

「資源と人間とリサイクル」

前田 正史 (東京大学生産技術研究所人間・社会大部門 教授)

前田でございます。少し自己紹介をしようかと思いますが、私、昭和51年に工学部を卒業しまして、その後、5年間、博士まで行きました。ずっと工学部におりまして、実は生研に来たのが、学位をとるときの副査に、こちらの館教授に入っていただきましたので、その関係で初めて来ました。そのときにちょうど壁を塗り直してまして、きれいになるのだなと思ったのですが、その3年後にここに就職してきたときに、また塗っていたので、やっぱりぐあい悪かったのかなと思ったのですが。

就職しましたのが、今から16年前、84年にこちらに参りました。もう時効だと思うのですが、本当はこんなに長い間ここに居るつもりは実はありませんでしたが、16年間こちらでお世話になりました。

任官した瞬間に、「建築計画調査室」というのがございまして、何をするとおかわからないのですが、新人の若い助教授はだいたいそこにほおこまれてまして、当時、原広司先生がまだ現役の、たしか助教授でいらしたのではないかと思うのですが、おられまして、以来、今に至るまで、ここから駒場の移転(当時は六本木での建て替えだったのですが)のお世話をする事になりました。奇しくも最後の六本木における講演会になるのではないかと思います。そこに私が立っているのも何かのご縁かもしれません。つまり計画が始まったときに一番若い教官の一人であった人間が、ここでこういった形でお話する、なかなか感慨深いものがございます。

それから、もう一つは生駒先生が私の前座を務めると先ほどおっしゃったのですが、それは冗談でございまして、私はむしろ順番逆だったのですが、たぶん3部と4部の順番なんです。実は3部と4部、1部と2部、5部というのも消滅いたしました。これは所長のほうからご説明あったかもしれませんが、大部門制という方向に動きまして、かつてございました、私は鉄鋼製錬工学部門というところにおったのですが、その部門名はめでたく消滅いたしました。したがって、第1部、第2部、第3部というものもなくなりましたので、今やそういう順番でやる理由もなかつ

たのですが、相変わらず、ここの運営はしばらくそういうふうにするということでごございまして、そういうふうにお話しております。

私は実は「人間社会」というグループに入っておりまして、やっている仕事は物質なんです。人間と社会ということでございます。それで、「資源と人間とリサイクル」という題を付けたのは、ややそれも意識して付けさせていただきました。

もう一つこの研究所で資源を名乗る人間はおそらく私だけでございまして、工学部に対応する学科が、大方研究室があるのですが、資源だけはここにないということもありまして、私これを名乗ることに異を唱える方は誰もおりませんので、金属資源工学というのを専門分野にしております。

今日のお話は、そういう意味では生駒先生のお話も生研で初めてかもしれませんが、お話しする内容も、おそらくあまりないお話だろうと思っておりますので、退屈されるかもしれませんが、しばらくお耳を貸していただきたいと思っております。

(OHP)

今日のお話は、やや羊頭狗肉かもしれませんが、最初に真理——真理というのは、事実とは何なのかということ。それから、本当の事実なんてあるのかなという私自身の疑問です。あとは時間の概念、ちょっと大げさですが、たいしたことありません。

それから、元素の性質について次にお話ししまして、リサイクルということはおっしゃられるのですが、じゃあいったい皆さんがおっしゃっているリサイクル、我々が言っていることは何なのかということをお話したいと思います。

それから、そういう資源を留保しなければいけないという、いわゆるローマクラブ的というか、“成長の限界”的表現があるのですが、これの難しい点を次にあげまして、なぜ私たちが言う、あるいはお役人がいっている、各スキームが動かないのか、なぜうまくいかないのかというのは

ほとんど経済合理性ですので、その点について少し話を進めます。

最後に、我々が製造できるものの限界について少し言及します。やや私の分野としては異質な話になるかもしれませんが、時間が足りないと途中で終わってしまうかもしれませんが、そんなことでお許しいただきたいと思います。

(OHP)

まず、「ラプラス的決定論」という大げさな題目をつけてあるのですが、例えば、古典力学の世界というのは、ニュートン方程式を立てて解けば、運動方程式を完全に導き出せる。つまり初期条件さえ与えてやれば、あとのことは全部記述できるということ。したがって、必ず、立てた数学モデルの結果と現実の結果の差は、合っているか合っていないか、すごくわかりやすいわけです。さすがに我々でもエラーの範囲で振り子の周期ぐらいは簡単に決まるんです。

実際の現象はそれほど単純ではありません。実際というのは、我々が実際に行っている研究を対象にしているものについては必ずしもそうではない。決定論的なものというのはほとんどありません。例えば先ほど私、オーバーヘッドのスイッチを入れたのですが、入れて、ついたのは偶然かもしれないわけです。だけど我々は、例えばテレビだと、スイッチを入れたらテレビがつくというのがニュートンの方程式のように、押したらつくというのが習慣になっているものですから、これは決定論的に扱っているのですが、それがそうでないことは、この間のJCOの事件で明らかであります。ですから、どこまで我々が期待した現象が起こるか保証されているということはないわけです。

(OHP)

今申し上げた、決定論的な話というのは、古典的な力学の取り扱いでありまして、これはご専門の方にはばかばかしい話ですが、例えばこれはサッカーボールですが、実は地球のつもりなんです、ある時間ここに置いてあったものを、こっち向きにボンと下に打ちつけまして、運動エネルギーが全部保存されたとして完全弾性で戻れば、この位置に戻ります。これは写真に撮りまして前後とやってみると、引っ繰り返しても全く同じ形にしか見えません。もちろん現実に見れば違うエネルギーロスがありますが、それは実は時間の向きなんです、これは非常にわかりにくいわけです。一見時間の劣化といいますか、物事の劣化というのは見えません。これがいわゆる決定論的な世界、ケプラーがこれで悩んだわけです。

