能力とか、すこし広い視野でものを考えていかなければいけませんよというはなしになってきた。先進国と途上国もお互いに考えていかなければいけない。今まで我々は一箇所のみ、今の我々が健康ならそれでいいよ、って言ってきたんだけど、これから先は、例えば次の世代、のことも考えなきゃいけない。世代間調整論っていいんですが、子供のことも考えなきゃいけないということです。

6. 結論

そろそろこの辺で結論に入ります。最初に話したリスク・暴露・ハザードのような事を考えると確かに我々は色んな事をやってきたんだけど、1990 年くらいからは次世代のことも考えて、地球のある地域を考えると何か見えてくるでしょう。温暖化なんかそうですね。はっきり言って向こう 30~40 年くらいは被害なんてないですよ。少なくとも日本みたいな国は被害なんて殆どありません。現に 2003 年から日本は生態系リスクを考えた基準を作ろうとしている。先ほどの亜鉛の規制にしても皆さんがどう思うか分かりませんが、あ

れもなかなか良いか悪いかが分からなくて難しい。結局色々な事を考えていくと、ありとあらゆる環境問題はリスク管理だけそのリスクを受ける主体は我々だけではなく、地球上の全ての人・生態系まで含めるのだ。そうして将来世代までを含めた全てのリスクをミニマムにするような上手い総合的な発想を持たなければいけない。それがトータルリスクミニマムというものだろう。だから今までは人だけを考えてきたのだけれど、それを時間軸で広げて範囲も種まで広げて全部を考えなければいけません。地球って言うのは色々な事が太陽のおかげで起きている。そこに人間が住んで、地球の能力を使って色々な事をしている。動物も植物もハンバーガーも食べるし、地下から石炭などの資源を採ってきて商売もする、そうして出た煙などの公害も適切な量だと地球が太陽との関係で処理をしてくれるんだけど、今のCO2の問題は残念ながらその能力を越していることになる。ただ地球上に住んでるのは我々だけでなく色々な人がいる。熱帯林を切ってパームやしを日本に売るとかしている人もいます。ただそうするとどうしても生態系も被害を被るからそれも考えなければいけない。それと同時に将来の世代のことも十分に考えていかなければいけない。このような話がトータルリスクミニマム論です。

こういうことを全部やるにはですね、要するに我々は地球と人間の全てを「ある程度」知らないといけない。

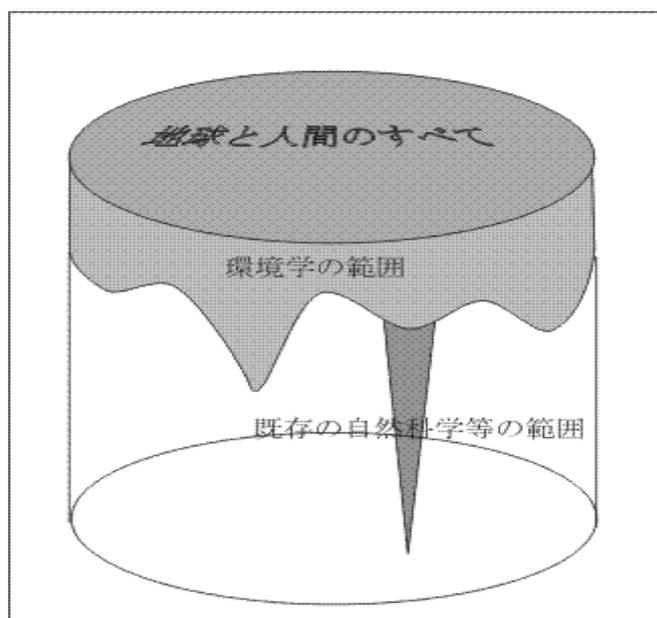


図11 環境学とは何か

ところが今の学問体系にこのようなものはない。どこかに入って深く井戸を掘るということになっている。例えば法学で環境を扱うというのは環境学ではなく、法学の中の環境学なんです。ところが我々は環境というものをダイレクトに取り扱う学問が必要だろう。何故かという、今言ったような全部の事を総合的に判断できる人間がそろそろ必要になってきているからです。これが出来るのかな、というのが今の状況です。以上で終わります。

生物の多様性とその保全

東京大学大学院農学生命科学研究科 樋口 広芳

環境の世紀V 第6回講義 (1998年5月22日)

1. はじめに

環境問題はさまざまな側面を持っている。その中で、注目されやすいが比較的正しく理解されていない問題に生物多様性がある。この講義では、生物多様性とはいったい何なのか、さらにそれを保存するということは何なのか、という非常に基本的なことについて話したい。

生物多様性は複数の側面を持ち合わせているが、とりあえず地球上にいろいろな生き物がいること、と考えるおいていだろう。それが異なる意味合いや側面をもつことは話を進めていくうちに提示していこう。

私たちが住むこの地球という星には、実に種々さまざまな生きものがある。夜空を見上げれば無数の星屑が目に入ってくる。その数はまさに無数であり、その無数の星の一つに私たちの地球があり、そこに実にさまざまな生きものが生活している。地球以外の星に生命が存在するののかということ、大問題であり、また未知の問題である。あれだけ多くの星の中に一つぐらい生命が存在している星があってもおかしくないと思うが、とにかく地球以外に生命、生物が存在する星は知られていない。

いろいろな生きものを思い浮かべてみよう。アメーバやゾウリムシなど、顕微鏡でなければ見ることができない生物がいる一方で、さまざまな昆虫、両生類、爬虫類、鳥類、哺乳類などが営みを絶えることなく存続している。その数はこれまで科学の世界に知られているだけで約140～150万種にのぼる。私たち人間もその中の一つでしかない、ということをもっと認識する必要がある。私たちは北極や南極、海洋に至る地球上のあらゆる環境に生息して莫大な数の人口を持っている。その人口爆発が原因となり、私たち自身が必要とする水や空気を汚染し、さまざまな生きものを絶滅の危機に追いやっている。

人間は地球上の他の生物がいなければ存在できない。人間は動物であり、動物は植物と決定的に違い、自分でエネルギーを作り出すことができない。ヒトを含めたすべての動物は、生産者である植物が作り出す有機物を消費して生存している。ヒトは植物の他にいろいろな動物も利用して生活している。ヒトを含めた全ての生命は、他の生きものとのさまざまな関係があって生存していけるのである。多様な生物がいることの意味を考え、その多様性を未来へ繋げていくということは、例えばトキやゾウやアホウドリ、ジャイアントパンダといった動物を単にかわいいから保護する、といった視点とは根本的に異なっている。地球上にはいろいろな生きものがいて互いに密接なかかわりをもちながら暮らしている、そしてそのかかわりの中で私たち人間も存在していることは確かである。そういう生物同士の繋がり、多様性を保全するということは、私たち自身の今後の存続を可能ならしめるものでもあるのだ。

2. 生物の多様性の世界

2.1. 生物の種数

地球上には既知の生物だけで百数十万種知られている。未発見のものはさらに膨大にあ

り、それらを含めると、1000万種とも5000万種とも、あるいは一億ぐらいいるのではないとも言われている。

(講義ではさまざまな生物の写真を使用して話された。視覚的に多様な生物の世界をうかがい知ることができる。)

昆虫は現在約75万種知られており、未発見の生物の大部分も昆虫が占めている。昆虫はヒトと並んで非常に勢力を伸ばしている生物で、地球は昆虫の惑星と言うこともできる。未発見の生物は熱帯雨林の樹上や深海底などに多数存在している。

2.2. 多様性の意味、仕組み

まず生物の多様性について思うことは、なぜこれほど姿、形、色、習性の異なる生物が存在するのだろうか、ということである。とりあえず、この疑問をもとに生物の多様性の意味を探ってみようと思う。

地球にはゾウ、スズメ、チョウ、カメ、メダカ、サクラ、コケなど実にさまざまな生物がいる。しかしなぜ、このように多様で膨大な種が存在するのだろうか。その疑問をそのまま考えてしまうと、答えは見つけにくい。そこで、身近な自然の中で普通に見られる生物を対象にその問題に迫ってみたい。ここで取り上げる生物として、ツバメ、カワセミ、シジュウカラ、カルガモの4種の鳥をあげる。彼らはなぜ異なる生きものとして存在するのだろうか。結論からいうと、異なる種の生物は自然界の中で、違った場所で違った食物を違った方法でとって食べ、それにあった体のつくりをしている、ということがいえる。一つひとつの種は自然界の中で独自の生活単位として存在しているのである。

2.2.1. 多様な生活

シジュウカラは典型的な小鳥の姿をしている。森林の枝葉の間を動き回り、くちばしで昆虫などをつまみとって食べている。ツバメは空中生活者である。飛びながら飛んでいる昆虫を食べているのである。森林の中において、ぴょんぴょん跳びはねているということはない。ツバメはシジュウカラと比べると、翼が細長く、尾羽はいわゆる燕尾形をしており、旋回機能を活かして飛びまわることができる。その特徴を生かして空中の昆虫をすばやく捕まえている。つまり、習性と体の特徴がそれぞれ一致しているのである。カワセミはルリ色の羽毛を持つ美しい鳥だが、彼らもまた、シジュウカラやツバメとは大きく異なる習性、特徴を備えている。水辺に住み、くちばしから水面に突っ込んで魚を捕らえ、枝に戻って食べる生活をしている。くちばしは、魚を捕まえるのに都合のよいまっすぐで細長い形状をしている。同じ水辺に住む鳥でも、カルガモはカワセミとはまた異なって、扁平なくちばしを持ち、足に水かきがある。そして水面を泳ぎながら小さな植物質のものを濾し取って食べている。くちばしの縁には櫛状の突起が並んでいる。

2.2.2. 近縁種間の違い

この4種の鳥はかなり類縁の遠い鳥類なので、もっと類縁の近い種、たとえば、シジュウカラ、ヒガラ、コガラ、ヤマガラなどのシジュウカラ類でも調べてみよう。これらの鳥は、似たような姿、生活、行動をしているように見える。しかし、似てはいるけれどもよく調べてみると、やはり、それぞれの種は微妙ではあるがはっきりと違った場所で違った方法で違った食物を得ている、ことがわかる。つまり種が異なれば類縁の近い生物でも「違った場所で違った食物を違った方法で取って食べ、それにあつた体のつくりをしている」という原則は当てはまるのである。

個々の生物の種は、ある特定の仕事をすることに専門化しているということができる。ツバメは空中生活者として、カルガモは水辺の微小な植物質のものを食べるものとして専門化しているのである。

その点で興味深いのは、類縁の近い動物で体の大きさが段階的に異なるものがあるという事例である。水田でよく見られるシラサギ類には、ダイサギ、チュウサギ、コサギと名前どおり大きさの異なる種がいる。タカの仲間ではオオタカ、ハイタカ、ツミが、キツツキの仲間ではオオアカゲラ、アカゲラ、コゲラといった大きさの違う近縁種が見られる。彼らは体の大きさの違いを生かして、異なる場所で異なる大きさの獲物を取って食べている。ダイサギはその長い足を利用してチュウサギやコサギの入っていけない深い水辺に入り、大きな魚を食べ、一方、小さいコサギはより機敏に動き、小さい魚を採っている。それぞれが自然界の中で専門家として存在している。だからこそ、一つの水辺、森林、草原の中でいくつもの近縁種が共存することができるのである。このことは爬虫類でも哺乳類でも、他の生物でも基本的に変わらない。

2.3. 多様性の進化

次に疑問となるのは、生物の多様性が地球上における進化の産物として発達してきたものであるならば、どのように多様性は生じてきたのか、という進化の仕組みそのものである。進化というものを認めない研究者も特にキリスト教圏では存在しているが、世界の始まりからすべての生物が存在していたということはあるまいだろう。やはり、地球上に生命の起源となるようなものができ、それが姿形を変え、種々の生物を生み出してきたのだろうと考えられる。

2.3.1. 種分化と適応放散

ここでは一つの種が別の種に分かれていく種分化について考えてみたい。

日本にはセグロセキレイ、ハクセキレイという鳥がいるが、これらに属する鳥はユーラシアに広く分布している。比較すると地域によって少しずつ顔の色彩、模様などが異なっていることがわかる。おそらく、共通の祖先が分布を広げる中で違いが生じてきたのだろう、ということは十分に考えられることである。

一つの種が数種あるいは多数の種に分化していく現象は、小さな島が多く集まる島々で

顕著に見られるものである。地理的に離れた場所では、独自に遺伝的変異が積み重なっていった結果、色や習性が変化していく。また、それぞれの自然環境に体の特徴を変化させ、適応していった可能性も十分ある。こういった事例は世界のいたる所で観察することができる。

ここで、地理的に隔離されていた複数の個体群が、あるときまた同じ地域で生活するようになったとしよう。海の水深が浅くなって陸化が進んだ場合とか、生物が自身で分布を拡大した場合などを考えればよい。各々の地域の個体群がそれまでに発達させてきた特徴が顕著になってしまった場合には、もともと同一種だった個体群どうしは、もはや互いに交配できなくなってしまう。こうして自然界の中で別々の種として存在するようになる。新しい複数の種が誕生した、といえるのである。

こうした種分化の過程で必要なのは、異なる個体群の間に生殖隔離が発達することである。そして異なる形態、生態、行動をもつようになったそれぞれの種は、同時に独自のすみ場所や食物を利用するようになる。つまり独自の生態的地位（ニッチ）を占めることになる。

ある一つの種から形態や習性が異なる多様な種が誕生していくことを「適応放散」と呼ぶ。適応放散の好例は、いくつもの島々からなる諸島で見られる。たとえば南米エクアドルの西方海上にあるガラパゴス諸島（ダーウィンが進化論を思いついたという場所）で、スカレシアという植物、ダーウィンフィンチという鳥などで認められる。また、ハワイ諸島のショウジョウバエ類、ハワイミツスイ類と呼ばれる一群の鳥でも観察することができる。大きなスケールの例では、オーストラリアの有袋類も挙げられる。古い時代に他の大陸から隔てられてきたために、有袋類がさまざまに分化し、アジアや北アメリカなどの有胎盤類と似た形状、生態をもつ動物群が発達、進化してきた。

2.3.2. 適応放散と多様性進化の過程

ここで重要なことは、適応放散は特殊な一部の例だけに当てはまる現象、概念ではない、ということである。ある生物がいて、体のつくりに大きな変化を生じたとする。すると、その特徴を活かして新しい生活領域で、他の生物がそれまで利用しなかった空間や食物を利用することができるようになる。その生物にとって、生活の可能性が一気に広がることになる。それは特殊なことではなく、少なくとも生物の生活という点では、ガラパゴス諸島に最初に辿り着いた小さな鳥、ハワイ諸島にやってきたショウジョウバエ、あるいはオーストラリアに残った有袋類が、他に競争する生物が存在しなかったためにいろいろな形態、生態に分化、放散していく可能性を手に入れた、ということと基本的に同じなのである。

例えばカモの仲間の祖先を考えてみると、かれらは扁平なくちばしや、水かきのある足を発達させた。その結果、水辺を泳いで小さな藻類などを濾しとって食べるという生活が可能になる。カモの祖先は水辺の空間と食物とを一気に得て、その後の進化の可能性を大

大きく拡大することになる。そして水辺の環境は一様ではないので、その後、微妙な違いに応じてさまざまな種が適応、放散していくことになる。実際、カモ、ガン、ハクチョウといった基本設計は共通だが少しずつ違うグループが生まれている。つまり、カモの祖先がカモ類としての基本的な特徴を獲得したことで進化の可能性が広がり、その後、多くの種が分かれてきた。これも適応放散の一つのあり方として見てとれる。

このことはより大きなグループにも当てはまる。いわゆる小鳥と呼ばれる鳥は、9000種ほどいる鳥類の中で5000種ほどを占め、森林の樹木の枝の間を生活空間にしている。彼らが進化してきた過程は、地球上に被子植物が大進化してきた時代のなかにあり、同時に被子植物進化に伴って昆虫が繁栄してきた時期である。その被子植物の発達、昆虫の発達とともに、それらの資源をうまく利用するように適応放散をし、種の大集団を形成してきたのである。

適応放散は爬虫類や哺乳類の中にも現れている。さらには鳥類とか哺乳類という大グループに属する種全体が、共通の祖先から多様な形態、習性を持つように適応放散してきたと見ることができる。

このようにみえてくると、すべての生物は、生命が発生したのち長い長い年月の中で次々に異なる生活空間、食物を利用するようになり、形態を変えていくことで、いわば地球という宇宙の島の中で超大規模な適応放散を遂げた結果生じた産物であるとみなすことができる。それぞれの種が異なる生態的地位を占めているからこそ、地球上で多くの種の共存が可能になっているのである。

2.3.3. 種は専門家である

私たちは構造が単純なゾウリムシ、アメーバなどは、哺乳類や鳥類に比べ、いわゆる下等な生物であると考えているが、生きるという点では高等も下等もない。個々の生物種はみな、異なった生活空間や食物を利用し、その習性に合った体のつくりを備えている。いわばその道の専門家である。ライオンの生活はキリンにはできず、その逆もまた不可能である。ゾウリムシはゾウリムシとして、カニはカニとしての生活を営み、その限りでは他の生物よりはるかに巧みに生きている。ヒトが万物の霊長だと豪語したところで、キリンのような暮らし方はできないし、カニのような暮らしもできないのである。このように、一つひとつの種は異なる専門家として自然界で存在している。そこに生物の多様性の根本的な意味があるのである。

3. 生物の繋がりと保全の意味

自然界は、植物、草食の動物、数段階の肉食の動物、また、それらの遺骸、排泄物を分解する菌類などの分解者からなっている。分解者によって分解された無機物は、再び植物の養分となって植物体に吸収される。このようにさまざまな生物種どうしの繋がりが存在する生態系が各地に存在している。各地の生態系は、その土地の諸条件とかかわりを持ち

つつ、独自の様相を呈している。ブナ林もあれば照葉樹林もあり、草原やツンドラもあれば干潟もある、といったことである。

現在、生物多様性の保全が問題になっているが、私たちは、多様な生物が複雑に絡み合う非常に精巧な系の至るところで、一つ一つの繋がりを切断しているのである。個々の繋がりはあまり影響があるようにはみえない。シジュウカラと昆虫との繋がりを断ち切ったとしても、離れた人間の生活には何らの支障ももたらさないだろう。地球全体のシステムへの影響も微々たるものだろう。ゾウやアホウドリがいなくなっても問題は起こらないかもしれない。しかし、おそらくシステムがうまく機能する臨界点がどこかにあり、そこを越えて破壊を続けると、システムは必ず崩壊すると考えられ、人間の生活も危ぶまれることになる。そこに多様性保全の大きな意味がある。

遠く離れた生態系は別々に成り立っているわけではなく、水や空気によって、また、渡り鳥によっても繋がっている。渡り鳥は立ち寄る複数の生態系でそれぞれ一定の役割を果たしているので、一つの地域の自然で問題が起こると、繋がった他の地域でも影響が現れる。日本の干潟を破壊することは日本だけの問題ではあり得ない。

生物多様性の保全は、ゾウやトキを保護することでもあるが、それだけにとどまらず、「将来にわたる人類の存続を保全する」ことにもつながっている。

質疑応答

Q 一つの種、例えばトキに莫大な資金を使うよりも、多様性を保全するという目的からは他の生物に広くかけたほうが適切なのではないか。

A そうあるべきであるが、保全には多分に社会的政治的な要素が含まれている。予算を獲得するとき、たとえば大蔵省が生物多様性について深い認識のない場合、トキなどの社会的にインパクトのある種をターゲットにし、その予算の中で生物多様性の重要性を社会に呼びかけ、他の種まで保全する次のステップにつなげていく、ということをしているようだ。必ずしも科学的な判断基準に基づいて優先順位が決定される状況にはない、というのが実情である。

Q 絶対的な保護か、人が入ることも可能な状態におく保全かどちらをとるべきなのか。

A 状況に応じて多様な在り方があってよいと考えている。もし人間が入ることでマイナスのインパクトがあり、絶滅の可能性が増大する場合には立ち入りを制限すべきだが、そうでないときは観察することを認めたり、経済効果や教育・普及効果があるならば、多くの人を誘致してよい場合もあるだろう。状況を正しく認識することが重要である。

