

学 術 講 演

「ライフサイクルアセスメントで測る持続可能性」

安井 至 (東京大学生産技術研究所 教授)

きょうの話題といいますか題目は、「ライフサイクルアセスメントで測る持続可能性」です。「持続可能性」という言葉に関しては、21世紀になってみて、20世紀型の環境問題とは違って何が重要なのだといわれると、持続可能性という言葉以外にないのではないかというのが、われわれ環境屋の最近の理解でございます。

(スライド1)

いままで、20世紀型環境問題というのは、どちらかというと、環境が人間の健康に影響を与える、そういった観点だけで語ればだいたい事足りたという時代が長く続いてきました。1960年から90年ぐらいまでそうだったわけですが、後ほどご覧にいきますように、現状われわれ何が重要かという、むしろそれ以外の課題、例えば持続可能性というものを今後どういうふうにか考えるかであり、環境問題もだいたい雰囲気が変わってきたのではないかと考えております。

(スライド2)

持続型人類社会、持続可能性というのは、実際には地球全体といかに長期安定的な関係を目指すかということだと思わけます。しかし、われわれ人類というのはなかなかの深い生き物でございます、この地球上で一番頭数は多い哺乳類で、高等生物でございます。もっとも、重さからいいますと牛のほうが多いという説もあるのですが、頭数では一番多い。それはやはり地球というものに何らかの負荷をかけているということでございますので、人類から地球への負荷の低減、そういった形でこれからどのようなことができるかということになってくるかと思えます。

地球といいますとも2種類ありまして、一つは資源、地球というものの持っている地下資源のようなものでありますが、もう一つは地上資源、それは主として生態系と呼ばれるものですが、その生態系とも長期に安定的な関係をめざさなければいけないだろうと考えるわけでありまして。

そのほか、この間のテロ以来、人類社会内部の問題というのがけっこう長期安定性には利いてくるのだらうと考えられてきておりまして、われわれも少し視野を広げなければ

いけないなということでございます。

もともと持続可能性という言葉は、3種類の側面があるといわれておりまして、一つは環境的側面なんです、それ以外にも社会的側面——社会的側面といいますと、具体的には、犯罪率が高い社会はあまり持続可能性が高いとはいえないといったようなこと、経済的側面というのはそこで一番重要なのは、成長することよりは、むしろ雇用を確保していくといったことでございます。

われわれは、人類社会といいますとも、現時点ということだけでは考慮は十分ではありません、将来世代への十分な配慮をしながら——将来世代へ十分な配慮をしながらといいますと何をお感じになるかわかりませんが、ここで申し上げていることは、例えば資源・エネルギーなんかの話であります。こういうことを言いますと環境ホルモンがどうこうという話になりがちですが、実をいいますと環境ホルモンというのは、おそらく将来世代への懸念はないのかなと最近ちょっと考えている次第でございます。あと、テロの原因になるのかもしれませんが、不公正・不平等、そういったものの解消も重要だと思います。

もちろん、われわれがこれまで20世紀でやってきた人命への環境影響をいかに最小化するか、こういったスタンスは当然のことながらまだ続いてくるといことになりまして。

(スライド3)

さて問題は、長期安定的関係といいますか、長期というものとしてどのぐらいを考えるかという話であります。20世紀というのは比較的、どうもすぐ先しか見ていなかったようではありますが、21世紀になって、これから次の22世紀に行けばいいのかという問題であります。今どのぐらいのことを考えなければいけないかと問われると、今は500年ぐらいでどうだろうなんてことを言っております。

といいますのは、500年というのはいったいどのような意味があるのかといいますと、とくに大して意味はないのですが、人類の歴史はどのぐらいかといいますと、猿人から今のわれわれに至るまでの長い長い歴史を考えると

500 万年ほどあるのではないかとわれております。あとたった 1 万分の 1 延ばしてみようか、その程度の話でございます。

ホモサピエンスの歴史も、最近どうもよくわからないのですが、最近、分子考古学みたいな話になってきますと、どうやら十数万年 20 万年ぐらい、化石とかそういったものですと——このあいだ 7 万 7000 年前の何か装飾を施した石が出てきたという話がありますが、——まあ数万年の歴史があるとしたら、あと 100 分の 1 ぐらいは延ばしてみようじゃないかという話になるかと思えます。そこにわれわれは温暖化であるとか食糧供給危機とか、いろんなことを何とか克服をしながら健全性を上げていって、それで次の 500 年に向かって健全性を渡していく。