(OHP)

では現実の世界というのはどうなのかというと、こんなのがありまして、こちらは私です。6歳か5歳か幼稚園。これは私の豚児ですが、二人とも今は大学生ですが、この二つの写真は一見似てるというか、染色体が同じですから

かなり似ているのですが、これは明らかに違うわけです。つまりさっきの地球がぼんと跳ねたという機械的な運動と、人間の行っている生活が全く違う、これは明らかです。なぜ明らかかという、顔を見ていても、多少育ちのいい悪いあるかもしれませんが、まず服装が違います。靴を見ていただくと、当時、そんなに悪い靴ではないですが、履いておりますが、こっちの靴のほうがカッコいい。この板塀は、昭和31、32年だと思います。こちらは1980年代の外国ですが、これぐらい周りが変わるといって時間とは違っているということは、現実起こっている事象というのはこれではっきりわかる。

(OHP)

こういう写真で見ると、ややわかりにくいのですが、実際に我々が時間の向きというものをどういうふう認識しているかといいますと、非常に簡単なんです、例えば温度TA、TB、こっちが例えば高いとして100°C、こっちが50°Cとします。最初、こうやって玉が2つ分かれていて、金属の玉ですが、それをくっつけたとします。そうしますと、いつの間にか温度としてはAとBの間のTMになっているということは皆さん経験的に知っています。こちらからこちらには行かないということも知っています。したがって時間というのはこちらからこちらに流れたということをお我々知っているわけです。決してこの時間の流れは元に戻せない。これをプリコジンは「時の矢」という言い方をしますが、細かいことはともかくとして、我々が検知しているのは、では何なのかというと温度であります。ここを触って熱いとか低いとか言っているわけです。温度のみ、実は温度ではなくてヒートフラックス、その物体と我々の体の間の行き交うヒートフラックスの偏差を我々の皮膚の細胞は検知しているわけです。ですからいったい我々が時間を何で検知しているのかというと、実はこんなところで見ているということになります。

(OHP)

さて、世の中起こっていることは、そういう意味で決定論的なものは全くないといってもいいわけです。そうしますと、これらをどういうふうに取り扱わなければいけないかといいますと、確率論的と言えはカッコいいのですが、昨今の金融の商品でデリバティブと称するものがありますが、あれは確率微分方程式を立てまして、ある種の条件を与えてやると、少なくともその初期条件で与えられた中では最適なプロフィットがでる。だけどそれをみんなが使えば、それはそうはならない。そこにまた時間の関数が入ってくるのですが、それがいわゆる確率ということなんです。

ところが、その確率と我々が言っている言葉というのは何なのか。確率を定義するためにはすべての事象を我々の手の中に持っていないといけないのですが、そんなことはないんです。つまりあり得ないわけです。我々は神ではあ

りませんので、森首相みたいなことはないのですが、すべての事象を我々は知る得ることはないわけで、少なくとも私たちが見ている断面のある面しか知らない。ということは、我々が言っている確率というのは、そもそもかなり自分勝手な確率であって、主観的なものであるということになります。

(OHP)

私の駒場時代の同級生で楠岡というのが、今数理科学研究科の教授をやっている確率論をやっていますが、これは彼に聞いた受け売りですので、あまり質問されてもわからないのですが、実は確率論で言う確率という言葉はどうしたかという、これはコロモゴルフの「棚上げ論」というのがあるのだそうで、これも 20 年くらい前だそうですが、確率をどうも定義できないというので、ある公理系を与えて、それを満足したものを確率と呼ぶ。こんな自分勝手なものでいいわけです。つまり自分がこれを確率だとあらかじめ決めておいて、それを満足したら確率と呼べばいい。ただし、ここで大事なことは、自分で最初に定義しておくということ。その定義が明解になっていればそれでいいということです。ただし、自分が扱っているモデルにおいて、確率を自分がどういうふうに定義したのかを知っていない限り何の意味もない理論になるわけです。

これと資源とリサイクルと何の関係があるのかと思われられるかもしれませんが、もうしばらく我慢してください。

(OHP)

大数の法則というのは、ある事象があって、それをたくさん繰り返すと、ある統一的な調和的な頻度でそれが表れるというのですが、これが証明されたのがわりと最近だということに私は驚いています。それは、あるシステムの中に確率が調和的に内在するということを言っているわけですが、それを証明できなかった。仮にこれがあつたとすると、実際に起こる事象というのは、それが事象の頻度に転化します。確率は頻度ではありませんので、確率に総事象数を掛けて初めて頻度になっていく。確率の源泉というのは、実は自然現象が、我々が想定しているある頻度にして、それが見えないので、あたかもそれが成立しているかのように感じるわけです。

しかし、これはあくまで我々が自然の環境の中で自然の現象を見るということについてのみ成り立つことであつて、例えば我々が検知できない臭いのない物質、例えばダイオキシン、あるいは放射線、こういったものが表れたときは、我々が自然をベースにつくりあげてきた生命体としての検知能力を超えたものですから、これは別のサイエンスを用意しなければいけないということになります。

(OHP)

そこで、先ほどの講義のマスコミの話になりますが、ただ私はやや違う言い方をします。そういう確率的な事象を

扱っている。つまり自分たちが見ている現象そのものが、信じるべきものなのかどうなのかというのがわからないところで我々生きているということがあつたとしたら、少なくとも見たもの、感じたものを正確にそこに記述して、データを共有しないと、非常に間違つた結論を出し兼ねませんが、残念ながら少なくとも一部のマスメディアは、ある意味では非常に細かいキーワードについて“病理学的方法”——これはうちの総長がかつて言った表現です——がありまして、それに対して実際に、我々もそういうマスコミュニケーション、ペーパーメディアもあるし、ベイパーメディアもあります。そういったものの議論に巻き込まれてしまつて、本質を見失う方向にいってしまう。今回は、ポリティックスは触らないとしても、サイエンスメディアとしても、実際に抑制した客観的な姿勢をもつ必要があるのですが、必ずしもそうではない。この件については私が初めて言っているわけではありませんが、たくさんのお著者が過去にございます。