Q 欧米で保全活動をすべきか、日本に残り改善していったほうがいいのか。

A 若い人には日本だけにとどまらず、いろいろな経験をしてもらいたい。日本の学生は短い期間で効率よく単位を取り、よいところに就職しようとする。たいした経験もしないで、重要な職に就いてしまう。海外では大学生はいろいろな活動をしている。さまざまな生き方や状況を経験することは、非常に大切である。それができるのは学生時代だけだろう。

地球をめぐる水と水をめぐる人々

東京大学生産技術研究所 沖 大幹

環境の世紀X 第9回講義 (2003年6月20日)

1. はじめに

「地球をめぐる水と水をめぐる人々」ということで、「地球をめぐる水」というのは、自然の中での水循環、「水をめぐる人々」というのは、人がその水をどう扱っているか、という人間社会側の話で、結局水問題というのは、今新聞で出てきたり、テレビで取り上げられたりしていますけれど、自然系と人間社会の両方の接点で、両方の問題を取り組まなければならないということが何となく分かってもらいたいということで話を進めていきたいと思います。

私は東大の生産研究所にいますけれど、文部科学省が総合地球環境学研究所（地球研）というのを2年ぐらい前に作りました。文部省の直轄の研究所とって、南極に越冬隊を送るといっているのは極地研ですね。火星に行って土のサンプルを取ってくるロケットがありますよね、あれは宇宙研ですね。このように大規模な研究をする研究所は文部省の直轄研究所です。ここに本部を移ったんですが、兼任になって社会基盤を担当しています。

1.1. 水危機とは何か？

みなさんが目にする「世界の水危機」というのは、大体こういうことが言われていると思います。例えば、世界人口の1/5が安全な水へのアクセスがなく、毎年300～400万人が水に関連した病気で死ぬとか、世界の水資源危機というのは、取水量が1995年の3800kmから4300～5200kmに、50%くらい増大するだろう。何で増えるかって言うと、1つには、生活レベルが増大するから。それから、黄河の断流って聞いたことありますか？それは人間の側から言うと、黄河の断流は1970年の初めから起こっているんですね。1995・97年には年間200日以上黄河の下流域で水が一滴も流れない状況になった。それが大問題になって、国際社会からやんやと言われたので、中国が農業用水の取水を制限したら、今のところ起こっていないんですね、断流は。では、なぜそれがいけないのか。生態系にダメージを与えているのではないか。生態系のことを考えなければ、黄河の水が流れないくらいの水を使うというのは、人間が利用可能な資源を最大限に有効利用しているという見方もできるわけです。ところが、現在まさに「環境の世紀」ですから、人間だけがよければいいというわけではなくて、断流が起これば、そこにいる生態系にもものすごい影響が残る。

また、温暖化によって水循環が変化する、とくに劣化するんじゃないかということが懸念されています。都市化の進展は温暖化が起これなくても深刻化しますので、都市化というのはものすごく東南アジアや途上国などでも都市の人口が集中しています。そういった地域の環境問題をどうするか。日本のように全体としては人口が減ると、みんな思ってますよね。けれども都心部はあんまり減っていないんです。地方の中核都市に人口がどんどん集まっている。もちろん、東京もあんまり減りません。したがって、都市部の問題というのは今後も起こるだろう。

さらに、水が足りないということが、国際的な紛争の引き金になるんじゃないか、と言

った人がいるんですね。「20世紀は石油をめぐる紛争の世紀だったが、21世紀は水をめぐる紛争の世紀になる」といった人がいます。地球環境問題というのは、基本的には何で起きているかという、人口が増加します。人口が増加すると、エネルギー消費・食糧生産が必要なわけですね。エネルギーは有限である、ということに気づいたのが20世紀が最初だった。それが有限なために何が起こるかという、1つは食糧生産で、どんどん窒素肥料を与える。そうすると、硝酸性窒素というのが地下水に溜まって行って、飲用に適さなくなる。もしくは、気候変動で吸収できないようなCO2が大気中に増えて行って温暖化が起こる。

環境問題に興味のある人は、「人類が生存し続けられるのか」、何となく不安があると思います。「持続可能な発展」のことを英語では **Sustainable Development** といわれるんですが、なんとなく変な感じはしませんか。1992年にリオで地球サミットがあったときに、先進国側は環境問題が大事だということで、もうこの時点でフィーディングを掛けましょうと思ったわけです。ところが先進国側はそれでいいかもしれないけれど、途上国はまだこれから発展するのに、もうここでいいというので止められては困るということで、「持続可能な発展」ということでまだ伸びますよ、というあたりを残したわけです。ところが、本来われわれのやらなければならないことは『持続性の構築』、つまり「**Sustainable Development**」ではなく「**Sustainability** を **Develop** すること」であると思います。

気候変動と環境汚染の両方に関連したものが水である。たとえば、世界の環境危機が起こったとき、人類は破滅すると思いますか？たとえば、日本にエネルギー危機が起こって石油が輸入できなくなったら、悲惨な生活になると思いますか。色々な環境の本を読んで、私は『恫喝本』と呼んでいるのですが、「こんなにたいへんなことになるぞ」、というような本が多いんですけれども、いま60億人くらい人間がいるわけですよ。ものすごくカストフなことが起こっても、1億人ぐらいはきっと生き残ると思うんですよ。そうすると人類破滅ということは絶対ないと思うんですよ。エネルギーに関しても、今の7、8%ぐらいの電気使用量のレベルは、昭和30年代初期、つまり4、50年前の暮らしぐらいだそうです。当時はエアコンもない。裸電球で、やかんがあって、冷蔵庫に氷入れるか、半分ぐらい。あとは洗濯機もなくて、そのぐらいの暮らしというのはできるでしょう。50年前に戻るの嫌かもしれないけれど、最近は電気の効率も上がってますし、パソコンだって省電力になってるんですから、まったく原始状態に戻るわけではない。だから、あまり悲観的になるとそれはたいへんかもしれない。食料も足りない、水も足りない、エネルギーも足りないということになるかもしれないけれど、限界に行ったからといってすぐ0になるわけではない。0にならないでどこかで落ち着くだろう、その落ち着き方を考えるのが大事だと思います。

前置きが長くなりましたが、今日は世界の水資源問題のポイントは何か。どうすれば上手くマネジメントできるのか。地球の水循環はどうなっているのか。人間活動がどう水循環を変化させているのか。たぶん時間はないと思いますが、温暖化により水循環はどう変

化するのか。最近のトピックとしては、**virtual water** とは何か、ということに関してお話しして、科学技術が世界の水問題の解決に貢献できるのか、ということのを少し考えてもらえればと思います。

2. 地球上の水と水資源

2.1. 世界の水資源問題の本質

国際的な枠組みはどうなっているかといいますと、国連ミレニアム宣言というのが 2000 年に 9 月にありまして、その中でこんなことが書いてあります。

To halve, by the year 2015, the proportion of the world's people whose income is less than one dollar a day and the proportion of people who suffer from hunger and, by the same date, to halve the proportion of people who are unable to reach or to afford safe drinking water.

ということで、一日に 1 ドルの収入もない、そして餓えに苦しんでいる、かつ安全な飲み水へのアクセスがない人の人口割合を半分に減らそう、というのがこのミレニアム宣言でなされました。つまり、皆さんは資源問題だと思っていたかもしれませんが、水問題は国連レベルでは、貧困問題と同じカテゴリーなんですね。

同じように、国連環境サミットというのが今年の 8・9 月にヨハネスブルグで開催されました。そこでも実行計画というのがなされて、ミレニアム宣言と同じように、安全な水にアクセスできない人口割合を半減させるとともに、トイレのない人の人口割合も半減しましょう、というような宣言がされた。トイレがないというのはどういうことか、というと、し尿がそのまま放置されますので水が汚くなる。水資源というのは、必要な水質の水がないと、物質としての水がどれだけあっても、資源としては使えないので、ないのと一緒です。

2.2. 地球の水循環

水について若干アイデアを持ってもらうために、一日どのくらい使っているかということですが、これはタイの東北部の民家の裏にある水がめなんです、屋根に降る水を溜めています。この瓶いっぱいの水で 1km³ だとして、どのくらい暮らせるでしょうか。しかし、何日間暮らせるか、という問いは実は正しくない。世界平均では、1 週間ぐらいで使ってしまいます。オーストラリアでは 1 日。アメリカは 2 日。日本は一日一人当たり 320 ~ 330 リットルぐらい使うので、2~3 日です。ザンビアとかハイチっていう国では、年間で 1t しか使っていないという統計になっている。一日に飲む水は 2L ぐらいだと言われています。震災に備えるためには 1 日 1 人あたり 3 リットルを目安にして溜めてくださいね、というのが指標なんです。一年間 365 日で 1t ということは、一日当たり 2、3 リットル

ですよ。ということは、この人たちは飲む水としてしか水が得られていない。豊かな人はもしかすると日本人並みに使っているのかもしれないけれど、平均するとこうなる。

水資源を使うということはどういうことかというのを分かってもらいたい。State Variable というのは状態量で、どこにどのくらいの水がたまっているか、ということの推定値です。FLUX というのは、年間どのくらいの量がそこを流れているかということを行う数字です。たとえば海には地球上の水の 97% があります。ところがそれは海水なので飲みません。川の水というのは 2000km³ しかありません。ところが、水資源というのは石油とかと違って、使ってもなくなりません、物質としての水は。飲んでも水は体の中で分解して燃えて、エネルギーとして出てくるわけじゃないですね。工場で使っても、蒸発したとしても水分子は水分子のままですよ。光合成で炭酸浄化作用になっても、大体の水は取り込まれても水のままである。水はなくならない。ところが、肝心なのは、年間どのくらい流れるか、その流れる量なんですよ。このところが分かってもらえれば今日の講義はいいと思うんですけど、例えばですね、泉があるとして、そこから水が常に毎分 10 リットルぐらい湧き出ているとします。それを 5 人が使うのであれば、絶対足りるんですよ。ところが、10 人が使うとどうなるか。100 人で使うとどうなるか。常に出ていてなくなることはないのだから、絶対に足りなくなることはないだろうと考えるかもしれませんが。ところがそうではなくて、われわれは使うということでも、常に時間当たりどのくらい必要か、が大事です。毎日毎日ある一定量以上が必要なわけです。ということは、どこにどのくらい溜まっているかじゃなくて、どこをどのくらい流れるかが大事なんです。川の中には、瞬間瞬間に 2000km³ くらいしか入っていません。ところがそれが年間 20 回ぐらい入れ替わりますので、40000km³ ぐらいが毎日陸から海へ流れている。そのうち 10% くらい、3800km³ ぐらいを人間社会に取り込んで、また自然に戻して循環させている。

2.3. 世界や日本の水資源利用の現状

世界では水資源をどう使っているのか。取水量と消費量に分かれているんですけど、取水量の 2/3 は農業用水に使われている。消費量の 9 割ぐらいは農業用水に使われている。日本人はどのくらいか、ということですが、都会全体で平均すると 330 リットルなんですよ。ところが、家庭内の利用は 250 リットルぐらいです。何に使われているかということ、風呂・トイレ・炊事・洗濯が大体 1/4 ずつぐらいで、残りは顔洗ったり、歯磨いたりとかいう水なんですよ。ここで 2 オーダー違うということを知ってもらいたいんですけど、飲み水というのは、2~3 リットルでいいわけですが、われわれが家で使っている、もしくは学校でトイレに行くとか、デパートとか病院とかいろいろなところで使うので、平均すると 330 リットルになるわけで、大体 100 倍くらいの量を使っている。よく考えてみると、風呂っていうのは体を洗うわけですよ。トイレっていうのは便器を洗う。炊事っていうのはお皿を洗う。洗濯っていうのは服を洗う。「水を使う」ということは、洗うことなんだ、全部。もっと考えてみると、飲み水は体の中の代謝物を外に排出するために飲んでるんだ。逆に

言うと、いろいろな国のキャンペーンで「水をきれいに使いましょう」と書いてありますけれど、水をきれいに使うということとは水を使っていないことと同じことだ、ということになる。

で、日本の水資源がじゃあどうかという話ですが、先ほどから言っているとおり、人が飲む水は一日一人当たり 2~3 リットルですから年間 1km³ くらい。日本人が使っている水道水は 330 リットルですから、年間 120m³。農業用水は統計で約 500km³。ただし、取水量というのは、利用量よりもかなり大きい。大阪の水は、水系によって違うんですけど 3 回から 6 回、琵琶湖の上流で人の使った水を循環させるんですね。農業用水だけでなく、家庭用水も全て循環しているんですね。循環利用されているので、取水量と利用量はかなり違う。工業用水を含めて合計 750km³ で、大体 90km³ ぐらいを日本人は飲む水として使っている。「水資源賦存量」という考え方がありますが、降水量は 1800mm ぐらいですから、1000ml ぐらいを年間水資源として使える。なぜ水のことを長さで表すのか。雨の量を長さで表すのは、そのまま貯めていって横に流れない、としたときにそのぐらい溜まる、というのが降水量なんですね。実際には、流れたり、地下に染み込んだりしてるわけです。国土面積が 38 万 km² ですから、あわせて 380km³ ぐらいが蒸発する分を差引いて日本全国で使えるわけです。現在使っているのは、90km³ ですから、年間使えるのに約 1/4 ぐらいを何らかの形で取って使っているということになります。この値というのは、全世界平均が 400000km³ で 3800 ですから、10% ぐらいを使っている。日本で 25%、アメリカも 30% ぐらい。韓国になると 4、50% 使える水を使っている。ということは、「脱ダム宣言」とかいうのをアメリカとか日本で言っても、これ以上のダムとかは必要ありませんって言えますけれど、十分貯留施設があるんですね。それに対して、全世界的に 10% 平均ですから、これから伸びるような国に対してためておく施設がないとどうなるか、ということを考えておく必要はありますね。

もうひとつは水の値段なんですけれども、PET ボトルが 500ml で 150 円とすると、1km³ あたり 30 万円。水道料金は小口ユーザーで 140 円、大学なんかは大口ユーザーなので、皆さんがその辺から飲む水はおうちで飲む水の倍以上するんですが、400 円ぐらい。PET ボトルの水というのは、水道水の 1000 倍の値段だということが分かります。ものすごく高いです。逆に言うと、ニーズがあると 1000 倍の値段でもモノは売れるんだ。水資源というのは、結局安いので、トンあたり数百円ぐらいですね。たとえば、古紙回収というのは、数年前にぜんぜん集まらなくなってしまう。あれは古新聞とか古雑誌を集めて回りますよね。それがキロ当たり 5、6 円していて、集めて持って行くと儲かっていたのが、キログラムあたり 2、3 円に下がっちゃって誰も集めなくなっちゃって困った。ところが、キログラムあたり 2 円でも 1t あたり 2000 円ですよ。きれいにして飲むようになっても古新聞よりもずっと安い。くず鉄とかでもトンあたり 5、6 千円する。だから、飲む水というのはものすごく安い。安いということで、トラックで運ぶとか、倉庫に保管したりするのにコストがものすごくかかる。普通の経済財と違って、取っておいたり貯蔵したり輸送したり

するのが相対的に高くなり、経済的に引き合わない。だから大規模に環境を壊すほどのことでダムとかで貯蔵しない限り、なかなか必要なときに必要な場所に供給できない。たとえば、カナダには水が余っていても、カリフォルニアには送れるかもしれないけど、アフリカには輸出できないということになります。

3. virtual water とは何か。

3.1. blue water と green water

農業用水はどのくらい使ってるかということ、生活用水の3~4倍ですが、国内だけを考えていけばいいのか？一答えは NO! 食料の移動が大量の「目に見えない水 virtual required water」(仮想投入水)の移動を引き起こしている。仮想/現実投入水量とは何か、ということですが、農業・畜産製品や工業製品を作るときに必要な水を required water としましょう。これには blue water と green water の両者を含みます。昔の水資源工学というのは、blue water しか考えていませんでした。降った雨から蒸発した分を差し引いて、残りの分を誰にどうやって分けるか。これが blue water です。灌漑にどのくらい水をあげるか。というのが問題だった。それに対して、そこに降った雨が、一端土壤に染み込んで、植物の根が吸い込んで、また蒸散させる、というのを green water と呼ぶようになりました。それは昔は水資源とは考えられてなかった。でも、降った雨で育て、できるものがあれば、水資源と考えるのは当然ではないか、という訳で、最近 blue water と green water の両方を含めて水資源と考えるようになった。

国際貿易を考えると、二種類の投入水量が考えられます。ひとつは輸出国、生産国において消費された水資源量で、実際に使われた水の量なので、現実投入水量といいます。それに対して、日本で輸入しますよね、外国で作られる食糧を。それを日本で作ったとしたらどのくらいの水資源量が必要だったか、という仮想的な推定値のことを仮想水(virtual required water)といいます。つまり輸出国の投入量が輸入国の仮想水に変わる、ということです。日本はカロリーベースで40%しか自給していません。残りの60%を輸入しているわけです。では、日本はそれだけの virtual water を輸入していることになるのか？穀物・肉類・製品価格あたりの virtual water はどのくらいか？どの地域からどのくらいの virtual water が何として来ているのか？またグローバルな virtual water のバランスと循環はどうなっているのか？これまでの1960年くらいからの歴史的な経緯はどうだったか？virtual water の貿易が水不足を緩和しているのか？利用可能な水資源量を増大させているのかどうか？といったことについて、少し話したいと思います。

3.2. 穀物と virtual water

穀物の水消費原単位ですが、投入された水の量を単位収量と歩留まり率で割ります。一

日に必要な量というのは、米は 15mm/day、それ以外は 4mm/day で、収量というのは、国や地域、年によってぜんぜん違う。アフリカ、中央アジアといろいろ出ていまして、1960 年から 2000 年まで出ていますが、ヨーロッパとか、オセアニアとかはものすごく収量が高いのに対して、アフリカとかは少ない。フィールドが違いますので、1t の穀物を作るのに必要な水の量は農業先進国の 1000t ぐらいから、日本とかアフリカとかの場合だと、30 倍、40 倍ぐらいの水が必要だ、というような計算結果になります。もし日本で作った場合だと、米だと重さあたりで 3600 倍、大麦・大豆で 2500 倍、小麦・とうもろこしで 2000 倍ぐらいの水資源を使わないと農産物は作れないということになります。主にアメリカから来ている。

3.3. 畜産や工業生産と virtual water

今度は畜産製品だと、普通に考えると、牛育てるのに、牛に水を巻くなあ、牛の体洗うなあ、と思うでしょう？それだけではなく、牛が食べる牧草だとか、もしくは飼料を育てるのに使う量もものすごい量なんです。最終的に家畜が肉に成るのにどのくらいかかるか。牛に関しては、肉牛と乳牛は食べさせるものも違うんですね。牛の場合は重さあたり 20000 倍ぐらいの水資源が必要。枝肉、つまり骨があると 15000 倍くらい。豚も同様にキレイに食べられる場合だと 5000 倍、枝肉だと 4000 倍。鳥は骨付きだと 3000 倍、枝肉で 4500 倍。鶏卵だと 3500 倍ぐらいの水資源が重さあたり必要になってくる。

それに対して、工業製品は今みたいなライフサイクルアセスメント的にどこにどのくらい使ったか、というのは考えにくいので、マクロに工業出荷額あたりに考えてみます。たくさん水を使う割りに、軽いものというのが多くなって、一億円の製品を作るのにどのくらいの水が使われているのか。45000t ぐらいの水が必要とか、となっています。工業製品に関しては輸出と輸入があって、日本はさすがに輸入の方はさきほど穀物の輸入よりも 1 オーダーぐらい小さい。

全部足し合わせると、日本の仮想投入水量の総輸入量ですが、国ごとに見ますと、圧倒的にアメリカからたくさんの食糧を輸入し、それを水に換算するとだいたい 400 億 km³ ぐらいになる。品目別に見ますと、とうもろこしはだいたい輸入量の 7 割ぐらいは飼料になりますし、大豆も絞ったあとの絞り粕は牛の飼料になります。つまり、virtual water というのは牛肉として輸入するか、輸入してから牛に食べさせて牛肉とするか、の違いです。まさに、飽食の時代を象徴していますね。僕が小さいとき、すき焼きは食べられませんでしたからね。