持続不可能ということになりますと、おそらくこういうところで何かおかしいことになって健全性が落ちていくわけですが、それはおそらく資源・エネルギー限界というものが決定的要因になるのではないかと今想像している次第であります。

(スライド 4)

資源・エネルギー限界に関しましては、今われわれがどういう生活をしているのかということが一つの重要な課題・問題でございまして、本来はわれわれは、今、人間社会があって、そこで製品を製造し利用しということをやっておるわけですが、そこはある種の熱機関みたいなものですので、当然のことながらある種の動力、駆動力というものが必要であります。その駆動力になるものとしてわれわれが一番頼りにできるものは太陽であるはずなんです。

といいますのは、太陽というのはあと、おそらく最低でも 1 億年やそこいらはもつ。実際には 10 億年もつかどうかといわれるといささか問題でありまして、太陽そのものはもつにしても地球と太陽との関係はかなり狂ってくるようございまして、10 億年後にはおそらく地球には二酸化炭素は存在しないだろうといわれておりまして、したがって植物なんかも存在しないだろうといわれているわけです。

それはそれとして、太陽というのが数億年レベルで頼りになるとするならば、太陽を本来頼りにすべきであるのですが、ご存じのようにあまり使ってはおりませんで、水力発電とか森林資源とかバイオマスエネルギーとか、そういったものは使えるだろう。そういうことですが、われわれとして地球という非常に小さな惑星上のエネルギー資源、金属資源等を使ってわれわれはいろいろなことをやり、その要らなくなった廃棄物は再び地球に戻していくという状況であります。

限りのある地球であるということになれば、当然のことながらこの入力、出力をしっかりと見張ろうではないか。少しでも入出力を少なくすることができれば、われわれは少

し地球との長期安定的関係をめざすことができるのではないかというのが、実をいいますとライフサイクル・アセスメントの一番根本的な思想であります。

(スライド 5)

したがいましてわれわれは、ある製品とかサービスを提供しながら経済活動をやっているわけですが、それが地球にどのぐらいインパクトを与えているか、要するに取ってくる側、出す側両方でありますが、入出力両方でのインパクトをどのくらい与えているのだろうかというものを総合的に評価をしながら人間活動を少し考えていこうというのがライフサイクル・アセスメントというものの本質だと考えます。

(スライド 6)

ライフサイクル・アセスメント、しばしば LCA と呼ばれますが、LCA の歴史はそんなに古いものではありません。そんなに新しいものでもございせんが、コカコーラが 1969 年に、例の中がくびれたガラスのボトルをアメリカというような地理的条件においてはどうやらアルミ缶に切り替えたほうが効果的ではないかということ、思いついて、そこで MRI という調査機関にガラスのビンをアルミに切り替えたらどうなるかエネルギー的に検討しろということだったようですが、これがライフサイクル・アセスメントの最初であろうといわれております。

その後 EPA (Environment Protect Agency)・環境保護局がエネルギー消費分析であるとか、それから SETAC、これはもともとは毒物学屋さん、トキシコロジーの連中ですが、そこがこういったことに関心を後々もつようになりまして、その後スイスの BUWAL であるとか、あるいはスウェーデンであるとか、いろいろなところで行なえるようになってきたということであります。

(スライド 7)

そのやり方・コンセプトは、まず製品をライフサイクルというものに分けるということからスタートします。まず原材料をどこか地球からとってくるでしょう。それから製品をつくるでしょう。その段階でもまた別の原材料・エネルギーなどが要るかもしれない。それから、使用段階、再利用段階、保守段階ということで使っているときでもいろいろとエネルギーは要りますし、たぶんこのプロジェクターなどは相当エネルギーを食っていると思いますが、そういうことでエネルギーも食うだろう。

製品を使い終わりますと、あとはリサイクル段階、廃棄段階にはいつて、それぞれの段階で地球から何をとってきて、地球に何を出しているかというものを全部計算してみようということでもあります。