(OHP)

しかし具体的な問題例としては、例えばごく最近ですと、病院における数々の医療行為のミスがあります。これは恐らくここにいらっしゃるメーカーの方が医療現場に立てば、誰がどう見たって、今までミスがなかったのが不思議だと思うぐらいの生産管理体制であります。これは病院の方々はそのすごい努力はされているのですが、与えられた時間とお金の範囲ではそれも成し得ない。何が問題なのかというと、別のところですよ。つまり生産現場であれば、生産物のコスト、製造にかかるコストと、製品のバリュー、そういうのはかりがあるのですが、医療現場はそれがありません。つまり、値段はサービスと比例してないわけです。そこに非常に大きな問題があるのですが、そういう取り扱いを我々がメディアから知り得るかということ、もちろんそういう報道もありますが、必ずしもそういう報道ではない。やや看護婦のミスである、あるいは医師のミスであると。

今日の朝日か日経には、NASA が、ミスを犯した人間を免責することで正確な情報を得る努力をしているという話が出ていましたが、あれも私は一つの行き方だろうと思うんです。そういう努力をしないとイケない。

ダイオキシンにつきましてはもっと切実な問題があつて、久米宏の TV における発言もありましたが、極めて乏しい知識の下に、極めて限られた情報と時間で内容を過度に——と書いていいでしょう、あの場合は——表現して人心を惑わしたという意味ではかなり罪深いものがあります。これはこういう席ですからあれですが、ダイオキシンの毒性は確かに高いです。急性毒もかなり高いものがありますが、やはりピコグラム、ナノグラムオーダーのものになりますと、今度は言っている数値そのものの信頼性に

いては大きな疑問が残るわけです。そういうことを指摘せずにその数値だけ、例えば0.1ナノグラムとか、その後ろにマイ立米とつくのですが、1立米のガスあたりに0.1ナノグラムという数値にどれほどの物理的な、あるいは生物学的な意味があるのかということ、これはさほどないわけです。ところが生産現場へ行きますと、今度は0.1ナノをどうクリアするかということで、その0.01刻みでまた努力が始まる。分析精度もじゃあそこまであるのかということ、やや苦しいものがあるわけです。そういったことをきちんと科学的知見をベースにやらないといけませんが、必ずしもそれも用意されていない。用意できなければできないでいいと思うんです。用意できてないということを報道していただかないと、あまりフェアなことにならない。

ちょっと古くなりますが、もんじゅの件です。これもナトリウムが漏れた。そこまではいい。それを隠した。誰が隠したか。結局報道は、すべてもんじゅの事故を隠した、ビデオを隠した作業員の体制について話がいってしまっていて、じゃあ日本のエネルギー政策をどう考えるかという議論はどこにもこの時もなかった。それはなぜなかったのかということ、恐らくこれは我々にも責任がある。我々というのは大学の人間。エネルギーの新しい定義の仕方といえますか、コストベネフィットといえますかリスクベネフィットといえますかそういったものについてきちんと我々も提言してこなかった。少なくともマスメディアに対して我々はそういう努力をしてこなかったという意味で責任は重いと思えますが、結果的に恐らく損をするのは税金を払っている国民だろうと思えます。

昭和の23年だか4年だかに、現在の我々が持っている原子力発電のスキームをつくりあげたわけです。原爆投下されてからたかだか4年しかたっていない。そのときに原子力の平和利用ということで、すでに計画を立てたわけですから、今現在我々は何をやらなければいけないか、原子力をとらないならとらないという選択をして、より厳しい化石燃料の抑制なり、あるいは税制なり考えなければいけないのですが、そういった話はどこにもない、こういう状況にあるということ。批判はやさしいのですが、これをポジティブに、じゃあどうするのだということになります。じゃあどうするのか、私が答えられるかということ、そうではありません。元素の話に戻します。少しリアルな話にいかないと、あまり荒唐無稽な話ばかりしていますと、眠くなるかもしれないので。

(OHP)

これは宇宙の元素の存在量です。例えば、枯渇性元素という言い方をよくします。例えばニッケルというのはすぐなくなってしまうから大事であると。ところが、宇宙空間を見れば、例えばニッケルはこれぐらいありまして、そんなに量的には少なくない。チタンやアルミなんかもそんな

に変わらない。むしろ少ないのは金や銀であります。

これは宇宙の元素。縦軸が存在度の大数、LOGです。水素が一番多いのですが、それ以外は、●は偶数、○は奇数なんですが、偶数元素のほうが安定なので、存在比が高いということになります。

それから、鉄より重い核子でいきますと鉄に全部変化して行くのですが、軽い核のほうはこっちへ一回核融合してからまた戻ってくる。鉄は極めて安定です。こういったレベルで考えますと、資源的な問題というのは元素についてあるわけがない。つまり元素のエLEMENTを全部分裂させて、エネルギーとしてくみ出すほど、我々は核エネルギーの始末はうまくありませんから、原子レベルでいったらリサイクルなんてことは考える必要がない。自然が勝手にやっているわけです。形は変わっているだけで。それは宇宙の話だから、地殻ではちょっと違うだろうといいますが、地殻で見たっていくらも変わりません。こういうアルミ、シリコン、鉄、チタン、たくさんありますし、この辺がやや不足しておりますが、これが形こそ変われ、なくなってしまいうわけではありません。

(OHP)

では何が問題なのかということ、ここは経済的に採掘し純物質として生産し得るかどうかで決まるわけです。

(OHP)