日本の仮想投入水総輸入量

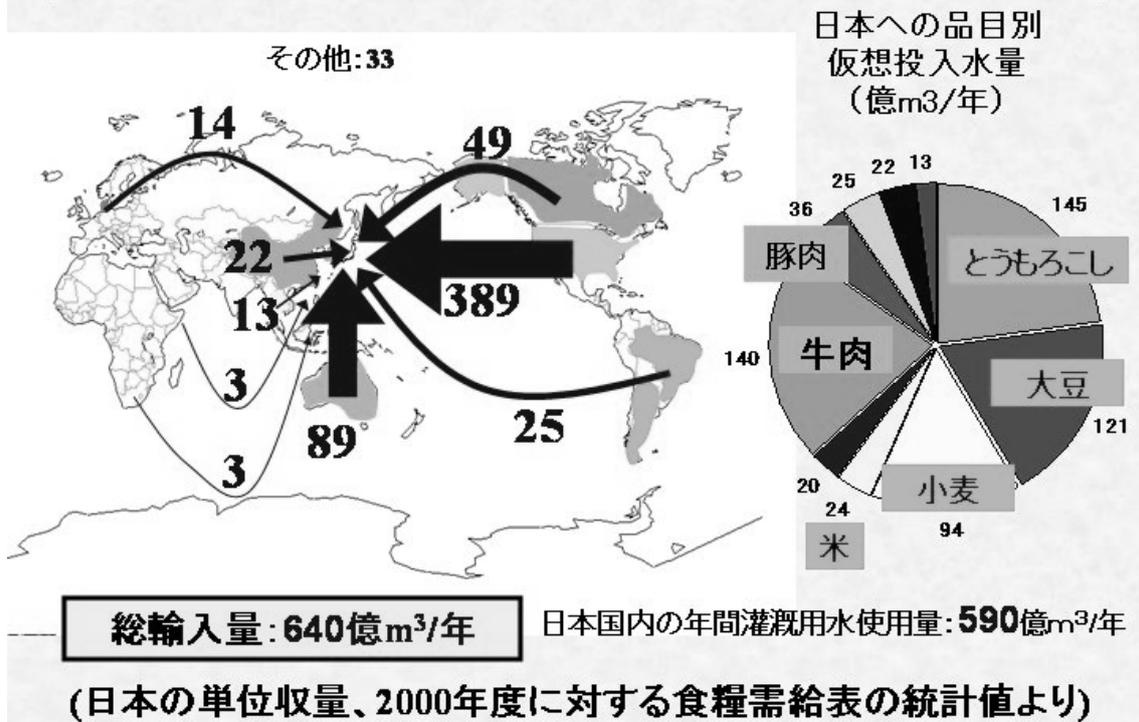


図 1、日本の仮想投入水総輸入量

3.4. グローバルな水需給の将来推計

年代的な違いをやるにあたって、もう一度 real water と virtual water の区別をしておきたいと思います。1t の大豆を作るのに、日本だと 2500t ぐらいの水が必要になります。それに対して、アメリカは集約的な農業をしているので 1700t でできる。ということは、日本では 2500t 節約された。アメリカでは 1700t しか使っていない。グローバルで観ると、800t くらい節約されている。これは経済で言うところの比較優位の法則が現れている。主要穀物に関して、輸入国で作ったらどのぐらいの水が必要だったか、というのを考えて、矢印で結ぶと図のようになります。こうして見ていただきますと、中東の辺りは一人当たりの水資源が少ないんですね。そういうところが結局、飲む水の 100 倍くらい生活用水を使う。さらにその 10 倍くらい農業生産に必要なんですね。逆にいうと、農業生産を止めたら、ひとりが食べるものの水で、1000 人分の飲み水になるわけです。というわけで、自国での食糧生産をあきらめて石油を売って食糧を買っている、あたかも、「oil を売って water を買っている」、というようなことから、中近東の解析によって virtual water という概念が生まれたわけです。図を見てみると、お金があるところに食糧、そして水資源が集まっていることが分かります。

2000 年における virtual water の収支なんですけれど、青い方が輸出国、赤い方が輸入

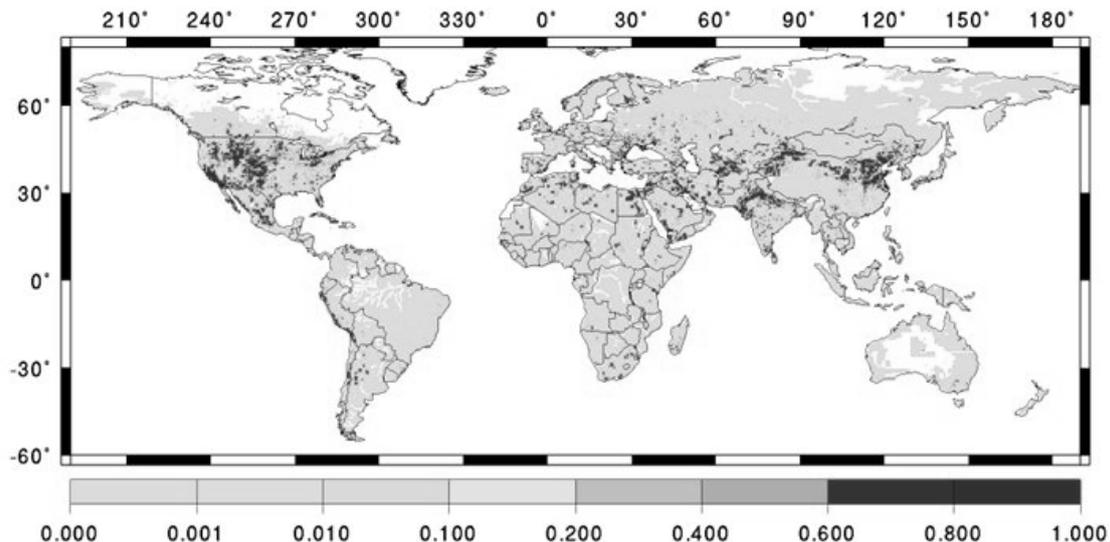
国です。日本は当然赤なんですけど、中東から北アフリカにかけて輸入超過になっている。それに対して、フランスとか、アメリカ、カナダ、アルゼンチン、オーストラリアといった農業国はものすごく輸出国だと分かります。ただし、デンマークは水資源は豊かじゃないけれども食糧を輸出している。自国の資源は少ないのに、水資源をたくさん使った産品を輸出してしまっている、というのは将来的に問題になる可能性はあります。従来型の水資源アセスメントというのはどうかというと、一人当たりの水資源賦存量という考えかたがあります。そうしますと、一人あたり年間どのくらいの水が使えるか。さっき言った、降った雨から蒸発を差引いた分に、国土面積をかけて人口で割るわけです。それが一人あたり 1000t より少なければ高ストレスと分類されます。1000~2000t は中ストレス、2000~5000t は低ストレスと分けて、日本は最後のカテゴリーに入るんですが、それぞれに分類されています。従来型の水資源アセスメントでやっていくと、高ストレスの国の数が 10 カ国ぐらいであったのが、2000 年には 20 カ国に増えている。これは水の供給量の方は自然の水循環ですから大きくは変化していない。それに対して人口が増えると、一人当たりの水資源が減るので、国の数は減ってるわけです。ところがこれが実際の水が足りないんだということを反映してるのか？というと、豊かな国というのは、実際は水が足りなくても、食糧を輸入することで自国の水資源を使わずにすんでいる。ということは、同じ指標では考えられないので、**virtual water** を足して見ましょう。**virtual water** を考慮すると、高ストレスの国が激減することがわかる。つまり、国連レベルの水資源アセスメントで渇水レベルが高いというのが従来型でやってきたのですが、実際に困窮してるのかを反映してなくて、**virtual water** を組み入れると、かなりの国は実は水資源には困っていない。これをもう少し分類してみます。そうすると 2000 年に 23 カ国は一人あたり一年間に 1000t 以下の水資源しか使えない。その中で一人当たりの GDP が 20000\$ 以上、5000~20000、1000~5000、1000 以下という風に GDP で分けてみます。**virtual water** を足してみると何色になるか。元はどの国も赤だったわけです。豊かな国というのは、赤が減ったり、黄緑色になったりで、**virtual water** 貿易で解消している。それに対して、貧しい国には水が足りないうままである、ということが分かります。結局、グローバルな **virtual water** の収支はバランスしません。なぜならば、輸出国における実際に使われた量と輸入国で使う量は違う。**virtual water** の小さい国から **virtual water** をたくさん使う国に、交易が行われているので、水に関する比較優位が成り立っている。輸出国からの総 **real water**、実際に生産国でどのくらいの水資源が使われたと考えられるか、というのを推定しますと年間 680km³ という値になります。それに対して輸入国がもし作っていたら、というのが 1330km³ になりますので、一見見かけ上は 450km³ が貿易によって増加しているように見えますが、必ずしも水のことしか見てませんので、環境負荷とか、地域のコミュニティ・生産システムとか考慮してないので、これだけで食糧交易を考えるのは間違ってるんですけども、水の量だけで、交易することによって水資源は節約できる。

水ストレス指標(年利用量/潜在的年利用可能量)

$$R_{ws} = (W-S)/Q$$

Alpha=1.0

1995



3.5. virtual water の長所

virtual water の長所としては、現実的な水資源アセスメントができる。つまり、見かけ上、水が足りているか足りていないかではなくて、輸出入でどうか。FAO が virtual water の研究を進めているんですけど、将来人口が 60 億から 90 億に増える。そのときにどういう食生活をしていると、どのくらいの水と土地が必要か、ということ推計しなければならないので、virtual water を知っておく必要がある。あとは、たとえば毎日食べているものを平均的に作るのに一日 1000~1500 リットルぐらいの水が使われている。牛丼一杯推定すると 2000 リットルに相当します。世界の水危機と言われたときに、飲み水が足りないというかもしれないけど、それは日本のように水にアクセス出来る国の贅沢な悩みであって、世界的には、水が足りなくなるとどうなるかという、飲み水は何とか確保できる。食糧を増産するための水が足りない。つまり、「水危機というのは、のどが乾くのではなく、おなかが減るのだ」ということなんですね。

3.6. virtual water の短所

それに対して、virtual water の短所ですが、水の量しか考えていないので、地域の生産コミュニティとか他の生産手段の制限要因、つまり食糧を輸入しても、水資源を節約しな

いで、ほかの事に使うでもなく、海に単に垂れ流しているのであったら、あんまり **virtual water** を考えても仕方ない。

3.7. まとめ

まとめますと、日本が一人あたり年間に使っている水量は飲む水約 1t、家庭用水 130t、工業用水 110t、農業用水 500t。それに対して海外でも農業用水を 500t ぐらい使っていますので、合計 1250t の 1/3 から 2/5 ぐらいを日本人は海外からの輸入に頼っている。したがって、日本の水資源を考えるということは、世界の水問題にも目を向ける必要がある。

(科学技術振興事業団のビデオを放映)

4. おわりに ー科学技術が世界の水問題の解決に貢献できるのかー

世界の水危機に対して、水資源工学とか、われわれがどういうアプローチをしているかということですけど、信頼の置ける水循環情報を提供していくことであって、現在の地球モニタリング情報がどうだったか、集中豪雨の予想とか、エルニーニョとかラニーニャとか気候変動を予想する。この辺は純粋に自然科学の問題で、今ビデオで見ていただいた、実際に現場に行ってやるようなことはこの辺のことをやるわけですね。それに対して、どれだけ水が人間にとって現在利用可能で、将来はどうかということになると、人間の利用の仕方とか、社会投資とかを考えなければならない。で、さらにこの辺までは研究者の役割で、将来のビジョンに立ってどのような設備を取ればいいのかという選択肢を提示するところまではわれわれの役割だろう。それに対して最後に決めるのは政治家であったり、政治家を選ぶ市民であったりする。最後は市民がやるべきである。今日の話は仮想的な水の観測の実態把握と水資源アセスメントみたいなことをやりました。

さらに、この前エビアンで G8 サミットがありましたけど、最初のところで国連ミレニアム宣言で、安全な水にアクセス出来ない人、トイレのない人の人口を半減しようという目標だけが出てますね。でも本当は水っていうと、渇水とか、洪水とかの問題があるわけです。それがなぜ国連の宣言に出てこないのか、というと、今どのくらい水で困っている人がいるか、もしくは、洪水のリスクがある、渇水のリスクがあるところに住んでいる人がどのくらいいて、どのくらい危険かということすら分かっていないので、目標に出来ないんですね。なので、こういうことが出来るようにために、もっとモニタリング、観測をしたり、アセスメントをしたりすることが必要である。

水文学のイントロダクションとしては、水を利用するのは水で洗うためである。だからきれいにすればまた使える。また水は安い。必要なとき、必要な場所、必要な水質の水しか価値がない。日本は大量の農業・畜産製品の形で **virtual water** を輸入している。水危機というのは、のどが渇いたということではなく、空腹をもたらすんだ。また人口が増えれば一人当たりの利用可能な水が減るので、安い水が減ります。水が足りないということは、物質的としての水が足りないのではなく、安い水が足りないんだということですね。グロ

ーバルな **virtual water** の流れにあるとおり、お金のあるところに流れてますよね。ということは、お金があれば買える。いざとなれば海水の淡水化でも作れます。ということで、水需要のほうを何とかするとか、節約農業・社会基盤整備の技術革新をする。水に関する国際会議に行くとよく言われるのは、『水は低きに流れる』というけれど、水も **virtual water** も低きではなくてお金のあるほうに流れる」。結局、水が足りないで困っているコミュニティがあるとすれば、物質としての水がないのではなくて、安い水がない。とすると、多少高い水でも買えるように地域のコミュニティの経済力・購買力を向上させることが必要である。また、サイエンス側から見ると水文循環の全体を考える必要があるので、観測・モデルとして、総合管理をして一総合的な管理をするのはあくまでも地域の住民と管理者なわけですけどーそれを支援するためのシステムを形成する必要があるんじゃないか、というふうに考えます。

環境の世紀ゼミより～グループディスカッション

3つのグループでそれぞれ違うテーマについて話し合い、その後議論の結果を共有してお互い意見を述べ合う、という形をとった。

グループ1

テーマ：世界の水問題に対して日本ができることは何か、またどうしてそうしなければならないのか

学生の意見

- 日本ができることとして、技術提供と貧困問題の解決の2つがある。
- 技術提供としてはインフラ整備や農業技術の提供があがったが、現地の人が使いこなせないとか金銭的に維持しにくいとかいうことがあるので、事後保証を確立すればいいのではないか。
- 事後保証として、1つには経済援助があるが一番大事なのは現地の人に教育して技術を使いこなせるようにすることだ。
- 貧困問題の解決の方では、日本だけの努力では無理なことだが、水の値段を所得に見合ったものになるよう調停して貧しい国の人が水を得られるようにしたい。
- 水からは少し離れるが、貧困問題を解決するには日本が農作物などを輸入すればいいのではないか。
- 日本が援助する理由の1つには日本の面子、というか誇りを持ちたいということ、2つ目は困っている人を助けたい、援助しないではいられない、という倫理観である。誰かの役に立ちたいという感情的な理由からも日本は援助しているのだろう。

先生：インフラ整備すると環境に負荷がかかることが多いのですが、その点についてどう思いますか。

学生：良いです。なぜなら環境問題とは人が幸福である環境を作るべきであって、確かに無駄なインフラ整備もありますが、飲み水のないところに安全な飲み水を提供できるというのは、それによるメリットの方がそれを作ったことによる環境負荷より大きいと思うから。

先生：日本がなぜ貧しい国を援助するのか、ということについて皆さんはこの倫理観という理由で納得できますか？現在、日本の失業率は非常に高くなっていますが何十億円も使ってODAで無償協力している。「そんなことするくらいだったら100万円でも200万円でも自分たちにくれ。」と言う人がいたとき、「いや、あなたが失業して苦しんでいても、私たちは日本としては、困っている世界の人たちを救わなきゃいけないんだ。」とどうやって説得できますか？「皆さんが小遣いから1万円ずつ出さない、

それでアフリカに援助をします。」と言われたらはい、って出しますか？僕はちょっと抵抗がある。

学生：僕も小遣いを出すのはいやですけど、倫理観からというのには反対ではないです。倫理観から、というのは正しいと思います。なぜかという、日本人が倫理観から他の国を救うような国です、っていう意味で別にイメージを売るつもりではないけれど、日本はそういう信頼できる国だ、と他の国が思って、それで他の国と協力していける体制を作れるなら、日本は食料自給率も低いし他の国にも頼らないと生きていけない国だから、今日本に借金がいっぱいあるとしても、ODA を何千億円か払っておいてそれによって他の国との信頼関係を築けるとすれば、何千億円というのは高くないと思う。

学生：今の意見を発展させただけですが、たとえば ODA を減らしてしまつて他の先進国、アメリカやヨーロッパから批判が来て、もしそれらの国と仲が悪くなつたら、特に今アメリカとの仲が悪くなつたら日本にはいろいろ問題があるから、そういうところとうまくやるための何というか交際費みたいなものがある。

先生：それはショバ代みたいなものだ。それでいいのか。でも経済界に対する説明としてはそれでいいかもしれない。「アメリカが怒りますからやっぱり払います。」と言うと、なるほどと言う人は多いだろう。

司会：皆さん、今までので納得いきますか？

学生：私は今の話を聞いていて、それって倫理観なのかなと思います。水問題に対して日本がなぜできることをしなければならぬのかということについて、世界の水問題というのは日本だつてももちろん関わることだから、ではないでしょうか。倫理観というより、世界の水問題といつたとき日本にも直接、将来的に関わってくる問題に発展し得るからではないか、と思っています。

先生：具体的にはどういう風な関わり方が？

学生：今は日本は不自由なく水を使っていると思うんですけど、たとえば水が絶対量として世界的に不足したとき、「お金のあるところに水は流れる」から日本の中でも差は出てくると思います。

先生：でも足りなくなつても、日本が車とか機械とかを売つて外貨を稼いでいる限りはお金に飽かせて札束で頬つぺたを叩くじゃありませんが「売れ！」と言って買つてくりゃいいでしょう。だからあそこで言っている根本的な問題は、世界レベルの環境問題を考えたときにどうして国レベルの福祉、国際レベルで言うと世界市民としての環境倫理、そういうことまで考えなきゃいけないのか、ということだと僕は思います。僕もまだ迷っているので皆さんに聞いたということもあるんですが、ヨーロッパの研究者に温暖化とか水問題とかを聞くと「アフリカで水や食糧が足りなくなつて難民が増えると彼らは皆ヨーロッパに来る。そうなる俺たちの社会はめちゃくちゃになるから、そうならないために、アフリカの人たちがアフリカにいられるようにきちんと交

渉するんだ。」と言うわけです。それを日本にあてはめて言うと、中国や北朝鮮からどんどん日本に来るようなことになると日本の社会が変わってしまうので、そうならないように、難民が来ないようにそれらの国に対してきちんと「こうしましょう。」と言うこともなくはない。だけど日本はアフリカにも支援している。

学生：まだ自分で納得はしていないんですけど、倫理観から、ということをするような人がアフリカを支援しようとしてるわけじゃないですか。失業して職がないような人もたくさんいるのに、そういう人たちが自分たちの税金からアフリカに支援するっていうのはきっと納得行っていないと思うんです。だから倫理観から、って答えられる人たちがそれこそ倫理観で他の国を支援してると思います。倫理観から、って答えない人たちは支援したいと思ってないという状況ではないでしょうか。日本の中でもホームレスとか貧しい人とかたくさんいてそういう人たちが文句を言いながらも、国としては倫理観から他の国を支援するというのはそれなりに認められることだと僕は思っていますけれども、僕も今まで相当に苦労したことがないから、困っている人がいると聞いたら助けたいと思ってしまう。もっと身近に助けなきゃいけない人がいるかもしれないのにそう思ってしまう。そういう人たちがいっぱいいるというのが実際のところだと思うので、やっぱり倫理観から他の国を支援するという答えはなるほどな、と思います。