当然のことながら副製品というものは人間社会で使えますが、それ以外の環境への負荷は、まさに地球にとって迷惑なものでしかないということを出ていくわけでありま

す。

こういうことをやるということですが、実際やってみるとけっこう面倒だということがわかって、例えば、こういったプロジェクターの場合ですと、外側はおそらくプラスチックで、フレームは鉄とかできていますのと思いますが、おそらランプに使われているであろうタングステンのフィラメントに関してもやろうとすると、タングステンなんて大した量ではないのですが、それを全部追っかけるということになりますと大変な手間がかかってくるということになります。

(スライド8)

しかし、こんな面倒なことがなぜ注目を集めるようになったのかといいますと、20世紀の後半からこういうことが始まったというのは、一つは、とくに日本では九十何年前から非常に注目を集めまして、93年、94年あたりからかなりライフサイクル・アセスをやっているということになってまいります。一つは、その段階で21世紀の環境問題が大きくクローズアップされたということと、これが大きかったと思うのです。もう一つはISOで、14001をおとりになっている事業所が多いと思いますが、その先のほう、14040というところにライフサイクル・アセスメントというものの規格を含んでいるということでございます。

ただ、この14040に含まれているライフサイクル・アセスメントというのは、あまりライフサイクル・アセスをやれという形ではなくて、むしろ、やるならこういった形にしろという、むしろ推薦といいますかやり方のレコメンデーションを書いてありまして、むしろこういう格好ではやるということも書いてあるという状況です。結果的には14040というものができてしまった今日からいいますと、LCAはもともと任意規格でありますし、やらなくてもいいのかなという、そういう気配になっている部分もないわけではございません。

ところが最近、LCAという言葉がだいぶ一般的になったおかげで、いろいろなものにこういった発想が組み込まれるようになってきました。

最近、グリーンケミストリーなどということが少し言われておりまして、いま化学業界、あるいは化学関連学会等でGreen and Sustainable Chemistry Network というものをつくっておりますが、そこで新たにグリーンケミストリー賞を出して表彰しようということになっております。そのなかでもある部分についてはこういったライフサイクル・アセスメントのデータを付け加えてくださいというようなことをお願いをしているという状況ですので、このLCAがないと賞も取れないという状況になりつつあることはあるわけです。

今年の環境問題における最大のイベントは、例の京都議定書の批准でございます。京都議定書が批准されまして、

2008年から2012年までの間に日本はCO₂の排出量を削減しなければいけないことになりますが、どうやってやるのだろう。まだ社会的枠組みは決まりませんが、場合によると排出権などというものが設定されてしまう。そうなりますと、それぞれの企業がおつくりになっている製品でどのくらいのCO₂を出しているのだというようなことを把握して、それに対して対策をとっていかないといけないような状況にもなりがちであろうということもありまして、ライフサイクル・アセスメントというのもそう無用ではないだろうということになっております。

(スライド9)

LCAの方法論としては、インベントリ分析、これが負荷を定量的に表の形にしてあらわすということとして、データをとってくればよいということなんですが、これもそんなに容易ではありません。

それから、インパクト分析というのがございまして、これはわれわれがあとで統合化ということでご説明申し上げますが、それではいったい、全体としてこの製品はどんなものなんだ。ある指標で、例えば70点の商品なのか80点の商品なのか、そういうものをわりあい簡単な指標で明らかにしようということです。入学試験なんていうのは、それぞれの点数を単に足し算をして合格点でやりますが、こういったインベントリ分析などというのは足し算をして合格、とやれるのかやれないのか、そういったような議論だとお考えいただければよいかと思います。

あと、インプルーブメント・アナリシス（改良分析）というのもございまして、これはある商品の製造にだけ非常にCO₂の排出量が多いというようなことがもし見つかれば、そのプロセスを改善していくということも容易であろうといったようなことであります。

こういったLCAの方法論をわれわれは持続可能性というものを維持していく一つのツールとして、先ほど坂内所長もおっしゃっていましたが、単にコンセプトあるいは理念をしゃべるだけではなく、それを実現するためのツールとしてこういったものを開発し、より容易に使えるような形にしようというようなことをやっているわけでございます。

(スライド10)

ただ、こういったライフサイクル・アセスをやっていくだけでと、もう一つ非常に重大な問題が欠落している可能性があります。一つは地球は長持ちするかもしれないけれども、人類側は長持ちしないのではないか、そういう問題でございます。