これまで人類が生産してきた、これは主に金属資源ですが、プロットしますと、鉄が一番多くて、縦軸、これは8億トン。毎年の生産量ですが、1840年からプロットしています。だいたいこんな量です。それから、アルミニウムが2000万トンぐらいです。ボーキサイトと書いてありますが、アルミ、トン当たり直ってます。銅が1000万トンぐらい。こういった量を毎年生産します。今年もあまりこれと変わりません。この横軸が年度なので、これを全部積分しますと、地表に我々がくみ出してきた元素としての鉄であり、アルミであり、銅であるわけです。これを全部リサイクルできれば恐らく間に合うはずなんですが、鉄はご承知のとおりさびますし、アルミもメタル・トゥ・メタルに必ずしも、今はだいたいできますが、難しいかもしれない。これがリサイクルの対象になります。鉛だけが少し横ばいになっているのが特徴的で、鉛はすでに新しくつくる量が限りなく減ってきているという証拠でございます。

(OHP)

元素には、我々人間が使ううえで幾つか特徴がございます。この辺実は、この前の所長の増子先生から教えていただいたことなんですが、横軸にクラーク数、地殻の存在量、縦軸に年間の生産量といたしますと、これがカルコフィルというやつです。カルコフィルというのは、銅と一緒にしてサルファイドをつくりやすい。四角がニッケルとか鉄とかもそうですが、シデロフィルというやつで、親鉄元

素と当時訳していましたが、鉄の仲間です。それから、○がリソフィル、石になりやすいといいますが、酸化物として極めて安定。それをじっとにらんでますと、それぞれ線の結べるような気がいたしまして結んだんです。これはゴールドシュミットによる分類がこれなんです、この線は増子先生にいただいた。

グループ1は、静的耐用年数は30年ぐらい、2というのは1000年ぐらい、3に至っては3万年ぐらいということですから、これも資源的・純資源的にいえば、例えば鉄の世界やアルミの世界だって、回収したりリサイクルしたりするのはナンセンスなんです。ですが、実はもう一つ言わなければいけないのは、クラーク数が少ないこの軸上を見ますと、アルミのラインよりはるかに銅のほうが生産量が多い。つまり存在量が少ないのに生産量が多いということは、これがいわゆる枯渇性の元素であって、だからこそこういう線を引きますと30年ぐらいということになります。それに歴史的に見ましても、人間はこれを大量に過去に使ってまいりました。

(OHP)

これは見ると、頭が痛くなる方もおられるかもしれませんが、縦軸に酸化物に含まれる酸素、1モル当たり換算した酸素の標準自由エネルギー変化をプロットしています。横軸に温度をとっています。これはどういう見方をするかというと、例えばこのシリコンでいいますと、この線より上の酸素ポテンシャルであれば酸化物があって、これより下ならばシリコンもある。つまり有体にいえば、ここに持ってくればシリコンになるし、ここへ持ってくればSiO₂になってしまいますよという、こういう線です。

いわゆる歴史的に古くから使ってきた銅、6000年の歴史があります。鉛、スズなんていうのも中国の歴史があります。こういったものはすべて1000℃以下に融点があって、あるいはその規模に融点があって、エネルギーで言いますと、実はカーボンとCOで平行する線より上にあります。つまり炭素で容易に還元できるものというのが我々人類が歴史的に使っていて便利にしてきた銅であり、亜鉛であり、スズであり、そういったものである。

(OHP)

こういった元素の特徴というのは知らないといけません、実際、現在でもスーダンで使われています。製錬装置といえば製錬装置です。ここに鉱石をもってまいりまして、これは土器だと思のですが、これは駱駝か動物の大腿骨、そこに皮を張りましてふいごにして、ここで還元する。この程度で還元できるものが、我々人間としては便利に使ってきて、歴史的にも大量に使われてきた元素ということになるわけです。

(OHP)

これを見ますと、結局はベースメタルとしては、銅が

6000年で年間の生産量が1000万トン。鉄は歴史は4000年。ただ4000年前は何をやっていたかといいますが、鉄はつくれません、隕鉄といまして、拾っていた時代です。それから、アルミニウムはたかだか100年、100年というのは商用生産で100年で、1800年ぐらいにナポレオンがすでに化学電池でつくったアルミニウムをボタンにしていたという記録がありますので、歴史的にはもうちょっと古いですが、コマーシャルとしては2000万トンぐらい。こっちは7億トンぐらい。クラーク数はこれだけ違ってきて、使うエネルギーもこれだけ違う。これが我々が考えなければいけないメタルとしては対象品ということになります。

これがバックグラウンドです。こういった元素を我々は地表にぶちまけているわけです。今、金属だけ言いましたが、これが何で金属だけなのかといいますが、実は、我々が使っているのは元素が、例えばアルミニウムと酸素が結びつきますとアルミナという酸化物になります。恐らくこのハロゲンランプもそうだと思うのですが、チューブにSi、シリコンと酸素が結びついた石英というものを使っております。つまりシリコンといっても、形は金属シリコンなのか、酸素が結びついた珪素なのか石英なのかということで違うだけでありまして、元素という点では同じです。したがって、今我々が要求されている先端技術はかなり高度な性能を要求します。構造的にも電気的にも。

(OHP)

そういったもののために、伝統金属元素というのは、鉄、銅、亜鉛、鉛、アルミ、そういったものですが、そういったものにレアメタル元素を添加したり、あるいはこういったものがそのままの形で、あるいは酸化物、あるいは有機金属に変えられて使われています。

例えばこの蛍光灯のランプの中には非常に複雑なレアアースの酸化物が入っています。レアメタルという言葉が役人が発明したのですが、レアメタルとレアアースメタルは違うもので、レアメタルは、今いった伝統的金属以外の金属全部レアメタルと呼んでいます。レアアースというのはそうではなくて、希土類です。ユーロピウムとか、そういったものをいっています。例えばカラーテレビのブラウン管の内側に使っている発光体なんかもそうです。こういったものは地上にある量も極めて少ない。こういったものを酸化物で使われています。