グループ 2

テーマ：世界の水問題に対して、貧しい国の経済発展促進以外で先進国の科学や技術が貢献できるのはどんなことか

学生の意見

- 議題について何を考えていいのか、というところで先生のアドバイスをいただいて経済支援だけでなくお金以外の分野からどうにかできないか、とか学問を客観的にやるだけで満足するのか、そうじゃなくて現実の問題として解決するとしたらそのためには何が必要か、ということについて考えてみようという話になった。また水問題を広げて環境問題に対してそれぞれがどんなアプローチをしていこうと考えているか、意見を聞き合った。
- 水問題を考えるときに、それは科学ではなくてむしろ社会的問題だと捉えられる傾向が最近はある。では今、科学は必要ないのか。
- 継続的な研究、分析や観測のために科学はやはり必要だ。
- 一般の人たちにわかる言葉で研究の状況を伝えることが欠けている。そのためには文理融合的な要素が必要だ。
- 環境問題には政治や経済が複雑に絡み合っているから、文系的にアプローチしようと

考えたが、意思決定のためにはやはり理系的なデータも必要だ。

- 「貧しい国」の水問題と考えたとき、そこにお金があれば解決できるという簡単な問題ではなくて何が必要かと考えていくと絶対技術も必要になってくる。
- 科学は状況把握のための大切な要素であって、社会に問題があるのならば政治などの社会的なアプローチが必要だし、技術に問題があるのならば科学からのアプローチが必要だ。現状を調べどこに問題があるかを突き止めてアプローチしていくことが大事だ。
- 工学部へ行ってすごい技術を作りたい。状況把握にプラスして良い技術があれば意思決定の際の選択肢が増えるので、技術は大切だ。
- 経済的にアプローチしていきたい。その国の状況を考慮して採算のとれる方向でアプローチしていくことが必要なのではないか。
- 水問題といった時に「砂漠」のイメージがあった。砂漠というのは水が不足している。それは人為的な問題は少なく科学的なアプローチが必要だと考えていた。
- 工学部に行って環境問題に取り組もうと考えているが、人々の生活を良い方向に変えるべきものと環境問題を捉えたとすれば、人々を取り巻く製品を作っている生産者の立場からより良いものを提供していかなければならないと考えている。
- 解決のためには文系的な力が大きいですが、意思決定の際の選択肢とかデータとかそういうことにおいて理系にしかできないものがある。
- 今はまだ何をやっていくかがわからないが、はっきりすればもっと自主的にアプローチできるのではないか。
- 技術や開発は相当な力がある。技術とか開発されたものは、いったん社会に出るとそれを利用せざるを得ない状況になって、社会的な要素も絡むけれどもやはり技術などは何億人もの人びとを変える力を持っている。
- お金というのはやっぱり重要な問題で、何かをしようとしてもお金がなければできない。お金の力はある程度必要なのか。
- これは貧しい国の人たちに対して先進国の立場から何ができるか、と考えたが現地の人たちの文化や生活を考慮することも必要だ。
- 時間が足りず議論はまとまらなかったが、いろんな意見が出ていろんな人がいろんな方向からアプローチしていこうとしていることがわかったので、それだけでもよかった。

グループ 3

テーマ：水は生命の維持に不可欠なので、水に値段をつけるべきではない、水へのアクセスは基本的人権である、といった意見についてどう思うか

学生の意見

- 最初、水をただにすることはできない、という意見が多数を占めた。
- 一定量だけだに、その後は有料にするという意見については「一定量」が国や地域ごとに違ってしまうという問題点があがった。世界に一つ水のタンクがあってそこから全員が水を得るわけではなく、水はあるところにはあってないところにはない。
- 一定量をただにするという発想は、水がある程度余っている地域でしか考えられないことなので地域を日本に限定して議論を進めた。
- 一定量ただにした後の水の値段を非常に高く設定すれば、皆贅沢せず必要な分しか使わなくなって水資源の節約になるのでいいのではないか。人びとの水に対する意識を変えることができると考えた。
- 一人暮らしの人に「一定量水がただになるとどうか。」と聞いてみたがそれほどうれしくはない、ということだった。日本では水をただにしたところであまり意識は変わらないのではないか。
- 議論の際に基本的人権について触れられることが少なく、水と基本的人権はあまり関係ないのではないかという結論に至った。
- 今の日本ではあまり高くはないが今まで言っていた最初の一定量に当たる分までお金を取られている。僕の意見としては、必要最低限の分もお金を取られているということは基本的人権としてはどうなのかと思うが、皆の結論は基本的人権と水は関係ないということだった。

学生による補足

- 基本的人権と水は関係がないと言っていたわけではなく、水へのアクセスを得られるということは権利として認められると思うが、かと言ってただにするのは話が飛躍しているのではないか、ということだった。
- 代替案として一定量をただにするということで話を進めたが、日本のケースだとあまり意味がないのでは、という結論に達した。
- 発展途上国の場合なども話し合いたかったが、自分たちにあまりに知識がなく、どういう状況で水を手に入れているのかもその国によりけりだろうと思ってあまり話をすることができなかつたので日本のケースに絞った。

先生のコメント

プレゼン能力は大事です。自分が考えていることを相手にわかってもらうための能力というの一番大事です。

先生による総括

自分が若干迷っていることもある、水問題について国際的に話し合われていることを 3 つほど挙げさせてもらいました。1 番目のテーマのなぜ日本が水問題についてできることをしなければならないのか、ということについて、倫理観からということで皆さんが納得するのであればそれで何も問題はない。最後の方に出たのは非常にバランスの取れた意見ですね。反対する人も賛成する人もいるけれども皆が一応納得できる範囲のところやってるんじゃないか、というのは確かにそうなのでしょう。ただホームレスはどうかって言うと、日本のホームレスは水へのアクセスがありますよね。話が脱線しますが、ホームレスにも強い弱いがあって公園にいるホームレスは立場が強いんです。つまり水場があって公衆トイレがあって、水へのアクセスがある。街が近いのでコンビニのお弁当もとれる。それに比べて川にいるホームレスっていうのは水へのアクセスは弱い。負けてあそこにいるんです。ホームレスの間でも落差があって、アクセスが非常に悪い人がいる。けれども日本のホームレスは何らかの形で水へのアクセスを得られますよね。それに比べると外国は違う。

2 つ目については、なるほどその辺かなと思いました 1 つ言うとしたら、理系文系という分け方が人で分れているのではなく、ある人が時には文系だったり時には理系だったりするというのが今後たぶんありうるので、そういうつもりだと環境問題は取り組みやすいのではないかと思います。

3 つ目については、基本的人権の中で生存権というのがあって、水は飲まないと死にますよね。するとその分というのは基本的人権に入ってもいいかもしれないと思いますが、議論されると良かったのは、じゃあ人間にとって何が国に保障されるべきものであるかということです。たとえば寝るところとか食べ物とか飲み物とか。水はその中の 1 つで、もしかすると生産財としての土地も基本的人権に必要なかもしれない。そういう資源というか goods との関係の中で議論をしていけば議論を盛り上げるには良かったんじゃないかな、と思います。

皆さんが議論されたことについては割とまっとうな意見で、ちょっとびっくりしたのはもっと環境保護にヒステリックな人が 1 人くらいいてもいいかなと思ったんですけども、世界の大勢派に近い意見をお持ちの方が多いように感じました。

司会：他にまだ何か言っておきたいことのある方、いらっしゃいますか？

学生：グループ 1 なんですけど、「倫理観から」日本が他の国を援助するというのには国にとってメリットがあると思うんです。それは助け合いのデモンストレーションということです。そういうことが自発的に行われるようになれば、社会システムにある程度不備があっても社会がうまく働いていく、そういう話です。

環境と経済

東京大学大学院経済学研究科 石見 徹

環境の世紀X 第7回講義 (2003年6月6日)

1. 途上国における環境と経済

今日は、経済一般の話ではなく、最近私が興味を持っている「経済開発と環境」相互の関係について話そうと思います。例として取り上げるのは「発展途上国」です。発展途上国は現在でも経済開発を目標としている国ですが、ここでは例として東アジア諸国を取り上げる。近くは中国や東南アジア、広い意味では韓国、台湾も入るのですが、そして日本も一つの例として考えていきます。

環境問題というのは、先進国だけではなく、途上国にもあり、途上国にある環境問題というのが今ではある意味注目されているのですが、途上国の環境問題としては、大きく二つの種類があります。一つはまだ十分に経済開発の軌道に乗っていないために発生する問題、つまりまだ離陸以前の状態であるために発生する問題と、もう一つは経済開発の軌道には乗っているのですが、それがあまりにも短期間に起こっているため発生する問題という二つがあります。前者は貧困と環境の悪循環と言えます。後者は圧縮された経済発展に伴う問題と言えます。例えば、日本の経済発展も短期間だったのですが、西ヨーロッパでは100年かけたことを、50年や20年というような短期間で行ったために発生する問題であると言えます。

2. 貧困と環境

後者の問題が今日の話の中心なのですが、その前に貧困と環境悪化の悪循環ということについて話します。これは途上国の中でもとりわけ所得水準の低い開発の遅れている国に起こる問題ですね。非常に単純化したパターンですが、サハラ砂漠以南のアフリカであるとか、南アジアのインド、バングラデッシュ、スリランカでは1日の所得が1ドル以下で、世界で最も所得水準が低いのです。貧困が一番の問題なのですが、それと人口増加とが関係している。人口増加と貧困がお互いに原因であり、結果になっているのですが、人口が増え耕作地を拡大しなくてはいけないので、無理に森林や、急傾斜の土地を切り開いたりする。そのため森林面積の減少や洪水が発生したりと、耕地のためにしたことが環境破壊へとつながっていきます。耕地が土砂で流されてしまうと食糧の増産はできないわけで、環境破壊が起こると貧困の解消にはならない。また人口増加で環境問題がおきるという悪循環が生じる。最貧困地域で起こっているのがこのような問題です。

3. 「圧縮された経済発展」と環境問題

3.1. 急速な工業化

今日、主に話したいのは、圧縮された経済発展を経験している国で起こっている問題です。圧縮された経済発展というのは急速な工業化によって生じます。工業化すると産業廃棄物の増加や大気汚染、水質汚染などを伴っているわけです。工業化とイコールではないのですが、急速に経済発展がすすみ社会が変わると、都市への人口集中が起きます。そう

すると都市においてごみが増えたり、大気・水質が悪化したりという問題が発生します。横軸は東南アジアにおけるGDPのなかで製造業が占める割合です（Power Pointの図）。製造業の割合が高いほど工業化が進んでいるのです。そして縦軸は輸出製品の中で工業製品が占める割合です。東アジアの工業化というのは輸出に主導された形態をとっているのです。フィリピンは変わっていて、70年の方が90年よりも輸出に占める工業の割合が減っているのですが、中国も同じようになっている。しかし中国は統計のとり方に疑問があるので、基本的には東南アジアと同じパターンです。30年ほど前の日本も大体同じようなことが起きていた。最近の日本や台湾や韓国は、輸出の中に占める工業の割合はほとんど変わらず、GDPの中に占めるサービス業を増やして「脱工業化」が進んでいる。この図で言いたかったことは、非常に短期間で工業化が進んでいるということです。それが産業廃棄物や二酸化硫黄や窒素酸化物、二酸化炭素を発生させるわけです。

3.2. 都市化による人口集中

それから都市化についてですが、都市は農村よりも所得水準が高いので、それを求めて人がやってくるわけです。都市人口の増加率でみると、アジア地域の都市への人口集中は他の中南米やアフリカと比べるとそれほどでもない。しかし、東南アジアはアフリカや中南米の都市よりも所得水準が高く、そのようなところに人口集中がおこると、例えば自動車の保有台数が急激に増える。このため大気汚染や交通渋滞などが起きるのです。

3.3. 途上国における貿易自由化と環境

東アジアにおける工業発展は輸出主導型ですすんできた。つまり輸出市場向けの工業製品を作っていくわけですが、それは対外開放政策との一体化、つまり外国の資本に対して門戸を開き、国内の市場を開くことで進められるのです。例えば、日本の企業が中国に工場を作り、工業製品を輸出するという形をとっている。中には日本に戻ってくるものもあり、逆輸入といわれる。自由化政策によって経済発展が図られてきたことを考えると、自由化の是非が重要になってくる。途上国の環境問題を自由化と合わせて考えると、例えば数年前のシアトルでのWTO総会や最近のサミットでNGOの反対運動が見られますが、NGOは自由化が環境問題を引き起こすと主張しているのです。グローバル化や自由化が所得の格差を生み出しているという指摘もあるのですが、今日は、自由化が環境保護の点から見るとどうなるのかについて考えて行きたい。つまり東アジアでは自由化を中心に工業化と経済発展が進んできたわけですが、その中に環境破壊と密接に関係するところがある。そして、さっきは言わなかったのですが、工業製品の輸出だけでなく農水産物の輸出ということもある。ボルネオで熱帯雨林が縮小する原因としては、木材としての輸出や、プランテーションの拡大のために森を切り開くことがあげられる。また「エビと日本人」という本があるのですが、これは日本人がエビを大量に食べるので、東南アジアでエビ養殖のためにマングローブを破壊するという話です。つまり工業製品の輸出が増えることだ

けではなく、一次産品の輸出が増えることも環境破壊につながるのです。これも貿易自由化の結果であると言えます。

3.4. 経済学で考えてみると

しかしこれは経済学の理論からしてみれば当たり前のことなのです。詳しいことは国際経済学の教科書や経済学部に進学して講義を受ければ出てくるのですが、「比較優位の原理」というのがあり、貿易はなぜ起こるのかを説明しています。簡単に言いますと、自国が比較優位を持っている産業の製品を輸出し、持っていない製品を輸入するということによって相互に利益が及ぶという考え方です。一方で資本がたくさんあり、他方で労働力がたくさんあるという場合を考えると、資本をたくさん持っている国は資本の使用量にあたる利子とか使用料は相対的に低いわけですが、他方で労働賃金に当たる部分は相対的に高いことになる。先進国と途上国を考えると、先進国は比較的資本が多いので資本も安く手に入り、資本を多く使う産業に集中する。途上国は労働が相対的に多いから労賃が低くて、労働力を多く使う産業に特化していくことになる。比較優位をもつ製品を輸出しあうことで、相互に利益を生むと言うことです。ちなみに、相対的に安いということは必ずしも絶対的に安いということではないというのが経済学の理論なのですが、今日のところはあまり深入りしなくてよろしい。ここでは相対的に安く手に入るものを多く使って、製品を作り輸出するというのが比較優位の原理の考えだと理解して下さい。

そうしますと、途上国と先進国を比べますと、途上国のほうには自然的資源が多いわけですが、労賃も比較的安いということもある。先進諸国は資本や技術がたくさんあるので、そのようなものを多く使う製品を相対的に安く供給できるというわけですね。だからそれぞれの国が自分の国に多くあって安く調達できるものを使って貿易することは、当然相互の利益になるわけですよ、基本的な考えでは。理屈の上でそうなるわけです。そうしますと発展途上国において自然資源を多く使ったものを輸出することは経済原理から言うと当然の行動なわけです。それが、さきほど言ったように熱帯雨林やマングローブの減少という問題を生み出している。何がおかしいのだろうか。

みなさんご存知のように、需要曲線というのは右下がりであって、供給曲線は右上がりになる。でこの交点で量と価格が決まるというのが経済学の基本中の基本ですね。さらに言うと、この供給曲線はあるものを作るのに要する限界費用に相当する。あるものを一つ追加的に供給するときどれだけ費用がかかるかを反映しているわけです。この費用というのは、例えば先ほどの例で言いますと、木材を切り出し、港まで運んで売るまでの費用全部を合わせて出てくるのです。なぜこんなことを持ち出したかという、この費用は個別業者にとっての私的な費用であって、木を切り出して生じるマイナスの価値は反映していないのです。熱帯雨林の木がなくなることは、例えば、光合成作用によるCO₂の吸収や生物多様性などの価値が減少する。それから森林の存在それ自体に価値があるということもできるだろう。こうした価値の減少は個々の業者の費用計算に入らないのです。もし

正しくそれが計算できたとすると、社会全体としての費用がもっと増えるわけです。

そうすると、社会的費用を価格に正しく反映すれば、今まではここまで切っていたのに、ここまでしか切れなくなってしまうということが起こります。価格を上乗せすることによって木を切りすぎることを防ぐことができる。これが経済学の標準的な理論から導かれる一つの対策なわけです。ところが、それは理屈の上であって、もう一つの問題は、社会的にはどれぐらいのコストであるかは正確に客観的には決められないことです。個別の企業にとっての費用は計算でき、客観的に決められるのですが、社会的費用としていくらになるかは客観的には決められないわけです。光合成によって地球温暖化を防いでいることや、生物多様性の保存、さらには熱帯雨林が存在すること自体にある価値がいくらに相当するかは、理屈の上ではともかく実際には決められない。市場メカニズムの自然な動きに委ねてはうまくいかない問題ということが言えるのです。

ちょっと理屈っぽい話になったのですが、最初の話に戻すと、貿易をすることはお互いに有利になる。途上国には自然資源がたくさんあるから、それを使って輸出することが利益になるし、それを輸入する国にとっても利益になると言うんだけど、その費用というのは私的費用でしか見ることができないわけですね。木を切り出すことはその国にとっても地球にとってもコストがかかるわけなのですが、その費用が計算できないんです。計算できないからこそ低く価格が決まり、より多く切り出されてしまうわけです。それは、自然環境に与えるマイナスの作用となるわけです。けれどもその裏側では、木を切り出して売ることによって雇用は生まれるし、国民所得も増えるわけです。環境へのマイナスの影響面だけを取り出すと、自由化することは良くないことであると言える。良くないことですが、その国にとっては輸出が増えGDPも伸びるというプラスがあるわけです。こうやって増えた国民所得のプラスと、熱帯雨林が減ったことによるマイナスを比較することはできない。できないというのは、実際の計算上できないということです。木材の輸出や工業化を進めていくことは、裏で環境に対するマイナスの影響が出てくることを常に考えなくてはならないわけです。

3.5. 保護貿易は環境にプラスか

しかし、自由化しないでおいた方が環境にとって本当にいいのか、という疑問もあります。その答えはですね、保護主義が必ずしも環境にとってプラスになるわけではないということです。それはどうしてかというと、保護主義というのを二つに分けて考えたいのです。つまり途上国における保護主義と先進諸国における保護主義です。まず先進国における保護主義は、途上国における環境にはマイナスになることがある。先進国の保護主義では、途上国との間でよく問題になる多国間繊維協定というのがあります。これがどのような問題を持っているかというと、繊維産業は安い賃金労働を多く使う労働集約的な産業である。ところがその輸出を先進国の保護主義によって阻まれると、途上国はこれを別のもので補うということになる。労働以外の、途上国にたくさんある自然資源を使う産業で優位を保

とうとすることが裏側の行動として出てくるのです。つまり労働集約的な繊維産業の発展が阻害されると、逆に木材を切って輸出するとか、エビを養殖するとか、自然資源をたくさん使うことに傾きやすい。つまり先進国の保護主義が途上国の自然環境にマイナスになるということがあるのです。

それともう一つ、途上国の側が保護主義になり、輸出依存型の経済開発をしなければ環境は保護されるかということ、必ずしもそうではない。保護主義に傾くことは、それだけ外国から途上国に向かう様々な財や技術の輸出も制限することになる。それはどういう影響があるかということ、公害や環境対策の技術のように、通常は先進国において発達している技術の移転もブレーキがかかるというマイナスがある。あるいは、東欧の大気汚染でドイツの森が被害を受けると20年くらい前に問題になったのですが、その一つの原因は鉄鋼業や化学工業の工場から出る廃煙が窒素や硫黄の酸化物を非常に多く含んでいたことが挙げられます。旧東欧や中国などで、環境対策をほとんど考えずに効率の悪い工場がたくさんあって、自国のみならず近隣諸国にも悪影響を及ぼしていたのです。こういう企業は、国が社会主義という閉鎖的な政策をとっていなければ、競争に負けて存続できなくなる。そうすると結果的に公害を撒き散らすような企業は、自由化しなかったため存続していたといえる。旧ソ連や東欧において環境被害が非常に大きかったことが分かってきたのは比較的最近のことですが、もう一つの原因は政治的民主主義が浸透していなかったために、被害が出て抗議したり、やめさせたりする動きができなかったことにあるとも言えるかもしれない。それも広い意味での自由化が未熟であったというわけで、政治体制も含めた自由化が環境対策としてもプラスの面があるといえる。自由貿易、自由化政策と環境は両立するかどうかということは最近きわめてホットな話題であって、先ほど言いましたように、WTOなどの国際会議の開催をめぐる軋轢や、グローバル化をめぐる反対運動にも出ています。