ヒト側の持続可能性に関しましては、1970年代のいわゆる産業公害というものが非常に激甚であった時代、そういうところを日本は経まして、いまや環境要因でヒトに対する非常に大きなリスクは、まあ何とか回避できるだけの

知恵はつけたのではないかと思うのですが、必ずしも世の中全体がそういうふうには言い切れるのかどうか、いささか問題というような状況でございます。それにはあとで申します時代の変化を少し読みながら今後のあり方などを検討しなければいけないと考えます。

一方、これからこの二つをご説明するわけですが、日本人、あるいは先進国の住民のDNAはどうやら多様化の方向にあります。これは悪いともいいとも言いがたい。あと、日本のように非常にリスクの少ない、とくに感染症というものをほぼ退治しきったというような状況、そのわりにはお風呂に入っただけで死んでしまうようなことも起きることは起きるのですが、感染症といったようなものがなくなってきたおかげで、アレルギーというものが現れている。ここはかなり因果関係として明らかだと思うのですが、感染症ではなくて寄生虫であるという説を藤田紘一郎先生、回虫博士はおっしゃいますが、この場合の感染症というのは主として結核ではないかと思われまゝ。そういった感染症がなくなったおかげでアレルギーが増えているという、少なくとも相関はございます。

(スライド 11)

そのデータですが、一つ、一番最初に申し上げました環境要因での大きなリスクは何とか回避できるということは、1970 年ぐらいから平成 10 年前までのデータですが、一般的な大気の測定、窒素酸化物の濃度でございます。こういった形で 70 年ごろは最悪にして、あとはずっと順調に落ちているのですが、ここから先はあまり落ちておりません。

こういうように大きな環境の被害といいますか、非常に高濃度な状況は今は何とか回避はされています。

(スライド 12)

一方、同じ窒素酸化物でも、自動車排出ガス測定局というのは、道路の端で測定したものです。そういうところだと実はあまり下がっていません。

(スライド 13)

これはどういう理由なのかといいますと、こんな理解をするとうれしいかと思えます。横軸に経済的なスケール、縦軸に環境負荷をとっています。いわゆる産業公害型の環境汚染というのは、だいたい 1970 年にピークがあって、これは経済的スケールですから時間ではないのですが、経済規模が拡大するにしたがって環境対策も十分に行われるようになって何とか下がる。

ところが残念ながらといいますか、あまり下がらないものがあるということは何かといいますと、もう一つ、非常に重大な環境負荷として消費型とよばれるような環境負荷がございまして。例えば、エネルギー消費であり物質の消費であり、それに伴う廃棄物の増大であり、エネルギー系の廃棄物であります CO₂ の排出である。こういったものは

どうしても伸びてしまうわけです。

経済的スケールを高めようと思うと、こういったものの消費型の環境負荷は伸びるというのは、相変わらず今の日本の産業構造ではしかたがないというか、そういった構造になっておりまして、これを下げつつ経済成長を果たすということが可能かどうかわからない。いま申し上げたいことはそれではなくて、消費型環境負荷、すなわちモノを流すようなことをやりますと経済が伸びるわけですが、個々の排出源はきれいになっても、輸送量は増えているということで、ディーゼルの排ガスは多少きれいになっても残念ながらトータルにはあまり落ちないということが起きがちでございます。

(スライド 14)

これは環境要因で今どのぐらいの被害があると考えられているかという話ですが、これは蒲生さんとおっしゃる中西準子先生のグループが出されているものですが、ラドン、日本は世界的にはラドンの量は非常に少ない国でございます。スウェーデン辺りに比べておそらく 3 分の 1 ぐらいの量だと思われまゝ。そういったラドンというようなものが実をいいますと環境要因でかなり上のほうで 9.9 日という損失余命です。ディーゼル排ガスは損失余命は 13 日、この 13 日とはいったい何かといいますと、すべての人が 13 日ずつ寿命を短くしているということでもあります。逆にいえば、ここにダイオキシンというのがございまして、ダイオキシンは 1.2 日ですが、もしこの世の中からすべてのダイオキシンが消滅したとすると、すべての日本人はあと 1.2 日長生きできるという意味であります。この程度です。これを大きいというか少ないというかという問題ですが、