じゃありサイクルということ、そういったものすべてについて考えるのかといいますが、考えること自体がナンセンスであるということは明らかだと思います。それから、もしも将来資源の循環みたいなことを考えるのだとしたら、より複雑な高度な複合化というのは避けていかなければいけないということになります。私の同僚なんかは複合材料をやっていますので、やや難しい部分がありますが、

例えばFRP, これも一部そうかもしれません。よく新聞ネタで問題になるのはFRP製のお風呂の捨て場に困ると。極めて強度が高いのはいいのですが、壊そうと思っても壊れない。プラスチックにガラス繊維を混ぜてますから、有機化合物と酸化物の混合体、これは極めて価値の低い、燃してもアッシュが多いという非常に問題の多いものになります。漁船なんか問題になっています。ですからこういったものを今後どう考えていくのか。

同じ複合材料でも、例えばカーボン・カーボン・コンボジットならば、燃してしまえば少なくとも害はないわけです。

相変わらず実は伝統金属のことは考えざるをえません。なぜかといいますと、ハイテクの部品が増えていくと、実は伝統金属の使用量も増えてまいります。ほとんどリニアに増えていきます。むしろこちらのほうが量的には、当然ですが、多い量増えていきます。そうしますと、その製造工程におけるエミッションというのはかなり大きな問題になりまして、ハイテクが伸びると、ローテクのことを考えなくていいのかということ実は逆でありまして、ハイテク産業が伸びていくにつれて、むしろインパクトの大きい、こちら側を考えなければいけないということになります。

(OHP)

ただ残念ながら、この伝統金属について、大きな技術革新が望めるかということ、ご承知のとおり、鉄を例えば1億トンつくっている製法を、カーボン使わないで100%やれるかということ、全く答えはないわけです。

今、くどくどといろんなことを申し上げているのは、冒頭申し上げましたように、私たちが目にするいろんな情報が本当なのかどうか誰も知らないから、なるべく多面的な情報を我々としては手にしないといけなく、そういう意味の一つであります。

(OHP)

枯渇性資源という名前がついているメタル、例えば先ほどの銅であり、ニッケルであり、コバルト、こういったものについても、もしこれが必須の元素とすれば、例えばジェットエンジンの軸受けに使われていますニッケル系のスーパーアロイであります。これが本当にニッケル系のスーパーアロイでないといけなくのだとしたら、これはこの世界で十分循環していかないとはいけなく。現実にもそうっております。ジェットエンジンの部品についてはほとんど100%、リサイクルといいますか、カスケードリサイクルですが、されております。十分そうされていきますので、じゃあこのままでいいのかということになります。なかなかそうもいかない。なぜかということカネです。つまりカネになることはみんなやるのですが、そうでないことはやらない。

(OHP)

資源の問題というのは、かなり根が深く、1968年ローマクラブが日本語訳を大来佐武郎さんが書かれた『成長の限界』というのは1971年にダイヤモンド社から出版されました。この時私がたしか駒場に入ったか入らないかの年だったと思います。そのときから同じことが言われていまして、時間でいくと空間軸と言いますか、まず考えなければいけないのは、未来の子孫のために何かを考えなければいけない。今、現実の我々だったら、使い放題ガソリン使って、使い放題鉄も捨てて、アルミも回収なんかしないではばいばい捨てたほうが得なんです。それがそうではないと。今度は空間的にはどうなのかといいますと、ここで我々が冷房の効いた空間を使いながら、暑いといってうちわをはたき、はては熱発生のこういったものを使っている。

一方、例えばアフリカのスーダンでもいいし、飢餓の厳しいエチオピアでもいいですが、ああいった国では、およそ人間とは思えない生活を送っているという貧富の差、南北問題がなお一層激しくなっているという事実があります。多くの資源産出国は、南北問題という言い方でいえば南の国の問題である。こういう時間軸と空間軸が両方混じっているという難しさがあります。

(OHP)

もしリサイクルということ今のような条件を全部ひっくり返して考えなければいけないとしたら、やはり我々が知り得る情報を全部共有するというのが大事であると思います。一つの考え方はLCAということで、いろんな場所でいろんなデータがとられているようですが、あれにつきましても、先ほどの確率論の確率の定義ではないですが、必ずしもそのアルゴリズムといいますか、計算の精度についての十分なディスカッションはなされていないといえますか、なされるほどその分野にはお金をもらっていないと思います。恐らく国としてやらなければいけないとしたら、今後は材料設計をする際に指針となるような、その種のデータベースを提供していくということだろうと思います。

それから、もう一つの大事な概念は、リサイクルをもとのメタルに戻すということを善だとすることは全く当たっていないということは、ここにいらっしゃる皆さんはご承知だと思います。それをもう少し積極的に、カスケードのリサイクルということを進められるような材料設計、部品設計をしていくのが筋だろうと思います。

(OHP)

なぜかと申しますと、多くの製品(例えば自動車が代表的ですが)は一つずつ細かい部品でできております。その部品はさらに小さな小部品でできています。例えば自動車、自動車を動かすエンジン、エンジンの中のピストン、あるいはピストンリングですら表面と内面は違う材料であります。こういったものが混在・共存する。熱力学的にいえば、