3.6. 「緑の保護主義」

貿易と環境という話題と少し性格は違うのですが、「緑の保護主義」といわれることがあります。緑とは環境重視という意味ですが、例えば、アメリカはタイとかマレーシアから入ってくるエビの輸入を制限することがあったわけです。それは、タイとかマレーシアの近海にいる海ガメを保護をするために、エビの輸入を禁止するべきだという環境保護団体の声が強くなり、アメリカ政府はそれを受け入れたのです。似たような例として、メキシコからのマグロの輸入も禁止したことがある。マグロを捕るときにイルカを傷つけたり、殺したりしているというので、マグロの輸入禁止を自然保護団体が要求する。つまり生物を保護しようという運動が保護主義になる。しかし、途上国から言えばそれは口実であって、環境保護を旗印にして、途上国からの一次製品の輸入を制限することになる。途上国としては非常に困ったことなり、これはWTOの原則に反するといって提訴する動きも出ています。WTOは環境をめぐる問題をも扱うという役割はもっているのですが、このよ

うな問題についてどのように対処するか、明確なルールはまだ決まっていないのが現状です。

3.7. 公害輸出

自由貿易の原則と環境ということには、先ほどのような問題のほかにも、「公害輸出」または「環境ダンピング」という言葉があります。例えば東南アジアの環境規制が甘いからといって、日本の環境基準を満たそうとするとコストがかかってしまうような工場を移転させるといわれる。そのことによって結果的には公害を途上国に撒き散らしているという批判をこめて、「公害輸出」という言葉が生れた。環境ダンピングというのは、環境規制がゆるいとそれだけ安くものを作れ、ダンピングで輸出してくるということ。環境規制の強い先進国では途上国の製品に価格で負けてしまうので、途上国の輸出をなんとか食い止めようというわけです。NAFTAという北米自由貿易協定に対して、アメリカ側の反対意見の一つとしてあったのが、この環境ダンピング論です。メキシコはアメリカに比べて環境規制がゆるいので、それだけ安く生産できる。あるいはアメリカの企業はゆるい環境規制を求めて工場をメキシコに移し、そこからアメリカに輸出してくると、国内の雇用が奪われるので反対というわけです。両方とも環境規制の違いから工場が移転するということを前提にしている。しかし、環境基準の違いがどれだけ生産コストに出てくるかというと、せいぜい2～3%の違いで、わざわざこの数%の違いのために工場を移転することはないだろうと言える。むしろ工場が移転する場合の主な理由は、賃金の差である。最近「ユニクロ現象」と言われるように、中国に工場を建てそこで衣類を作るのは、労賃が安く生産コストが低くて済むからです。労賃水準の違いに比べて環境規制の違いがもたらす生産コストへの影響は非常に小さい。日本の東南アジアへの工業進出が80年代後半から盛んになった時も、その動機は円高対策であった。円が高くなってしまったのでアメリカへの輸出が阻害される。円高の影響を受けないところで作って、それをアメリカや東南アジアに輸出するという戦略から工場を移した。現在でも為替相場は非常に大きく変動するので、これに比べて環境規制から生じる差というのは微々たるものである。環境規制の差によって工場移転が起きているというのは理由としては弱いと言える。

とはいえ、工場が出て行く理由は別であっても、出て行った先で環境規制が弱いと、産業廃棄物を大量に発生させたり、大気汚染物質を排出することによって、現地の環境を悪化させていることは十分ありうる。これを公害輸出というならそれは成り立つ議論である。環境規制の理由で工場が出て行くことはあまりないのではないかとということです。

3.8. 後発の利益

最後に、東アジアで急速な工業化が進んで、環境に大きなダメージを与えたわけですが、じゃあ今の東アジアの環境悪化の度合はどの程度かということをお話しましょう。日本では大気汚染にしても水質汚濁にしても、70年代に非常に深刻な公害問題があったのですが、

その時点の日本と比べて、現在の東アジア諸国はどうかということです（グラフを参照）。

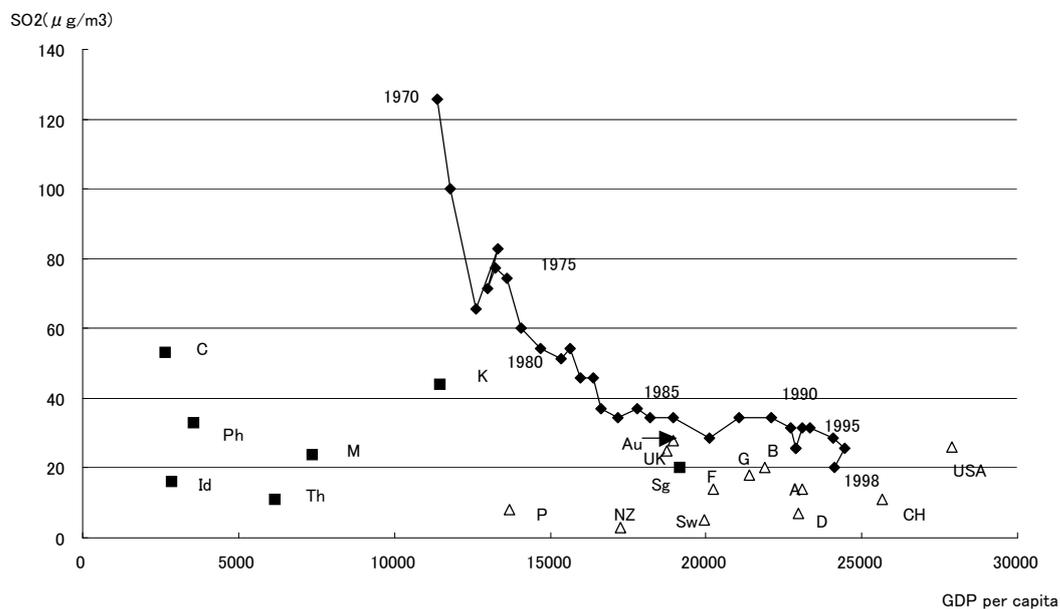
縦軸はSO₂の大気中濃度を表します。日本は東京、現在の東京国際フォーラム前で、その濃度は70年の水準に比べて85年までは急激に下がっている。70年よりも前はSO₂濃度がもっと高かった。横軸は一人当たりのGDPをあらわしている。横軸に沿って見ると、東アジアの諸国は同じSO₂濃度の時の日本と比べて、所得水準はかなり低くなっている。逆に言うと、東アジア諸国は急速な経済発展をしてきているが、同じ所得水準の過去の日本と比べると、環境負荷が小さいということになる。これが後発の利益というものです。NO₂のグラフでは、SO₂ほどはっきりとはしていませんが、東アジア諸国と日本の間にやはり同じような傾向が見られます。

TSPというのは、浮遊粒子状物質とも呼ばれ、自動車の排気ガスなどに含まれているものです。これだけが違って、日本に比べて中国、韓国の大都市はもっとひどい。大都市における粉塵の発生原因は自動車が最大です。東アジアの大都市で走っている自動車は日本のほど性能がよくないので、TSPの数値が大きくなるのです。

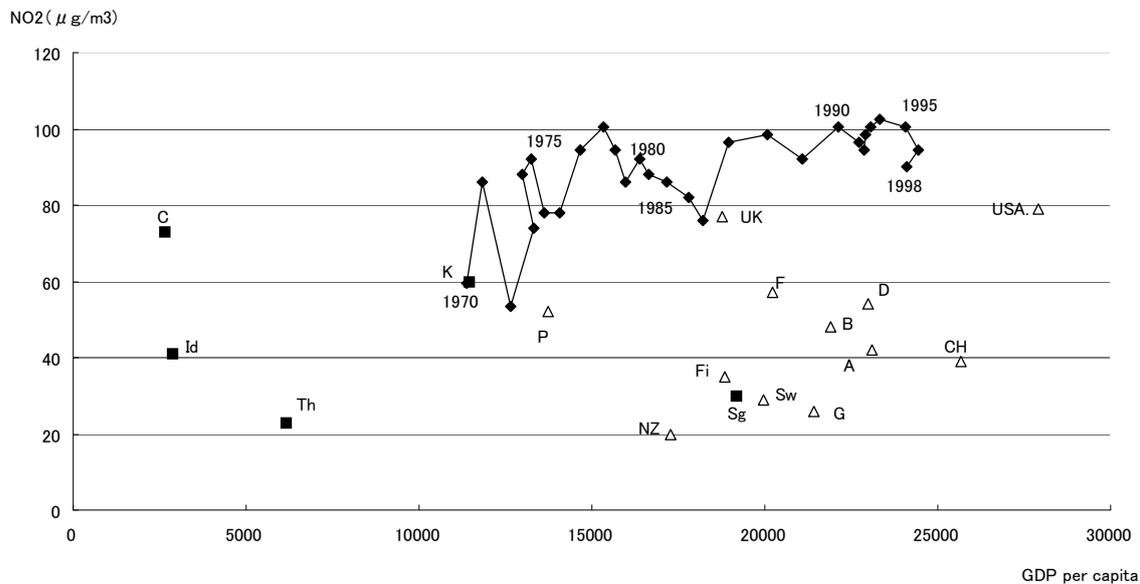
ところが、過去の日本と東アジアを比較して、東アジア諸国の方が大気汚染は少ないという、どうもぴんと来ないという異論が出てくる。例えば中国の重慶という都市のSO₂濃度はかつての四日市の何倍もあると知られている。これは、どことどこを比べるのかという問題で、日本の大都会、東京と比較するには、それに相当する大都市を取り出すということになったのです。

後発の利益はなぜ生じるかという、先進国の過去の経験を学んでいること、そして技術の移転です。先進諸国で開発された技術が入ってくることで、70年代の日本のものよりも効率がよくなる。経済援助に環境対策を含めることもあり、かつて日本が体験したようなことを経ずに、経済開発が進むのです。

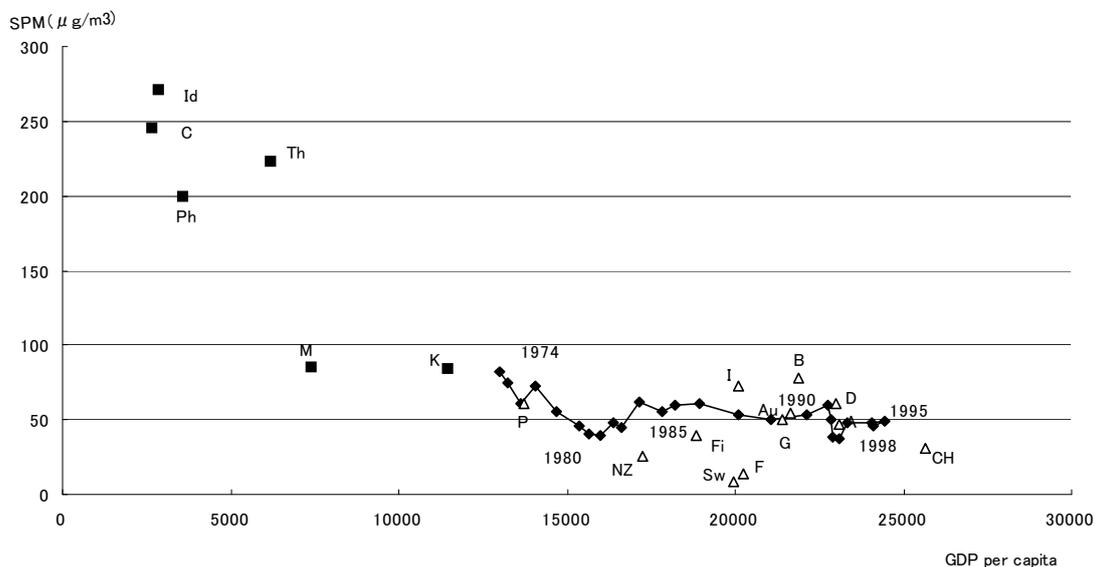
SO₂の大気中濃度と所得水準



NO₂の大気中濃度



TSP の大気中濃度



註：各国の略号と観測地点は以下の通りである。中国(C)：上海、フィリピン (Ph)：マニラ、マレーシア (M)：クアラルンプール、タイ (Th)：バンコク、韓国 (K)：ソウル、シンガポール (Sg)：シンガポール、ニュージーランド(NZ)：オークランド、オーストラリア (Au)：シドニー、オーストリア(A)：ウィーン、デンマーク(D)：コペンハーゲン、ポルトガル(P)：リスボン、スウェーデン(Sw)：ストックホルム、スイス(CH)：チューリッヒ、ベルギー(B)：ブラッセル、フィンランド(Fi)：ヘルシンキ、アメリカ(USA)：ニューヨーク、イギリス(UK)：ロンドン、フランス (F)：パリ、イタリア(I)：ローマ、ドイツ(G)：ベルリン。

駒場の学生にできること

沖縄大学 宇井 純

環境の世紀Ⅷ 第8回講義 (2001年6月15日)

1. 私のしてきた4つの仕事

このように皆さんの前で話をするのは、実は長いこと考えられないことでした。私はかつて、東大工学部の都市工学科の助手を21年間つとめていました。助手が教授の命令なしに自分で講義を用意して学生に聞かせることは、制度上できませんでした。教授会の申し合わせという確かめようのない制限のおかげで、私は21年助手をやりながら学生実験担当助手という極めて制限された場を除いては一切学生にさわることができなかつた。しかし、そのような場所のなかでいろいろなことを試みた一端を、94年にNHK人間大学の一連の講義で話しました。「水が生活の中でどのように我々生命に関わるか」という話に始まる、公害問題をも含む内容です。これが私の仕事の一つです。

もうひとつは、下水を処理して再利用するという下水処理の実験研究です。これは今でも続いています。私が自分で化学実験を初めてやったのは、小学生の2年生でした。ジャガイモをつぶしてデンプンをとるとか、それにヨウ素をかけると色が変わるなどの実験です。当時は毎日が驚きであり、楽しみであった。そのことから始まって化学を志し、この教養学部では化学部に入り化学のおもしろさを勉強しました。そして、卒業して当時ちょうど生産が始まったばかりの塩化ビニル(PVC)の生産に飛び込んだ、そういう年代です。今でも水処理の実験は続いておりまして、沖縄大学(しばしば国立の琉球大学と間違えられ、侮辱を感じますが)という、小さな化学実験室ができたのが十年前という大学にいます。そこでは、これは日本の最先端だと思いますが、豚や牛の畜産排水を無希釈で処理し、それを肥料などに利用するという実験をしています。実験屋としての60年のキャリアが私の二つ目の仕事です。

しかしその仕事の中で水俣病にぶつかりました。これはどうしてもほっておけない問題だと思ひまして、それまでの化学工学のプラスチックの加工研究から土木工学の排水処理に転科しました。そこで博士課程を過ごし、東大の助手になりました。ケーススタディとしての水俣病、そこから始まり日本・世界の公害をずっと調べてきました。これが私の仕事における三本目の柱です。

そうやって調べてきたことを学生に教えるよう教授から命令が出たのが、1970年です。但し、公害の技術的な側面に限るように条件が付きまして。私はそれを拒否し、自分の調べたことなら報告できると答えました。しかし助手は独自に講義を開き、学生に教えることができません。ドイツの大学に昔からあったシステムに、大学を出て学者になろうと志した若い研究者が大学周辺に部屋を借りて、市民・学生向けの講義を開く。それが好評だと教授会もその人を教授に昇格させて仲間に入れる、というものがあります。これが私講師 *Privatdocent* とよばれるものです。私はそのような講義を日本でもやってみたのです。国立大学の教室というのは夜は空いていますから、そこで市民に呼びかけて「公害原論」という自主講座を開きました。幸い大変な成功を収め、1970年から85年まで続けました。86年に私が沖縄大学に移ったため、残念ながら閉講せざるを得なかったのですが、環境教育あるいは社会教育の試みとして、一つの仕事をやったなと思っています。

2. 複数の専門分野を持つ

このような4つの分野について私は取り組んできました。

そこで若い学生さんに勧めたいことは、複数の研究テーマを持つことです。なぜかというと、一つの分野で行き詰まった時に他の分野に逃げるができるからです。特に大学院の博士課程は、今振り返ってみても非常にきつい制度です。一つの分野に取り組んでみると必ず波がありまして、大きな壁にぶつかります。そういうときに他のテーマがないと大変苦しんでしまいます。私も廃水処理で行き詰まると水俣へ行き、患者に勇気づけられて戻ってきました。そして別の研究をしばらくやっていると、いつの間にか自分のぶつかった壁が消えてしまっていたということを経験しました。

3. 研究費について

私は実験を続けて60年になります。これぐらいの経験がある人はそういないと思います。実験には一種の麻薬作用があり、一度やり出したらやめられなくなります。そして、しばしば夢中になるあまり周りが見えなくなりがちです。大部分の科学者はそのような人です。

水俣病が起こった当時、日本の科学者の中で水俣病を何とかせねばと考えた人間は、ほとんどいなかった。また当時はマルクス主義が流行でして、九州の端で起こった事件などに取り組んでいると世界が見えなくなる、というのが私の周辺の人たちのだいたいの反応でした。

しかし私は水俣病の患者を見てしまったものですから、水俣病から逃げられません。さらに、あまりにも悲惨な事件であるため、それをテーマとして研究費を請求する気になれない。実際これまでに、国から研究費をもらったことはありません。全部自分の金を使うか、国際会議の招待で行くなどでした。しかしこれは、あとあと大きなプラスになるのです。なぜなら、人の金で外国に行くのはつまらないです。やめた方がいい。自前で行くのであれば、少しでも多くのことをつかんでいこうとして帰ります。旅費をもらった旅行では、お膳立てされたことから一歩踏みこんで、自分で見ようという自発的な行動はなかなか出ません。例えば、ヨーロッパに下水処理の研究をしに国の金で行った研究者や議員は数万になります。しかし、視察をして下水管と処理場の前後関係という肝心のポイントに気がついた人は、五万人中五人と少ない。

研究というのは原則的には自費でやるのがよい。そのほうが、政治的な要素に縛られなくてよい。40年経ってみると、当時マルクス主義にとらわれていた人たちはほとんど消え去りました。

4. 1テーマで10年研究せよ

水俣病を掘り下げれば向こうに世界が見えてくると信じた私は、予想通り水俣病を通して世界をみることができた。みなさんも、これが大切だと思ったことを10年やれば、飯を食えるようになります。20年やれば、世界の最先端に出られます。もしそうでなければ

ば、研究テーマが悪いからです。教授から与えられたテーマなのでしょう。そのようにして一生無駄にしたような人を何人も見てきました。私のいた都市工学科では、東大闘争で一流二流は外へ出ていき、三流四流が大学に残っていきました。この打撃は、今でも回復できません。

5. 教養学部の重要性

レイチェルカーソンの"Silent Spring"が、最初に環境問題を世界に訴えたと言われていますが、その少しまえにドイツのギュンター・シュワフという作家の"Tanz mit der Teufel"という SF 小説が出ていました。ヨーロッパの物質文明が悪魔に支配され、破局に陥るという内容です。その中に「大学教授をたぶらかせば三、四十年はオレのものだ。なぜなら、その弟子も言うことを聞くから」という悪魔のセリフがありましたが、それは東大のこれまでの状況にぴったり当てはまると思います。

それでも、東大には伝統を引きずって教養学部がいまだにあります。一方、東大以外の大学は教養課程をなくすという大失敗をしてしまいました。その後におウム真理教の事件が起こりまして、教養無き専門家の危うさが浮き彫りになったのです。東大教養学部のみなさんは、非常に幸運です。そのように、自分がどのへんの位置にあるかは承知しておいた方がよいでしょう。

6. 環境教育の歴史

さて私の4つの柱が環境科学とどのように関係するのかという話ですが。

日本では1960年代後半から70年代のひどい公害に直面し、心ある先生方が工夫をして公害教育を用意しました。源流は、1964年の三島沼津コンビナート反対運動の成功です。高校の先生が中心になり「自分たちの科学・住民の科学」を提示しました。例えば、コンビナートを作った時に出てくる煙の広がり方を予測するために、五月に鯉のぼりの向きを高校生が調査したことがありました。そして、それを環境アセスメントに利用しました。

このように学校の可能性が認識され広まっていきましたが、このような公害教育運動は文部省というより保守党によって占められた教育委員会にとっては反体制であり煙たいものだったので、公害教育は体制側からにらまれてずいぶん苦労しました。1968年に、熊本の中学校の本田先生が初めて水俣病を教材に取り上げました。それに対する教育委員会の反応は強烈なものでした。「そのような暗い問題を何故生徒に教えるのか。」といわれた。それに対して本田先生は「明るい公害と言うものがあるのならば教えてください。それを生徒に教えますから。」といて教育委員会を詰ませたということもありました。そのような圧迫をはねのけて、なんとか公害教育は続いています。また教科書に四大公害訴訟の名前は載るようになりました。

これに対して、1972年にストックホルムで国連環境会議があり、そこで環境教育の

重要性が決議されました。加盟各国は環境教育をやる義務が生じたわけですが、そこで文部省が打ち出したのは公害に触れない環境教育としての自然保護教育でした。それはこれまでの自然保護の流れに乗って多少は展開しましたが、伸び悩みました。73年の石油ショック以降の慢性の不況で、世論は環境より食うほうが先だということになりました。それ以来の約20年間、日本は「環境問題における失われた20年」に突入します。

7. 日本の公害政策

日本の公害の経験は欧米に比べて約10年早いですが、それに対してきちんとした手を打ってこなかった。それは、資本主義国でしかも財界の金をもらって生きている自民党が支配層として続いてきたためだ。日本の政府が伝統的に取ってきた公害対策は次のような政策だった。公害が起こった時、最初は被害者の声を無視する。無視ができなくなると、心配するなという。しかし心配しなくてはならないくらい被害が蓄積すると、最小限の対応をする。そこで東京大学が使われた。例えば水俣病の場合、漁民乱入事件があったあとにわずかの補償金がきた。一方で、東京大学の権威を利用して水俣病は工場排水が原因でないという切り崩しにかかった。これが医学部に作られた田宮委員会です。そのような経過のくり返しであった。

従って日本の公害対策は物理学で言う *relaxation* (緩和現象) の積み重ねであったと思います。

8. 歴史と責任

例えば、環境法の勉強は法律の先生を呼んでくればできるでしょう。しかし私は、その背景にある「どのようにしてその法律が歴史の中で発生してきたのか」ということを絶対に忘れてはいけないと思うのです。

私は、1970年から1971年にかけて公害に関する論文を2年間に800本、他の仕事の合間に読みました。時間がない中であるため斜め読みをするしかありませんでしたが、その中で読むに値する論文には二つの条件があることがわかりました。一つは、公害の歴史について触れていること。二つ目は、科学者の責任について触れていることです。私の経験からは言えば、歴史と責任について書かれていない本は終わりまで読んでみてもあまり得るものがないと思います。ちょうど今は環境問題の第二次ブームであり、皆さんは環境問題を勉強するにあたって多くの本の中からの選択を迫られると思います。

いわゆる理系分野の論文の大部分は、歴史と責任について触れていません。現実にもそのような例をみることができます。例えば、白金から早稲田に移転した国立予防医学研究所です。この中では伝染病の病原体を扱うため、高度の防護施設が必要になります。しかし、そのような施設が完全に動くとは限らない。従って、そのような危険な施設を街なかには作ってはならないはずなのに、その中にいる研究者で危険だという内部告白(告発というほどはげしい行動ではありません)をしたのは、600人中一人しかいない。これが現実で

す。

科学者と言われる人間が、どれほど自分の利益のために良心を曲げるか。国立大学の教員には身分保障があり研究の自由があるにもかかわらず、水俣病に関する研究をした人は東京大学では私と西村肇(助教授)、飯島伸子(助手)だけです。これは大変なことだと思います。むしろ医学部の教授などは大学からお金をもらって水俣病のもみ消しに荷担をしていた。田宮委員会はチッソとの板挟みの中、水俣病の原因をプランクトンにあるとした報告書を出しました。これは現在残っている唯一の文書です。ぜひ見てみてください。それくらい日本の科学は体制べったりになっているのです。これでは正当な発展をするはずありません。

9. 環境問題の教科書づくり

皆さんは、そのような国立大学で今から学問を学ぶわけです。そこで皆さんに勧めたいのは、教科書を作ってみたらどうか、というものです。最低限これだけは抑えておかないといけないという客観的な事実があります。水俣病の歴史も客観的な事実です。水俣病もみ消しに東京大学が荷担したこと、また有限の世界での生物の個体数の変化などです。

日本の「失われた20年」の間に、アメリカではこんな環境問題の教科書を作っていました。様々な事実が図面・写真入りで懇切丁寧に説明されています。教科書を作るといっても、最初は薄っぺらいものでしょうし、一人では作れません。しかし皆さんには「何も知らない」という強みがあります。「何を知りたいのか」さえあれば、今の東京にはそれにきちんと答えられる先生がいます。疑問点は、そのような先生に教えてもらえばよいでしょう。

今出ている環境科学の教科書はテクニカルな内容がほとんどで、現実の公害のことは捨象されています。

10. 銀行型学習と問題解決型学習

ということで、今の若い皆さんが自分の問題意識で勉強するのが一番よいと思います。それはもう一つ別の経験があるからです。大学までに受けてきた教育は、できるだけ知識を詰め込んで、それを必要な時に取り出すことを目指してきました。端から見ていたパウロ・フレイレという教授は、このような勉強法は銀行型学習だ、知識を集めて銀行に預けているようなものだと言っています。それでは使い物にならない。銀行はつぶれるものだし、インフレーションもある。一方彼は、ブラジルのスラムで識字教育をする上で、問題解決型学習というものを編み出しました。それぞれにとって一番大切な問題は何か、そのためにはどうすればよいか、と考えていくものです。スラムでまず出てくる問題は貧困。いくら働いても儲からないのは搾取のため。これは経済を学ばばわかる。女性にとっては暴力が一番の問題。それは植民地の歴史を勉強すればわかる。支配者の文化を、被支配者が真似をするのである。問題解決型学習とは、このような学習です。

今ではインターネットなどの技術が発達していますが、インターネットを使って情報収集をしていると、日本という井の中の蛙になって人生の半分ぐらいを無駄遣いしてしまったなあと思っています。そのために、我々は世界がどのように成っているのかという世界像を必要とします。つまりは、教養です。歴史や責任については特にそうです。これを私に教えてくれたのは、イバン・イリイチというメキシコの哲学者です。支配者の学問は歴史を必要としない。その場その場を切り抜ければいいからだ。ただし、支配される側の学問は歴史を必要とする。「なぜそうなったのか」ということについて主体として考えなければならぬからである。

11. 矛盾点にこそ真実がある

皆さんが知らないといけないのは、情報の洪水のなかでどの情報が信用できるかを知ることです。公害の因果関係を調べていくと、いろんな情報が出てきます。その中で、一致するものはたいしたことないのです。矛盾した情報こそがおもしろいのです。矛盾している情報について掘り下げていくとそこに真実があります。

水俣病の因果関係を調べていった時に、熊本大学は原因は工場排水の中の水銀だとしたが、東京工大の清浦教授は腐った魚だといった。その根拠は、日本中の各地を調べると水銀の多い場所はたくさんあり、そこで水俣病は発生していないからだ。社会的に混乱を引き起こすからその場所は言えないという。この対立した意見のどちらが正しいのか。清浦先生は化学工業をバックにつけていたが、関係者から聞き出したところ対象地は直江津だった。直江津には水俣と同じアセトアルデヒド工場があったため、清浦教授は場所を伏せたのです。私にとって水俣病の因果関係は、この事実で証明されたと思いました。もう一つは、細川先生の水俣病を発病させたネコ実験です。この二つがあれば、工場排水で水俣病が起こったということは証明されたと思います。それに気がついたのは、矛盾していたからなのです。同様のことが足尾鉍毒事件でもいわれていました。

矛盾しているような事例についてどちらが正しいのかわからない時は、両方正しいとしたらどうなるのか、一方だけが正しいとしたらどうなるのかという思考実験を試みるとよい。思考実験により真実が見えてくる、いろんなことが分かってくると思います。

12. 「国へ帰れ」

話があっちこちに飛び、だいぶ皆さん苦勞していると思いますが、結論として言えることは、「分からなくなったら現場に出る」と言うことです。そうすればたいがい見えてきます。私の場合は、水俣や栃木でした。東京にいと気が滅入ります。孫の代まで地球は持つのだろうか、などと考えるときりがありません。例えば湯布院や臼杵、風成などの地方に行くと、未来どうなってもここだけは残るだろうという希望を持てます。

自主講座で学生に勧めたことは「国へ帰れ」ということです。そこで村会議員になれということです。みんな官僚を目指す東大生に本当は言いたかった。私の同期で官僚になっ

た人は、出発点では志を持っていたのに今は悪いことをしている人が多い。村会議員になれば悪いことはしないだろう、ということです。自主講座は大衆大学の学生が多かったのですが、実際地方で活躍している人がたくさんいます。東大のみなさんも、地元で生き残るような手段を考えてみるとおもしろいのではないか。それは環境問題を考えることとほかなりません。

13. 答えのない問題

環境は全部つながっている。このアメリカの教科書でも「地球は何故火星と金星の間にあるのか」など宇宙論から始まる。また私が環境科学の講義の最初に学生に見せるのは、パチンコの玉を箱に入れた水分子の模型である。物質の三態や水の特殊な物性を模型で実感してもらおう。このように（体内の）内部環境から宇宙まで、環境はつながっているといえる。その中で何かの答えを出そうという時東大生向きでないと思うのは、答えがあるかわからないということです。私達研究者がぶつかっている問題には答えがあるかどうか分かりません。その答えを探すために研究をする。それが無理なら桁を求める。できれば意味のある数値をださねばならない。そのようなことは、これまで答えのある問題ばかりに取り組んできた東大生には向きません。しかし、今からはそのような問題に取り組むことが求められます。

あと「理屈は物ができる程度にやればよい」ということがいえます。例えば橋を造るにしても、壊れない柱を造るための議論は、色々計算をするが一番最後に安全率を掛けて単純な数値になる。衛生工学では、四則計算しかやったことがないです。土木工学にいた利点は、お金の値打ちがわかることです。兆と言えば大金、億と言えばはした金です。下水道に使われているお金は、先端にいる私から見ると半分は無駄金になっています。今の公共投資はこういうものなのです。

14. 最後に

一番言いたかったのは、みなさんで日本の環境教科書を作ってみませんかということです。もちろん一朝一夕でできるものではないでしょう。しかし10年程度かければ日本が自慢できるようなものができるのではないのでしょうか。そして、それをぜひアジアの発展途上国で生かしてほしい。今アジアは日本が犯した過ちをもう一度犯そうとしています。それを食い止めるのにその教科書が役に立つのではないかと思います。

環境の世紀ゼミより～質疑応答

Q 東大生の多くは官僚を目指しますが、国家の中から環境問題に関わっていくにあたりアドバイスがあったらください。

A 典型的な例がいくつかあります。一つは、1960年代半ばに厚生省初代の公害課長になった橋本道夫さんです。橋本さんは現場を見に行き、既成の法律はないが被害はあるなら自分の仕事だということで対策を行ってきた。橋本さんの活躍は非常に鮮やかでした。よくクビにならなかったということで、最近聞いてみたら次のようなシンプルな答えが返ってきた。「公務員には身分保障というものがあります。間違っただけをしない限りクビにはなりません。」身分保障は仕事をしない根拠に使う人が多いが、橋本さんは仕事をやる根拠にしたということです。その後が続いたのは土木出身の加藤三郎でした。彼がやった仕事で一番身近なのは、合併浄化槽に補助金を付けたことだろう。環境庁ができてすぐの頃から頑張っていました。加藤君は天下りはしないでNGOをつくって、今でも川崎で活動しています。この二人を追ってこの分野に入ってきたのが、国際局長になった都市工出身の浜中君です。1970年に水俣病の和解プロセスをしようとした時、加害者と被害者が対等にはなりえないということで、私達は厚生省に座り込みをしたのだが、彼は厚生省を批判するビラをまきました。

そのような立派な人たちもいますので、官僚になることは止めはしません。どういう立場にいてもやることはあります。彼らの場合には、自分がよって立つ技術を持っていました。

都市工では優秀な人は、住民に一番近い地方自治体に行きます。地方に行けば、その地域での問題に直接、しかも総合的に取り組むことになります。例えば名護市の市長は、非常に難しい判断を迫られていて注目に値します。次のクラスが国家官僚になり、続いてメーカーにゆくという順序になりました。

経済学者は、時に非常に悪い理論を打ち出す。アメリカの経済学者のサマーズは、「環境の値打ちの安い、人の命の安い途上国に公害を輸出することは経済学的に正しい」といった。すべてを市場経済に基づいて計算する。「被害者が加害者にお金を払うことで、公害対策をしてもらおう、ということは計量経済学上等価である」という議論もあった。倫理的には相当悪いことなのだが。ただしそんな中にも、宇沢先生やアマルティア・センのような人もいる。

水俣病の患者から見れば、東大工学部に私がいたことが信じられないことだった。患者にとっては、東大卒業生が水俣工場を作って水銀を使ったアセトアルデヒドを作り、今度は東大医学部が水俣病を発見し、そして東大医学部がもみ消し、患者の一人として立ち上がった川本輝夫がぶつかったのがチッソの東大卒の職員であり、そこで怪我をさせたとい

って傷害罪で起訴したのが東大卒の検事であり、裁判官も東大出。川本さんに頼んで自主講座に出てもらい、彼にどうだったかと感想を訪ねたところ、「おれはこういう風に東大と関わりがあって起訴されて公訴棄却になったが、何重にもこの大学の卒業生と関わってきた。東大の門をくぐる時は本当に勇気が要った。」これは僕らのせいではないけれども、ここへ入ってしまった以上、逃げられない一つの烙印みたいなものです。本人としては嫌ですが、自分がどのような位置にいるのか知ることは絶対に必要な作業です。

Q 自分の位置を知れと言うのは、東大の中での自分の位置を知れということですか、それとも社会の中での東大の位置を知れということですか。

A 両方でしょうね。

私が公害に取り組んだのは、実はあまりいい動機ではありませんでした。日本ゼオン時代、私は工場で水銀を流していました。水俣病の報道を聞き、「自分が流した水銀でそんなえらいことが起こったら大変だ」と思って調べ始めた。ただ現地に入ったらそんな動機は飛んでいってしまい、科学をやって原因を解明する立場としてなんとかせねばと思って動いてきた。

質問はごもっともですが、東大にいるなかでプラス・マイナスどちらもたくさんあります。その中で私が意識してやってきたことは、自分の生活経験をできるだけプラスに評価することです。中学から高校開拓農民の暮らしをしたことから、肥料を安くと思って化学を志望した。大学に入って経済学を学んで肥料が安くないことがわかり、農業用ビニールを安くしようと思い日本ゼオンに技術を盗みに入った。三年後に盗む技術は無くなり、大学に戻ってきて水俣病に取り組んだ。よく言われるのが「あなた遠回りしていますね。」ということだ。それは確かに土木工学科ではあまり昇進しないケースだが、助手の立場は教授会に出なくてよいなど自由も多く、思えばいい条件にあったといえる。水俣病の浜本二徳さんは、「水俣病にかかりえらい災難だったけれども、世界中を歩いたし友達もでき、なんかお釣りを余計にもらって人生を得た気がする。」と言っておられた。私も同感である。

今考えるともう少しできたと思ったのは、東大都市工学科にいた時に学生に対する影響をもっと考えるべきだったことだ。中西準子はそれを相当意識的に行い、成功した。年金生活を経験すると、助手と教授では格段の差であるが、これだけ自由にやったのだから年金が少ないくらいしょうがないかなと思っている。

学生による事例研究 ～携帯電話と環境～

東京大学学生環境サークル 環境三四郎

環境の世紀X 第10回講義 (2003年6月27日)

0. 始めに

みなさんこんにちは。

丸山先生ありがとうございます。先生の貴重なご講義の時間を学生のために割いて下さったことに感謝します。

それでは、私達環境三四郎による事例研究としまして発表をさせていただきます。まず、私達がどのような意識で今回の発表に望むのか、というところからスタートしていきたいと思えます。

環境の世紀Xはコンセプトを「常識を、見つめ直す」とし、オムニバス形式を基本としながら、毎週様々な先生方にそれぞれの立場からこのコンセプトにつながるような講義をしていただいています。この環境の世紀の掲示板に第一回の感想として書き込みがあったのですが、それはこのコンセプトに対してのもので、「まず、常識を知らなければいけないのだということも強く感じました。常識を知らないものには、常識が正しいかどうかなどは到底分からないのですから。」とありました。それは私達も同じように痛感しています。「常識を、見つめ直す」というコンセプトを掲げているわけですが、現実から自分達なりの常識を作っていく、常識という大げさかもしれませんが、そういった作業はとても大事だと思いますし、その作業は「常識を、見つめ直す」という作業とは矛盾するものではなくて、むしろお互い必要かつ両方あってそれぞれ成り立つものだと思います。

初回に「古い常識を破った後で、新しい色々なタイプの環境対策を構築していくことが大切だ」ということを廣野先生はおっしゃっていました。今回のこの事例研究は、常識を破った後に何ができるかということ私達が考え、廣野先生の言葉に答えようとしたものと言えるかもしれません。みなさんもこの講義から何か得るものがあればいいなと思っています。

さて、事例研究の中身ですが、私達は、ある「モノ」に注目し、そこから環境問題について考えようということにしました。〇〇と環境というと、自動車などの定番があると思います。これらは環境問題と深い関係を持っていてそのインパクトも大きいのですが、今回の事例研究では、あえてまだ定番とは言えないけれどこれから大きな影響を持ち得るものを取り上げてみました。今回私達が注目したのは、「携帯電話」です。

(この事例研究では「携帯電話」というときに PHS も含めて指しています。)