フェーズ (相) として別のフェーズ (相) であるわけです。こういったものをどう組み合わせにすることが一番あとの回収にやりやすいのか、あるいはませて溶解してしまっても害がないものとあるものとあります。例えば鉄とアルミというのは非常に相性がいいものですから、鉄にいくらアルミが入っても問題はなりません。ところが鉄に銅が入ると大変厄介なことになります。銅にニッケルが入ると大変難しい問題が起こります。そうすると、例えば銅にニッケルをメッキした線というのは、ちょっと勘弁していただくという指針を出すとか、あるいは自動車には銅の巻線のモーターは、できれば避けていただくとか。これをいうと銅線メーカーに叱られますが、そういったいろんな配慮ができるかもしれません。だけど、そのインセンティブは、さてどこにあるのかといえますと、なかなか経済的なインセンティブを見つけるのが難しいのが状況です。

(OHP)

今申し上げたのはここに書いてあるとおりですが、使っているものは元素であり、その元素が結合したシリコンと酸素の SiO_2 であり、さらにそれらを混合した混合物であります。それをさらに複合化したような、そういったのを複雑に使っております。もしこれらの物質が循環するのだというのであれば、やはりいま申し上げたような最低限の考えるべきことがあるかもしれません。

例えば DVD プレーヤーというのが最近出回っていますが、小型のものですと、ボディはマグネシウム合金のように見受けました。これはアルミのリサイクル屋にとっては極めて危険な物質でありまして、アルミとマグネシウムは現場の労働者には区別はつきません。もちろん高級な分析器をもってくればわかることですが、そんな手法をかけるほどのお金ももらえないという問題があります。さらに、プラスチックと金属が複合した材料もございます。LSI というのは、ありとあらゆるエレメントが混合されたもので、これまた資源的に見ますとただのごみであります。等々、極めて多彩な部品がそこに入っておりまして、いかな家電リサイクル法ができたからといって、マスとしてこれをリサイクルさせていくことはほとんど不可能です。

(OHP)

そうしますと、何でもかんでもリサイクルするというものではありませんで、話のもとに戻るのですが、8億トン生産している鉄、2000万トンのアルミ、1300万トンの銅、クロム、ニッケルは鉄の添加物ですから外すにして、800万トンの亜鉛、600万トンの鉛、せいぜいメタルでいえば、これぐらいのことをリサイクルとしては考えればいいのであって、それ以上のことを一生懸命やるというのはナンセンス。という言い過ぎなんですけど、でも現在の経済合理性でいえば、そういうことになってしまいます。

(OHP)

「リサイクルにおける価値の逆転」というのがあるのですが、これは私の友人のスクラップ屋の経営者の方が私にくださったものですが、モノを生産する立場とは全く逆のいくつかの点がございます。まず稀少なものが価値が高いというのは普通の製品です。ところがスクラップの場合は逆でありまして、稀少なものは価値がない。アルミ缶1個ではただのごみ。しかし100万個、何万本もあれば、大きな資源になります。

それから、「加工度の低いものほど価値が高い」。鉄で言いますと、転炉で失敗したのがなべいっぱいというのが一番たぶん価値が高い。それを圧延して冷延鋼板にし、メッキを施して、樹脂をまぶした制振鋼板だったら最悪であります。

それから、「集荷と出荷のマーケット」。これも大きいです。例えばアルミで言いますと、必死にこちらで回収して、回収の人件費は日本の人件費を払い、必死につくったアルミニウムがトン20万以下で売れるわけです。これはアマゾンだろうがインドネシアだろうが極めて低減なエネルギーと人件費でつくったアルミニウム、つまりL2、ロンドンメタルエッセンジの値段と競争しなければいけない。極めて南北問題の逆がここにあります。これをすべて業界にほっといて任せていいか、あり得ないことです。これには政策的なインセンティブをつけていくなか問題は解決しようがないということになります。

(OHP)

すべてはカネ次第といってしまうえば実もふたもないのですが、少なくとも一つ大きなインセンティブになります。もちろんお金だけではありませんで、最近のある種の環境にやさしいといわれる製品についてはお客さんがつくそうですから、必ずしもそうではないと思いますが、そういう倫理をうまくエンカレッジするといえますか、前に進めていくためには、経済的インセンティブを定量的に与えていかないとはいけないと思います。その定量性を与えるのは、先ほど私元素の説明をいたしましたけど、全地球上にどれぐらい採掘可能なものがあって、どの程度のを我々が年間消費して、もし使い切ったらどれぐらい我慢しなければいけないのかということ定量的に我々が把握・承知しない限り、将来の見知らぬ子供のためにそれを頑張ろうという気にはならないと思います。

はっきり言って、究極の地球環境を言う人がいるとしたら、それは工業生産をすべて停止して農業でやればいいのですが、例えば日本の人口をキープしようと思えば、これは全く不可能でありまして、京都大学の高月先生の言葉によると、およそ6000万人が極めて適正な人口、8000万人だとぎりぎりかつがつやれるかということのようです。

もう一つ忘れてはいけないのは「人類の適正配置」。これはかなり危険な言葉なんですけど、こういったことをやれ

ば、つまりエネルギー多消費する人間がいなくなれば、それはそれなりによくなるわけです。

それから、リサイクルという行動・アクションをとるということは実は環境負荷行動になっているということが往々にして忘れられがちですが、これも今の経済合理性ならば善とされることでも、実際の環境負荷というときに本当にそれで正しいのかどうかはきちんと考えなければいけない。

(OHP)

これは今話題に出しました高月先生の漫画の一つですが、環境にやさしいという商品を大量につくれば、環境にやさしくないのは当たり前です。ここら辺の定量性、こういったことも非常に重要だろうと思います。

(OHP)

さて、こういった地球環境の条件を与えられてしまって、南北問題や国家の問題だということを我々市民レベルでどう言うのかというと、大変難しい問題があります。少なくとも私は大学に税金で、少なくとも給与をいただいて、何を発言しても、とりあえずはクビにならないという安定した身分をいただいていますから、少なくとも我々は問題点を指摘し、定量的な数値をパブリッシュして、つまり印刷して皆さんのお手元に出すというのは恐らく我々の仕事だろうと思います。ただ、そのとき重要なのは、我々は「何が我慢できて、何が我慢できない」のかということとどこかで割り切らないと、何もかもというわけにはいかないわけです。