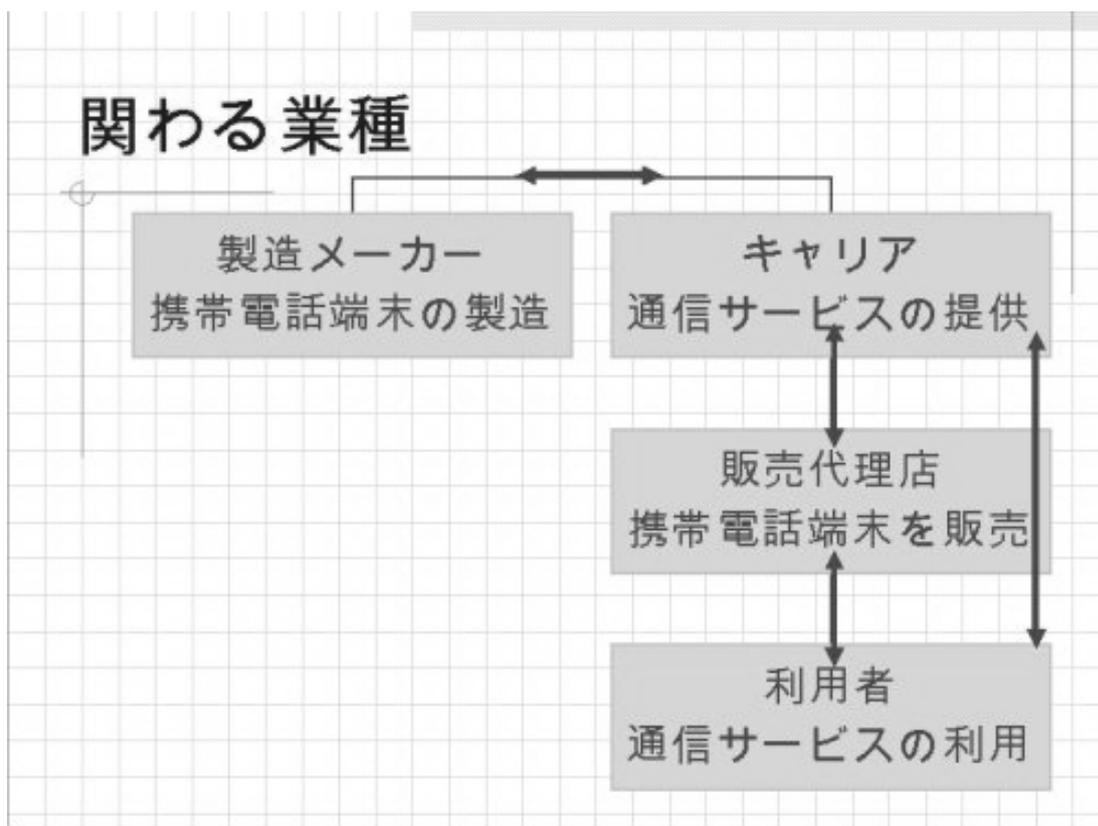
この「携帯電話と環境問題」という連想なんですけれども、「携帯電話⇒環境」という構図を思い浮かべる人はあまりいないのではないのでしょうか。小さくて軽いものですし、先ほど出てきた自動車に比べれば深刻な問題につながらないのではないのかな、と思われる人もいるかと思いますが、逆に小さい分だけそこから見えるものの多さに驚くことにもなりました。

これからの発表の流れは以下の通りです。

1. どのように携帯電話が動いているか
2. 携帯電話の構成物

3. 携帯電話を作る製造段階での環境負荷
4. 使用済み携帯電話がどのように扱われるか
5. 発表のまとめ
～循環型社会を問う～
6. 丸山先生よりコメント

1. どのように携帯電話が動いているか



まず、携帯電話は 3 つの関わりの深い事業者がありまして、そこから説明したいと思います。右上のキャリアーというのは、通信サービスを提供するところで、DoCoMo や au、J-PHONE（現在は vodafone）、TuKa などがあります。左上の製造メーカーというのは、キャリアーの委託を受けて携帯電話の端末を製造しているところで、NEC や Panasonic などがあります。最後に、販売代理店というのは、キャリアーの委託を受けてユーザーに携帯電話の端末を販売するところです。街にある携帯電話屋さんのように色々なキャリアーの端末を売っているところもそうなのですが、ドコモショップなども、全てがキャリアーの直営店という訳ではなく、一部は販売代理店です。

携帯電話がここまで普及した背景には 3 点の要因があると考えられます。その 3 つとは、

- ①軽量化
- ②高機能化

③低価格化

です。

①軽量化

初めの軽量化ですけれども、携帯電話は初め自動車電話であって車の外には持ち出すことはできませんでした。初めて携帯電話が持ち出せるようになったのは 80 年代で、3kg ほどあるものを持ち出していました。その後、軽量化が進み、1991 年にムーバが発売された時には 220 g ということで今の携帯電話に近づいています。現在では 100 g 前後ということで、気軽にどこにでも持ち歩ける大きさになったことが普及の要因だと思います。

②高機能化

1 点目の高機能化ということですが、通話の音質が良くなったというのがありますが、i モードを始めとしたインターネット機能や、J-PHONE が始めた写メールが広まったということも大きな要因だと思われます。

③低価格化

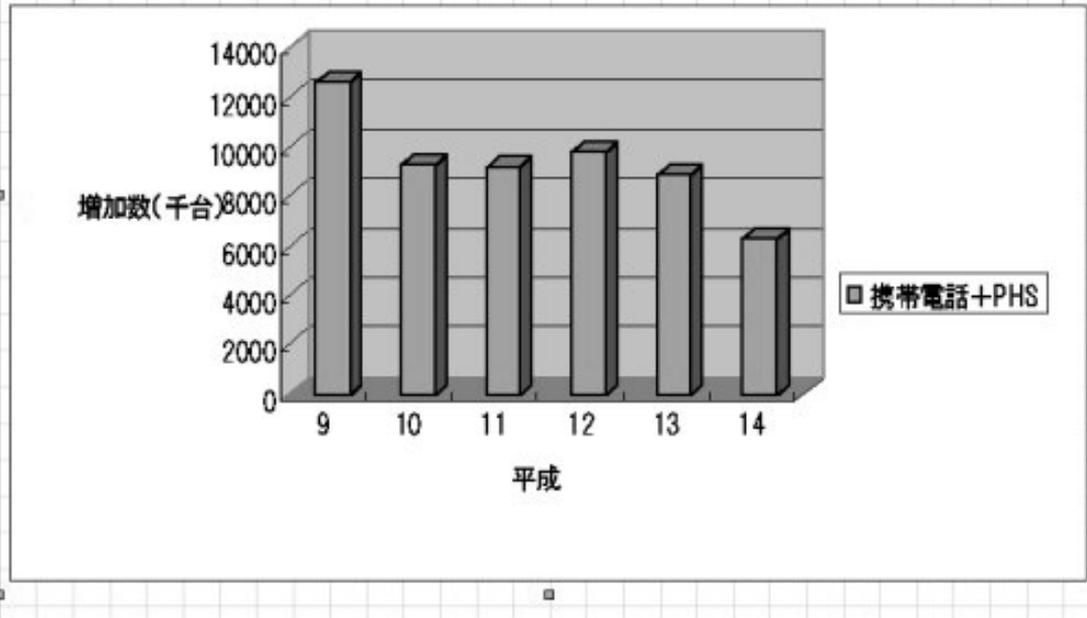
3 つ目の低価格化というところですが、「インセンティブ」というものを説明したいと思います。これは売り上げ報奨金のことで、キャリアーが自分のユーザーを増やすために、販売代理店が新たなユーザーを獲得する都度支払うお金のことです。この結果として 0 円の携帯電話が街で売られることとなります。

このような背景から携帯電話は急速に普及していき、右肩上がりに契約者数は増えていきます。2003 年 5 月末の時点で 8000 万を超える契約が結ばれています。*1

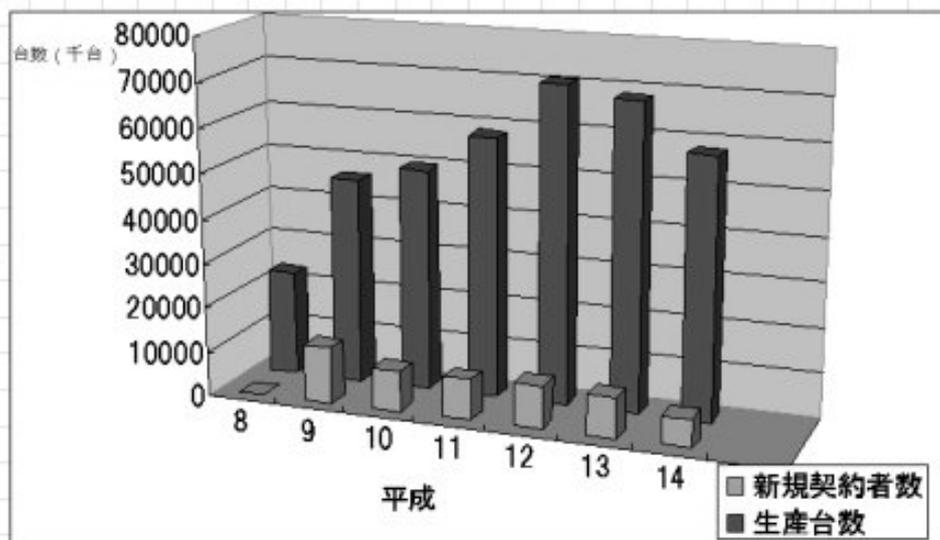
ここで、だいたいの契約者数の伸びを見る際に、その年の契約者数から前年の契約者数を引く計算をすると、このようになりまして、新契約者数はかなり減ってきていることが分かります。

しかし携帯電話の生産台数はそこまで減っていません。なぜかという、1~2 年に一度買い替えをする人がいるためです。グラフを見れば分かると思いますが、新契約者のために製造されている携帯電話はほとんどなく、大部分は買い替えのために作られていることが分かります。買い替えということは以前に使われていた携帯電話は必要なくなるということで、この表では輸出入は考慮されていないのですが、それも考慮すると、平成 13 年度に約 3750 万台が廃棄されています。*2 このように携帯電話の生産、廃棄に関して、共に数量的にはかなり多いことが分かります。

新規契約者数



携帯電話生産台数



2. 携帯電話の構成物としての燃料電池

ここでは、携帯電話の構成物として燃料電池を取り上げたいと思います。燃料電池は水素と酸素を結合させ、水が生成する際に生じるエネルギーを電気エネルギーとして取り出すものです。2003年6月に開かれたエビアンサミットでも、規格統一などを進めることによって石油を中心とした現在のエネルギー利用システムを大きく転換させるきっかけとして期待されています。

燃料電池というと、燃料電池自動車の方が一般的で認知されやすいと思いますが、携帯電話やノートパソコンの必要とする電力・電圧のほうが高いので、そのようなものへの搭載を考えたほうが実用化は早いのではないかととも言われています。

実際に、DoCoMoの社長が6月の記者会見では来年か再来年には燃料電池搭載型の携帯電話の第一号機が誕生する予定だという様な発言もしていて、燃料電池自動車よりもずっと早く、それも数年で近い存在になることがあるかも知れません。もしこれが実現したとすると、コンビニなどでカートリッジに入ったメタノールを買い、端末に装着して使用するという新しいスタイルが考えられています。これはNEC、日立、東芝、カシオ、SONYといった企業が開発・実用化に向けてしのぎを削っている段階なんですけれども、理論的には、現在のリチウムイオン電池と同じ大きさで10倍の電気容量が可能と言われています。

バッテリーの将来

◆燃料電池？



ただ、現在はこの絵を見てもわかるように携帯電話の中にすっぽり入るような大きさの燃料電池というものはまだまだできてないようです。理論的にはリチウムイオン電池の10倍と言いましたが、技術的にもまだ3倍程度が限界、そしてコストも2倍近くかかっているということで燃料電池自動車よりも期待されているとはいえ、写真を見る限りこれを持ち歩くということはなさそうなので、なかなか時間がかかるんじゃないかなと感じます。ここでは、これからこの燃料電池っていうものが私たちの生活の身近なところにやってくる可能性があるということ、まあこれは脱線なんですけども、紹介しました。

3. 携帯電話を作る製造段階での環境負荷

それでは、製造する過程の方に話を進めたいと思います。と言っても、携帯電話には無数の部品がありますのでここでは3点に絞って紹介したいと思います。

- ①使用される物質の安全性
- ②水の利用
- ③洗浄に使用される有機溶剤

①使用される物質の安全性

まず一番目としては使用される物質からです。携帯電話は半導体にシリコンが多く使われていますが、それに代わる半導体の基板材料としてガリウム砒素化合物も多く使用されています。ガといったリウム砒素半導体はコストは高いのですが、演算速度が速かったり、低電圧で作動するといったメリットを持っています。ガリウムも砒素も分解すると非常に有毒ですので製造・廃棄段階共に管理が必要だと言われています。

ここで、一つの東大の柳沢幸雄先生の研究結果を引用したいんですけども、2010年までに日本で生産される携帯電話に含まれる量は最大でガリウムが142kg、砒素が93kgということがわかります。非常に有毒な物質が使われている事が見て取れるかなと思います。

(2001.02.17付の読売新聞の14面の記事がスクリーンに写される)

ここで普通の読者がこの記事を読んだら、ガリウムや砒素の廃棄が深刻な問題になり得るんじゃないかと考えると思います。ただ、ここで注意しておきたいんですけども、この研究では、2010年までに作られる携帯電話全てを累計して今年作られているものも来年も全てを累計して6億1000万台が製造されると試算しており、これを一年一年例えば、実際に廃棄されるものだったりとか、あとは用があるものは少ないですし、6億台で試算しているというのは世界の年間に作られる台数よりも多いので、むしろ、逆にそんなに深刻な問題になるものではないと見ることもできると思います。もちろん実際どれほど危険なのかということについて断定することはなかなか難しいと思いますが。

ただ、もともとのこの研究それ自身は砒素の有害性を特に深刻にとらえたものではないんですね。それがこうして新聞の中に記事として現れると、「砒素何kg」というところだけ意外に大きく出てしまっています。こうした例を見ると、これまでの講義の中で報道とか情報、

メディアリテラシーなどをキーワードとして扱った部分とも大分関連してくるところがあるかと思います。

②水の利用

次に 2 点目として水の利用ということですが、半導体製造過程では、空調だったり、炉の冷却だったり、基板の洗浄に大量の水を使用しています。これは、実際どれ位の量が使われていてそこでどういった影響が出てっというのは、把握しきれませんでした。先週の沖先生の講義では貿易収支と同様の観点で水の出入りも国際間の水の行き来も把握していく必要をおっしゃっていたところと関連してくると思います。

③洗浄に使用される有機溶剤

3 点目として希少金属があります。当然ながら、洗浄に使用するのは水だけではありません。有機溶剤なども特に半導体製造工程では使われていました。有機溶剤として有名なものとして、トリクロロエチレンがあります。1980 年代に多く使われて土壌や地下水、大気を汚染した結果、その害が問題になり代替品としてフロンを使うようになったわけです。ご存知だと思いますが、フロンは無害で洗浄剤や冷媒としてよく使われました。しかし今度はこのフロンがオゾン層を破壊する原因となることが明らかになっています。

半導体という点について簡単に見ただけなんですけれども、製造業、とくに精密な物をつくる場合には、さまざまな物質だったりエネルギーが投入されていて、そこに環境との関係を見て取れると思いますので、一步遡って製造の前、原材料のほうもちょっと見てみます。

携帯電話やパソコンなどの情報機器には様々な金属の中には採れる地域が非常に偏っていて、その総量も少ない金属もあります。そういったものを希少金属、またはレアメタルと呼んでいます。先ほどのガリウムもそうですし、チタン、バリウム、コバルトというような希少な金属がたくさん使われています。

[タンタル]

ここではそういった希少金属と環境との関わりの具体例としてタンタルという物質を取り上げたいと思います。タンタルはコンデンサーとして携帯電話に多く使われます。タンタルの酸化物が安定で非常に誘電率が高いので、従来のものに比べて 1/60 のサイズのコンデンサーを作ることができるのです。タンタルはオーストラリア、ナイジェリア、カナダ、コンゴといった限られた地域で産出されます。世界的な携帯電話の急激な普及にともなってタンタルの需要が膨れ上がり、価格が高騰したりしたのですが、こういった話がどのように世界とつながっているかということについて、2001 年に放送された NHK スペシャル「戦場の IT ビジネス」というドキュメンタリーを紹介しておきたいと思います。

世界の四分の一のタンタル鉱石を産出するコンゴ民主共和国（旧ザイール）の情勢を追っ

た番組です。私たちが普段手にしている携帯電話に含まれる希少金属がどういったところでどう採られているか、その一例を見るのにちょうどよいと思います。今はこの番組をお見せする時間ありませんが、もし機会がありましたら是非ご覧になってください。コンゴでは内戦が続いている状況で、周辺国がそれに介入する地域もあるのですが、こういったタンタルの利権の争奪が紛争を長引かせている原因の一つであるとの番組では結論づけています。重要なエネルギー資源である石油といったものを巡っての軋轢が世界でよく見られるように、金属資源、特に希少金属でも同じような状況が発生していることを理解できる番組だと思います。

さて、タンタル以外にも多くの金属が携帯電話には使われています。携帯電話の場合は銅が一番多く、また金や銀も入っています。そういったものの含有率が鉱石の含有率よりも高いので、不要な携帯電話を鉱石と同様、もしくはより優れている重要な資源として見ることができます。ですから資源の有効利用としての回収やリサイクルの必要性がある、とすることができるのです。

それでは、不要になった携帯電話がどういったところへ流れていくのかの実情についてお話ししたいと思います。

4. 使用済み携帯電話がどのように扱われるか

次に携帯電話が使われた後に廃棄、あるいはリサイクルされるという段階を見ていきます。

4.1 携帯リサイクルの現状

4.2 現状における課題

4.3 より良いシステムの構築

4.4 使用済み携帯電話のまとめ

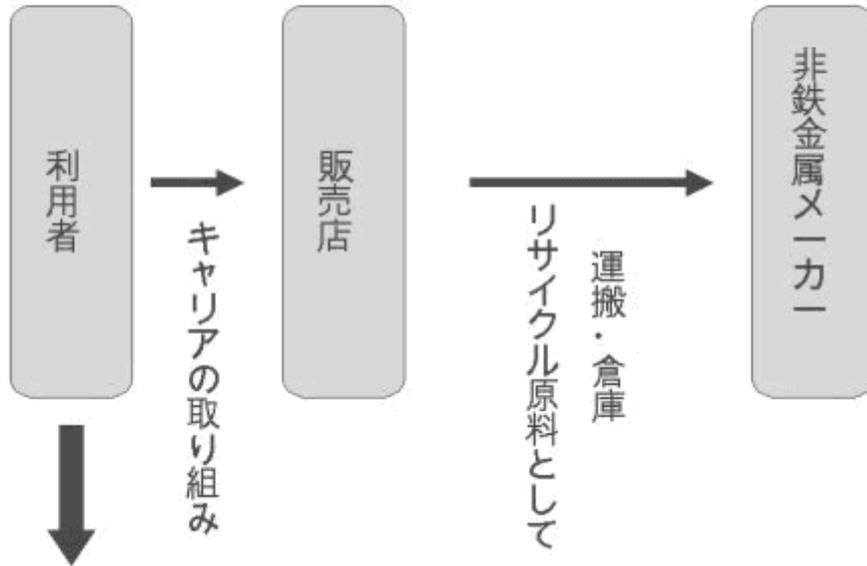
という視点から調べました。

4.1. 携帯リサイクルの現状

まず現状から見ていきます。いきなり携帯電話をリサイクルするというと、イメージが湧かないかもしれませんが、基本的には自治体などで携帯電話を回収してリサイクルすることはほとんどなくて、いわゆる機種交換する際に先ほど言った販売代理店で不要になった端末を交換したときにそこからリサイクルが始まります。つまり、リサイクルショップに持って行くというかたちではないです。いま現在キャリアの種類は DoCoMo や au、J-PHONE など、多くありますが、どこのキャリアに持っていても同じように回収されるシステムとして「モバイルリサイクルネットワーク」があり、それだと自分がもともとは DoCoMo で J-PHONE に乗り換えたとしても、新しい販売代理店で回収がされるわけです。

これは DoCoMo のホームページにあるものなんですけれども、顧客が実際の窓口に行って、リサイクル会社を経由して資源として回収されるということが見て取れると思います。基

現状はどうなっているか



不燃ごみ・家で各人が保管



本的には DoCoMo の窓口からリサイクル会社まで、窓口つまり販売代理店である程度の量がためられた後に宅配便などで送られているようです。私達も渋谷の DoCoMo や J-PHONE で聞き取り調査をしたのですが、一ヶ月に宅配便を約 1 箱程度まず倉庫に送り、そこからリサイクル会社に送っています。

さて、先ほども言いましたが、現在の携帯電話・PHS の加入台数は合わせて約 8200 万台あり、固定電話の約 6100 万台を大幅に上回っています。そのうち廃棄される量は約 3750 万台あります。回収された携帯電話本体の台数（平成 13 年度）は約 1300 万台、電池が約 1200 万台、充電器は約 420 万台回収されています。データを調べたときも、実はこのようにおおまかな値ではなくて、1 の位まできっちり調べられていることに驚きました。例えば、平成 13 年度に携帯電本体は 13,107,173 台回収されています。*1