(OHP)

例えば「生産物と消費物」これは区別はつかないのですが、消費するから生産しているのですから、左側のカラムにあるものは、恐らく生存のための最小限必要なもの。それは衣服であり暖房であり食料。断じて冷房ではございません。右側にあるものは、今現在、恐らく我が国で最も生産額の高いものであろうと想像します。わがせがれもほとんどのものは持っているのではないかと思います。が、これが本当に必要なのか。生存に必要なのかというと、そうではないわけです。しかし、これがなくていいと皆さんが受容できるのかというと、パチンコぐらい我慢できるかもしれませんが、それ以外はどうでしょうか。

(OHP)

実際、日本はまだかわいいほうでありまして、一番の資源多消費はアメリカであります。日本とヨーロッパ諸国はほぼ同じレベルで、先進 OECD 諸国では優等生だと思います。ただ、そうはいいながら、OECD 未加盟国に比べれば、やはり1桁近く高いエネルギー消費であることは間違いありませんので、それを考えますと、先進国の高付加価値、高コスト対策は、実は嗜好といったものにほとんど費やされている。ソニーの某社長がかつて、「わが社は人類

にどうしても必要なものは何一つつくっておりません」とおっしゃられたそうですが、全くそのとおりでありまして、ただ私はそれを否定しているのではありません。ただそういったものに価値を置く以上、別のものにもやはり価値をおかなければいけない。それは物質の流通といいたまうか、流れに対しても直接の生産活動に結びつかないものにも価値を与えていかないと、まわっていかないと、なぜかという、繰り返しになりますが、自然環境とは異なる境界条件に与えられている南北問題を含めたりサイクル資源の動きを変えるには、逆向きのコストベネフィットを与えない限り絶対動きません。何しろ天然資源のほうがローカライズしてあって安いわけです。一回人間が使ってぶちまけちゃったごみ箱を集めていたら、コストが高くなるのは当たり前なわけです。これをやれということであれば、やはり経済的なインセンティブは別につけなければいけないということになります。

(OHP)

あとはレジメに書いてありますので、省略してもいいのですが、先ほどの人口問題ともかかわり合うのですが、生産の限界というのがございます。成長の限界とひっかけたわけではないのですが、生産の限界というのは、我々食っていかないと生きていけないということです。当たり前だろうと言われるのですが、これには限界があるということを知らないといけません。うちの山本良一教授に言わせると、2016年が一つのターニングポイントだと言われておりますが、それはあと15年でありまして、少なくとも私が生きている間に食料危機は訪れるということですが、それはなぜなのか。工業生産はいくらでも増やせるのになぜ農業生産はだめなのか。当たり前なんです、農業生産をするためには日の当たる地べたがいるわけです。日の当たる地べたというのは、実は地球環境的な限界がありまして、例えば北極や南極で生産できるか、ノーであります。つまりジオグラフィカルな緯度を与えると、その生産能力は決まってしまうし、日光が当たる面積、土壌の面積を与えれば、もう農業生産なんて決まってしまう。土地も関数であって、農業技術の進歩なんて、せいぜいファクター10あるかないか。クワが発明されたときに10倍生産量伸びたそうですが、そんなものはもう何千年も前につくってしまいました。ここから先は望む余地はないわけでありまして。

(OHP)

それで、なおかつ忘れてはいけないのは、農業生産が止まったら、他の消費財生産は絶対にあり得ない。当たり前です。食うものないんですから。食うものない以上、労働者を食わせるわけにいかないのです、だめなんです。どこかで止まるとは思いますけれども、こういった農業生産の優先性というのはここにあることをやはり我々は忘れてはいけ

ない。

(OHP)

実は先ほど建築計画のお話しをしましたが、原先生とご一緒したときに、原先生は建築家なのですが、近代建築家なのに、ニューギニアとか、あまり都市化されてない街を随分まわられていたので、私不思議に思いました、なぜ先生はそういうところに行かれるのですかと聞きましたら、都市計画をするには、人間が一番素直に生きているところを見るのが一番いいと、それは彼の場合はニューギニアだった。ニューギニアでは、一番日の当たりのいいところには人間は住まない。そこには作物を植えます。なるほどと。なぜかという、人間に日当たりはいらぬ。必要なら畑に行けばいい。それはそうです。ところが、恐らく我が国だとどういうことになるかという、やっぱり日当たりのいいところに我々の家は建っているのではないのでしょうか。わが家もそうでありまして、かつていい畑だったところに建っておりますが、しょうがないですね。そういう事実は知らないといけない。

(OHP)

それに対して、さっきから問題にしています石油エネルギーにしても鉱物資源ですが、金属資源にしてもそうですが、これはどういうことかという、生産とってありますが、名ばかりでありまして、実は採取です。木の実を採るのと同じで、しかもその木の実には毎年なるものではなくて、大昔からずっと積み上げてきた木の実がそこにざっと並んでいるわけです。仕入れのない八百屋さんで採り放題採っているようなものでありまして、それはいつかはなくなるのは当たり前です。これはただけど、パワーショベルのバケットを2倍にすれば2倍とれるんです。ここは農業生産と違うところですよ。ですから、鉱業生産力が増やせるからといって、それに甘えていいのかという、決してそうではありません。

ここから先は話がやや荒唐的になるのですが、知り得ないものに対する我々の敵意というのは極めて高いものがあります。お互いに話したことの無い人間が、何か我々の悪口を言っていたとすると、猛烈な敵意が我々に生まれてきますが、会って話してみるとそうでもない。お酒なんか飲んじゃうと、全然仲好しになって、全然違うふうになる。これはよくあることでありまして、これはどんな世界でも同じです。である以上、これを十分意識したうえで今の資源問題、あるいは処理の問題について理解しないとけない。

(OHP)

この間四国の手島の産業廃棄物について、中坊さんの努力もあったのですが、周辺住民の理解が得られて、直島精練所で全量処理することになったそうです。あれは本当にエポックメイキングなことだろうと思います。住民と

粘り強く話した方々の努力は敬服に値すると思いますが、残念ながら自治体側の認識がまだ十分ではないように見受けられました。そこはちょっと残念ですが、いずれ変わってくるだろうと思います。まだ、いっぱいあるのですが、時間が来ましたので、最後のほうに戻りまして、一番最後に、「人間の視野の限界」というのを付けておきました。それはどういうことかと言いますと、こういった問題です。

(OHP)

これは実はローマクラブの「成長の限界」日本版からコピーしてきたものです。横軸縦軸ともに全く任意というか、いいかげんなプロットでありまして、縦軸には空間的な距離を示して、横軸には時間をプロットしてあります。この点の密度は好奇心だと思っています。「好奇心というのは愛情の一つの表現である」というのはうちの蓮見先生の難しい言葉の表現の一つなんです。これは私はすごく賛成します。つまり、まず相手に対する興味を持たないかぎり決して相手に対する愛情はわかないことだろうと思えますし、まず好奇心を持たない人間がそこにいるとしたら、その人間は恐らく他人を愛することはできないと思えます。ということは、我々がまず関心を持つか持たないかというのは非常に大きなポイントだと思います。例えば今この時点で、だれに、どういう興味を持つか、申し訳ないんだけど、私がルワンダの、あるいはボツアナで虐殺があった、あの後遺症を持ったあの子はどうしているかと思いをさせるかという、それはないです。今朝息子がぐずったれて風呂に入って怒ったとか、そういうのはよく覚えている。ですから近未来の家族のことは非常によく覚えている。あるいは関心がある。奥さんと喧嘩してきたとか、すごくよく覚えてますが、子供の生涯で、なおかつアフリカのどこかだということに興味をもてるほど我々の脳の“耐力”はないと思います。だからそれぞれの人間の個人に任せておいたのでは、とてもいま言った資源問題は解決できないということになります。しかも我々が承知している事実そのものは、事実であるかどうかすらわからない。

(OHP)

例えば資源埋蔵量だって、これもご承知の方は多いと思いますが、あれは推定値であります。ローマクラブが30年後になくなるというた亜鉛やニッケルはまだそこにあるのは事実でございます。これはなんなんだと。資源探知もよく覚えまして、生産技術も覚えましたが、アンノウンのファクターはたくさんあります。逆もあるかもしれません。

で、持続可能社会というのはあるのかと。これは究極的にはありません。これは言ったら実もふたもないのですが。太陽エネルギーと平衡するまで下げないかぎりそれはあり得ない。今のまま先進諸国がぜいたくしながらやれるのか、

これは不可能であります。

(OHP)

いま我々が言っている我儘は何なのかといいますと、我々が言っている持続可能社会というのはすごく虫のいいものでありまして、なるべく長く今まで、我々の快適性を保った、そういったものを持続したいといいますが、これは続きません。

(OHP)

続かないとしたらどうするのかということですが、これも地道に情報を、情報というのは我々がどれぐらいの資源を消費し、あと残りの資源をどれぐらい持っているかということを定量的にきちんと情報として出していく。それに対するコストベネフィットといいますか、それを必ず当たるといふこと。それからリスクのあるものについてはリスクをきちんと提示して、そのリスクを回避したものに対しては適正な利潤を与えるということがすごく大事だと思います。

ここに書きましたように、これまでは過去何千年と、私が今申し上げたようなことはどこの哲学書を見ても書いてあることだろうと思います。でも同じことを繰り返しています。これではいつまでたっても前へ進まないと思います。少なくとも大量の資源消費というのは、この現在数十年に、特に戦後日本においては、たかだか40年に起こったことです。まだまだやり得ることが多いと思います。

(OHP)

今後、どういうふうに私自身が勉強していくのか。税金もらっていますから、日本国民——ほかの国のことはとりあえずおいとしまして、とりあえずこの国の国民を何とか食べられるように、あるいはアメニティが少しでも長続きするように、ここは自分勝手にいいと思うんです。どこか

でバウンダリーを決めておかないと動きがとれません。世界人類のためというのは私はやらないことにしていますので、少なくとも国の中だけで考えますと、この3つぐらいが我々のテーマになっています。自然科学ではもうおさまりつかない。その原理原則はよくわかったと。今社会、あるいは我々人間との接点、だからこそ私どもの題のほうに「人間社会」と付けられましたので、こういう分野を今後考えていかないといけない。

それから、忘れられていますが、有害物をどう安定処分するかということ。これにいままで我々はあえて目をつぶってきました。高度成長の時代はそれで、コストも皆さん負担できたからよかったと思います。PCBの問題は今になってまた蒸し返されておりますが、4分の1が行方不明のが新聞に出ております。あれはその当時から言われていたことであって、単に目をつぶっているうちにどこかなくなるだろうと思っていた我々の責任であります。これをいかに安定化して処分するか。実は、技術は全然前に、カネミの事件のときにすでにPCBについては解決しています。ただ単に、合意形成というプロセスを我々がさぼってきた。つまり政治の不在と言えそうですが、それが大学の人間にとっても、あるいは官庁の人間にとっても避けて通ってきた。民間は非常にやりにくい分野ですから、これはむしろ我々がやらなければいけない部分だろうと思います。この点でも、先ほど手島の合意ができたということは、大変私にとっては感動した事実であります。話は非常にはしりましたので、雑駁になりましたけれども、これで私のお話は終わりにさせていただきます。どうもご清聴ありがとうございました。

—了—