それぞれの回収率がどれくらいになるかというと、

本体 : 35.2%

電池 : 31.7%

充電器 : 11.4%

となっています。

次に先ほどの図で言うと、販売店から非鉄金属メーカーへの流れを見ていきたいと思えます。廃棄された携帯電話はここでリサイクル原料として扱われ、1 トンあたり 15 万円程度のお金で売買されています。*2 など

ちなみに、携帯電話 1 トンには端末が約 1 万台含まれています。その売買が行われる際にどちらがお金を払っているかというと、販売店ではなくて、非鉄金属メーカーが買い取っています。つまり、廃棄された携帯電話は有価物として買い取られており、キャリアーには 1 トンあたり約 15 万円が入ってくるわけです。

非鉄金属メーカーに到着した携帯電話がまず受ける工程は選別です。これは携帯電話を構成部品ごとに分ける工程です。ただし、ドコモの場合だと、倉庫に集めて分別した後にリサイクル工場に送るそうです。

さて、ここからは携帯電話のリサイクルをしている企業として、主に小坂製錬を例にとって話していきたいと思えます。

選別が行われた後には破碎という工程があります。これは携帯電話を約 2cm 以下の破片に粉々にするものです。この図（図は省略）は、リサイクルのプロセスではなくて、小坂製錬で行われている銅の精錬の工程なのですが、破碎した携帯電話の端末をこの銅の炉に入れて、そこからは完全に銅の精錬の工程にのっとってリサイクルが進められます。最終的には電解製錬により、純度を高めて希少金属を回収します。

最終的にどの程度の希少金属が回収されるかというと、おおまかな値ですが廃棄携帯電話 1 トンから

金 : 0.15kg

銀：3kg

銅：100kg

でそれぞれ1トンあたり 0.015%、0.3%、10%回収されるということです。あと、パラジウムという貴金属が100g回収されます。*2など

これらの回収された希少金属は合計約40万円に相当します。つまり、非鉄金属メーカーが得ている利潤は、「メタル価値(40万円)－購入額(15万円)－製錬・販売・管理コストetc」であり、非鉄金属メーカーでは廃棄携帯電話は価値のあるものとして扱われていることが分かります。もちろん利潤が出るのはこの式の結果が正である時に限られ、実際、端末本体はかろうじて有価物としての価値が残せる程度だそうです。

非鉄金属メーカーは、このメタル価値を求めるために「分析」という作業を行っています。実際の携帯電話は銅の炉に入れてしまうので、1トンの携帯電話からどの程度の希少金属が得られるのか細かい値が得られないからです。実際にこの分析という工程を行う際には、携帯電話をパウダー状にし、さらさらにしてしまってから実験室のようなところで確認しています。

分析

◆処理1トン15万円
⇒その価値があるか？
コストに見合っているか？



このように、携帯電話のリサイクル方法としては銅の製錬のフローに入れてしまうのが一般的です。ですから一度破碎して銅の炉に入れた後は特に何かをする訳ではなく、通常の銅の製錬と同じように処理されています。これは小坂製錬の場合ですが、ここでは、例

例えば3万トンの銅鉱石を処理するにはリサイクル原料が1500トン含まれ、そのうち携帯電話が占める割合はリサイクル原料1500トンのうち1%にも満たない状況です。また、携帯電話の他にリサイクル原料としては電線に含まれている銅などがあります。ですから携帯電話をリサイクルしているというよりは銅の精錬に破碎した携帯電話を加え、そこから希少金属を得ていると言ったほうが理解しやすいフローかと思います。

ここまで説明してきた銅の精錬に加える方法がほとんどなのですが、横浜金属というところでは他の方法も取っています。非鉄金属メーカー、つまり携帯電話のリサイクルをしているところは全国に10数社あるのですが、その中で一番大きなところが横浜金属です。ここは工場自体は小さいのですが、携帯電話のリサイクルに関してはシェアが一番大きいところです。そして横浜金属では製錬工程に加える方法のほかに次のような化学的な方法でも希少金属を取り出しています。化学的な方法は、私達は実際には見ていないのですが、先ほど言った分析の工程を大規模にしたようなものだと考えられます。

化学的抽出方法

◆化学的処理…王水を使い、化学的反応により各金属を取り出す方法
(王水：金を溶かす強力な酸化剤)

◆化学的処理⇒プラスチックの回収可能

この方法に使われる王水というのは一応高校の化学で習うもので濃硝酸と濃塩酸を使った強力な酸化剤です。化学的な処理の特徴としては、炉に加える方法では燃えてしまうプラスチックを回収できるということです。ただし、プラスチックを回収できると言っても、コストはかかりますから、実際に回収を行うかどうかはキャリアーの指示で決めるとのことです。具体的には分別の工程でプラスチックを分けるのに余計にかかるコストが問題となります。

さて、ここまで言ってきたのが代表的な2つの例の方法、銅の精錬に加えるものと化学的なものです。

4.2. 現状における課題

現在のこの処理方法に関して何が課題としてあげられるか、ということを中心に考えたいと思います。課題としてここでは次の4点を考えてみます。

①回収率低下

これは不要な携帯電話をどの程度回収できているのか、先ほど言ったように携帯本体でも30数%しか回収されていないものをどうするのかというのがまずあげられます。

②法的課題

これは、携帯電話を有価物として扱うか、あるいは廃棄物として扱うかによって現行の法律が障害になりうるというものです。

③コストの増加

もちろん回収率を上げれば、キャリアーが廃棄された携帯電話の回収にかかるコストも増します。この点についても考える必要があります。

④バーゼル条約

これは課題ではないのですが、紹介のためです。

①回収率低下

まず、1点目の回収率の低下に関してです。現在の回収率は以前に比べて下がってきています。例としてドコモを取り上げると、2003年度上期の携帯電話・PHSの回収数は422万台であり、この数値は前年同期の約80%となっています。回収率が下がってきている理由としては、2つ大きなポイントがあると思うのですが、まず、先ほど説明したように写メールやiモードなどでダウンロードしたデータをそのまま手元に残しておきたいという人がいるということがあります。また、iアプリなどでアプリケーションをダウンロードして使用済みの携帯電話をゲームボーイのようにゲーム専用のものにする人がいます。

2点目のポイントは「一人複数端末」です。これは、例えば現在ドコモから出ているFOMAがそうです。携帯電話そのものに取り外し可能なチップが入っておりそこに住所録といった個人情報が入っており、新たな端末を買った際にもチップさえ入れかえれば使えます。私達が考慮した要因は主にこれらの2つだけですが、使わなくなった端末をわざわざ戻す必要がないという状況は今後も続き、回収されずに社会に出回る携帯電話の数はこれからも増え続けると考えられます。

②法的課題

次に廃棄物を取り巻く法律について見ていきます。現在ですと、キャリアーから非鉄金属メーカーへ売買される際には、携帯電話はごみではなく1トンあたり約15万円という値段で売られる有価物ですが、携帯電話の構成物が変わったり希少金属の市場価値が変わると15万円という価値が下がる可能性があります。その場合、コストとの兼ね合いから携帯電話は廃棄物として扱われ、現行の法律だと携帯電話は産業廃棄物の処理の許可をとることが求められます。その際に何がまずいのかというと、「産業廃棄物」とみなされた携帯電話は手で扱うことが認められず、破碎や炉に加えるという方法をとるにしても異なった許可をとることが求められという点です。このように、「手による解体」が許されないと、廃棄物発生を抑制するために有効なリサイクルは対応できません。

携帯電話は今資源ですが、廃棄物との境目をさまよう恐れもあります。再資源化処理と廃棄物処理という 2 つの法律の適用のすみわけにおいてはこんな課題もあることが分かります。*3

③コストの増加

課題 3 ; コストの増加

1057万台回収・・・コスト約17億円



回収率が100%近くになった場合



企業負担増



現システムではインセンティブなし

課題3つめのコストの増加ですが、例えば去年のドコモの資料によれば携帯電話の回収などに17億円かかっているそうです。これは非鉄金属メーカーに廃棄携帯電話を売った後でも赤字になる数字です。37%の回収率でこれだけコストがかかっていますから、これから回収率を上げたとしたら、上げれば上げるほどキャリアーにとっての負担は増します。確かにキャリアーが「私達は環境問題に無関心ではありませんよ」という姿勢を消費者にアピールすることができるかもしれませんが、ここまでのコストをかけてキャリアーが回収率を上げるかどうかは各キャリアーが判断することになります。すると、今の状態では大きなコストを払ってでも回収率を上げようというインセンティブが働きにくく、現状のまま特に回収率が上がらなくても構わないという結論をキャリアーが持つ可能性があると思います。

④バーゼル条約

4つ目のこれは課題ではないのですが、参考とするために見てみます。バーゼル条約自体はOECD及び国連環境計画（UNEP）で検討が行われた後、1989年に結ばれたもので、「有害

廃棄物の国境を越える移動についての環境上適正な管理に関しての「取り決め」に関するものです。これは平たく言えばごみを他の国に輸出してはいけない、といった内容ですが、2002年12月に議題以外の事項（サイド・イベント）として、「携帯電話に関するパートナーシップ」が結ばれました。これは、松下、ソニー、NEC、セイコーエプソンなどの携帯製造メーカー10社と条約事務局及びUNEPの主導で、使用済み携帯電話の回収と再利用を検討していくプログラムです。

さて、この条約を踏まえて、日本が携帯電話のリサイクルにもっと力を入れるべきだ、という理由としては他にも、日本が携帯電話のリサイクルシステムをひとつ提示できるということがあります。

この条約も、携帯電話が深刻な問題になるから今のうちに取り決めを決めておこうというよりは「世界中の携帯電話は、3億8千万台使用されているが、重金属など有害廃棄物は40トンに過ぎず、危険な状態にあることから取り組むというより、便益普及とリスク管理を先駆的に進めるためのもの。」とあります。

つまり、私はここまで携帯電話のリサイクルについてしゃべってきましたが、重要な点は、日本における環境負荷の低減のみではなくて、もちろんそれもありますが、使用済み携帯電話のリサイクルを進めることによって日本が循環型社会へ移行する意思を十分に持ち合わせているということを国の内にも、外にも示すことができるという点です。実際、世界の中に携帯電話のリサイクルを法的に整備した国はまだないということもあります。もちろん、循環型社会そのものが果たして日本の目指すべきものなのかという点についての議論は重要ですし、循環型社会への移行にもコストがかかります。ただ、中途半端に終わらすのではなくて循環型社会に移行する意思があるのであれば、環境負荷を低減するという点と合わせて日本が携帯電話の回収に取り組む理由には十分なと考えます。

4.3. より良いシステムの構築

課題を4点ほど考えてきましたが、次にどのような改善すればいいのか、どのように改善すればいいのかという点に移りたいと思います。その際に私達が考えたのが、

- ①いかにして回収率を上げるか
 - ②コスト増加を誰がどのようにまかなうのか
- ということです。

①いかにして回収率を上げるか

一点目に関して、いかに回収率を上げるか、ということですが、これにはデポジットという方法があります。デポジット制度とは、皆さんも知っているかと思いますが正確には **Deposit Refund System** といい、製品本来の価格にデポジット（預託金）を上乗せして販売し、所定の場所に戻された際に預り金を返却することにより、回収率を上げようというものです。実際に社会で成立しているデポジット制度としては、例えばビール瓶がありま

す。ビール瓶はデポジット制度を利用して、その回収率は非常に高く、実際に循環しています。ビール瓶のデポジット制度は法律では義務化されていないのですが、メーカーにとっては回収した瓶を利用したことによって新たな瓶を作らなくて済み、その結果として、コストを大幅に抑えられるというインセンティブがメーカーには働くために企業も制度が成り立たせようという意識が働いているからです。しかし、使用済みの携帯電話から新たな携帯電話を作るわけではないし、導入に関しては大きなインセンティブが生じるわけではないためにキャリアには直接のメリットがなく、キャリアの自主努力に委ねられているのが現状です。

②その際のコスト増加を誰がどのようにまかなうのか

2点目の処理費用をどのようにまかなうのかという点ですが、私達は消費者による前払いと後払いの二通りに絞って考えました。結論から言いますと、前払いのほうがいいのではありませんか、ということになりました。なぜ携帯電話に前払いを適用したほうが好ましいのかというと、不要な携帯電話が不燃ごみに出された場合も各消費者が負担を負うことができるからです。後払いですと家電リサイクル法などが例としてあるのですが、正式なルートを通らずに廃棄されると処理費用を回収することができません。

また、現在既に出回っている携帯電話の処理費用に関しては各端末の所有者を特定することが可能ですから、処理費用の回収をすることができます。

4.4. 使用済み携帯電話についてまとめ

携帯電話のリサイクルは、主に次の3点の意義があります。

まず、携帯電話から貴金属を回収することが可能だということです。これには地球上の資源を有効活用するという意味もありますが、他に、金属が量的には恵まれていない日本でも金属の循環量を増やすことによって先ほどあったコンゴなどの政情の不安定な国への依存度を減らし、安定した日本の経済、社会を作り出すために意味があると考えられます。

また、日本が循環型社会に移行するつもりであるならば、その意思を示すのに良い機会ではないでしょうか。その際に、キャリアのみに負担を求めるのは難しく、私達消費者も負担するべきではないか、そしてその際には行政の支援も必要であると思います。携帯電話の再資源化のように民間が積極的に関わりにくい問題にこそ、行政は関与する必要があるのではないかと考えるからです。新たなテクノロジーとしての携帯電話がきちんと環境問題との関係性をもったものとして捉えられ、循環型社会の構築に向けた支援が必要だということです。

5. 発表のまとめ

それでは、もう時間ぎりぎりになってしまったんですけども、最後にもう10分弱くらいでここまでの発表の位置づけについて私たちなりの考えというのをもう一度まとめておき

たいと思います。

始めは「モノと環境」という視点から携帯電話というモノに注目して出発をして、リサイクルについていろいろ考え、どのようにしたらいいかということについて視点が行きました。結果として、今までのリサイクルにどういった課題があって、どういった対策がある、ということはずっと話していたと思うんですが、発表直前になってメンバーの意識としてモヤモヤしたものがありませんでした。言葉にしてみると、「リサイクルとかそういったところに視野が限られてずっとそっちのほうを見てここまで来てしまったんだけど、それだけじゃあ不十分だよな」ということを強く意識した、ということでしょうか。

そこで、循環型社会についてと、携帯電話の機能による環境負荷についての二点、リサイクルに限らず私たちが感じたことをここで説明して終わりたいと思います。

～循環型社会を問う～

まず端末を安く買えるという点でインセンティブモデルの説明があったと思うんですけども、もう一度簡単に説明します。今、1円とか何千円といった値段で携帯電話がたくさん売られていると思うんですけども、原価は3～5万円もするものです。そういったものを私たちが安く買えるのはどうしてかということ、携帯電話が普及していない状況ではキャリアが加入者数を増やすために携帯電話を買うという初期投資にかかるコストを下げ、通話料や通信料に上乗せしてあとから回収するからです。加入者が増えればそれだけキャリアの収入は増えるわけですから、私たちは最初のきっかけ、端末を買うということに対するお金を割り引いてもらっている分、あとあとずっとキャリアにお金を支払うことによって販売店だったりメーカーだったりにお金を渡しているんだ、ということがあります。新規加入者は減ってきているという話は最初にあったと思いますが、それでもまだインセンティブモデルが存在して消費が行われている構造は私たちが端末を安く買い換えられる現実からも分かりますし、消費の流れを後押ししていると言えると思います。

発表ではリサイクルということに目がいったんですが、そのまえにリデュース、リユースが重要であることを考えれば、廃棄されるモノの回収率をどうやって上げてどんなリサイクルが一番いいのか、というところばかりではなくて、携帯電話端末が故障して要らなくなったら修理するのではなくて買い替えてどんどん消費している現実に目をやる必要があるわけです。買い替えが進むと結果として大量のモノがでると思うのですが、そういう中で仮に回収率が100%になったとしても、それは循環型社会とは言えるかもしれませんが、大量生産大量消費ということに変わりはないわけで、そういう意味で問題は依然残るんじゃないか、とそういう風に考えました。

インセンティブがないと、製造する原価としての値段がかかります。韓国などではインセンティブモデルをやめているのですけれども、その場合、直接お金を消費者から取らなければいけないので、7万円の携帯電話といったものが実際に売られています。そうすると消費者に対しては長く使おうという動機付けになるので、モノのリサイクルという点ばかり

ではなくて、こういったところも見なければいけない。だから循環すればいい、出たものを戻せばいい、ということだけに注目するのではいけない、という問題意識をこれまで発表の準備をしてる中で感じるようになりました。

そして、こういった点については来週講義していただく梶山先生のお話にもつながっていくことだろうと思います。

以上、拙い発表でしたがご静聴有り難うございました。

6. 丸山先生よりコメント

三四郎の皆さん、短い間にたくさん調べて立派な発表をしていただいて有り難うございました。そして皆さんも最後までお付き合いいただいて有り難うございました。

もう結論は学生の諸君が喋っちゃいましたので付け加えることはほとんど何もないです。聞いていて面白かったのは、リサイクルだけにこだわると他が見えない、むしろリサイクルにこだわって調べた結果、その他のところに大きな問題がある、と発見できたということがこの調査の一番の眼目だったんじゃないかと思います。

携帯電話を廃棄物というよりも資源の塊とみなして貴金属を取り出す、というところなどとても面白かったですね。でも、もうちょっと貴金属市場の今後の動きと連動させてみると良かったかと思います。本当に携帯電話はごみになっちゃうのか、貴金属の価格は下がっちゃうのだろうか、というところが今日の発表ではよくわからなかった。発表の前半と後半でちょっとギャップがあって、後半部分は貴金属価格が落ちるということを前提として、携帯電話を1トン15万円で買ってくれなくなったらどうなるか、という前提で話をしていたけれども、もしかしたら40万45万と上がっていくかもしれないので、そういった市場の動きなども含めればなお良かったんじゃないかと思います。

それから、最後にリースという「L」という考え方も含めるとよいと思いました。

=====

*1：電気通信事業者協会

*2：「携帯電話のリサイクル促進に対する行政の役割について」住尾健太郎(PDF:79KB)

*3：「使用済み携帯電話のリサイクル」"経済 Trend" 2003年4月

参考資料他多数

3 編集後記

環境問題の大きな特徴の一つは、さまざまな既存の学問分野を横断したアプローチや取り組みが求められる、という点でしょう。そのため、今回の「環境の世紀XII」でも工学、農学、社会学をはじめとしたさまざまな学問分野の先生方だけでなく、企業や行政の立場から環境問題に取り組む方々を講師に迎えています。

しかし、環境問題そのものが非常に多岐に渡るうえ、それに対するアプローチや取り組み方も多種多様であり、とても13回の講義では扱いきれません。この講義を受講した皆さんが、13回の講義に満足することなく主体的に学んでいくことが要求されていると言えるでしょう。

幸い、過去の「環境の世紀」11年の歴史のなかで、多くの優れた先生方が興味深い講義をしてくださり、その際の講義録の多くが残されています。この「環境の世紀講義録集 vol.2」は、そのなかから特に興味深かった講義のうち、「環境の世紀XII」で扱いたくても扱えなかった視点を取り上げているものです。(vol.2とあるのは、一昨年「環境の世紀X」において「環境の世紀講義録集」が配布されたためです。)この講義録集が、受講生の皆さんが「環境学」を学ぶ上での一助になれば幸いです。

なお、ここに収録した講義録以外にも、過去に講義をしてくださった先生方のご好意により、当サークルのホームページ上 (<http://www.sanshiro.ne.jp/reference/index.htm>) に過去の講義録が公開され、誰でも閲覧可能な状態にあります。ぜひこちらもご参照ください。

最後に、この講義録集を作成するに当たって多くの方のお力添えをいただきました。今回講義録の掲載を快く許可して下さった先生方をはじめ、これまでに環境の世紀に出講し興味深い講義をしていただいた先生方、過去に責任教官を務めて下さった高野穆一郎先生、岸野洋久先生、石弘之先生、この講義録集とともに作成し、ふがない私を支えてくれた環境三四郎のメンバー、そして労を惜しまず最後まで協力して下さった責任教官の丸山真人先生、後藤則行先生に、心から感謝の意を表します

2005年3月

環境三四郎「環境の世紀」講義録集編集担当 田中序生