カドミウム。これはいまだにお米の中などに入っておりまして、これが相乗作用を起こして何かをするなどという説もございまして、いずれにしてもこの程度でございまして、一方、これは私が推定したもので、とくに論文にもなっておりませんが、受動喫煙、隣からの副流煙で受動喫煙をいたしますと、その損失余命は比較的若年層がそれで死亡するということもあって約 30 日ぐらいの計算になります。そういうものに比べますと、どうやら環境要因による非常に大きな被害は避けることができているのかなということではないかと思われまゝ。

いわゆる残留農薬あたりは、クロルデンあたりはこんなものでございます。

クロルピリフォス。これも農薬ですが、こんなものです。いま、例えばベンゼン、ガソリン中のベンゼンなどは規制がかかったりいたしますので、いまわれわれがやっているところはこんなところだと思われまゝ。

(スライド 15)

これが DNA が多様化しているという話なんですが、こ

れは1歳未満の乳児の死亡率を、1899年からほぼ今日に至るまでプロットしたものです。この辺りは実に恐るべき状況にあって、出生数が1000に対して1歳未満で、この赤線は東京都ですが、200という命が失われております。なんと20%です。20%の命が1歳未満で失われていた時代がございまして、今は1000分の3点いくつ。ですからこのときに比べますと死亡率実に60分の1ぐらいになっているということでございます。

現在90歳くらいの方は、この辺でかなり激しいフィルターにかかって、それで丈夫な方が生き延びられて、なおかつここで（私が生まれているのはこの辺ですが）いわゆる戦後の厳しい状況でまたフィルターがかかって、ですから今90ぐらいで生存の方は非常に丈夫な方ということになります。

こちらは死産率で、死産率というのは、これがたぶんいま申しました第二次世界大戦後の食糧状況の悪さなどを反映した死産率の多さではないかと思われまして、あるいはここにちょっとピークがあるのが気になりまして、この辺も環境要因だった可能性もないわけではないのです。ですが、それも何とか落ち着いてきていて、1940年前後よりも今はいい状況にあると考えられているわけです。

したがって、昔ですとこういった200といった死亡率があったわけですが、今は4未満ですが、その残りという方は、ひょっとするとこの世の中に生まれてもしばらくすると、という、そういう方でして、したがって先ほど申しましたDNAというものはたぶん多様化しているのではないかと思います。したがってアレルギーなどというものが出来て、環境屋としてはけっこう厄介な状況になっているということでもあります。

(スライド16)

それはそれとして、日本というのは、先ほど申しました、今生きておられる80、90の方というのは非常に丈夫でございますので、男性の平均余命、これは0歳での平均余命ですが、女性の平均余命は延びてきて、最近男性のほうが頭打ちになっているのは、残念ながら自殺がけっこう多くて（年間3万人ぐらい）、それで平均余命はあまり延びていないという状況です。ですから環境問題の中には雇用なども入れるべきなのかもしれません。

(スライド17)

さて、いろいろな話をしてまいりましたが、こういった形でいろいろなことがわかって、例えばある製品をつくるときに、温暖化の影響はこんなもの、例えば、CO₂をこのくらい出しているみたいなものはわかりますし、あるいは廃棄物をこのくらい出しているというものもわかります。そういったものがわかったときに、それじゃどの負荷が重要なのかというのが一つの興味といいますか問題になってまいります。

環境適応型の商品をつくれといわれたときに、いったいこういった要素のうち、どれを一番重要だと考えるのかということでもあります。

(スライド18)

こういったものを考えるときにわれわれライフサイクル・アセスメントというのはいったい何を考えているのかといいますと、こんな考え方をいたします。

まず一番左側に、「プレッシャー」とわれわれ呼んでおりますが、環境に対してどういうものが出ていっているか、そういった排出・放出といったものをリストをいたします。その次に、これがどういう環境問題を起こしているかという問題なのか、そういったものをカテゴリと呼びまして、どういう問題が起きるかというのをここに書き、それぞれの問題が、それではどういうふうなところにある種の価値観に対して影響を与えるか、その価値観をエンドポイントといいまして、例えば生態系はなるべく保存すべきだとか、先ほど申したように持続的にキープすべきだ、人体に対する影響も少なくすべきだ、資源も枯渇させてはいけない、こういった価値観に対してそれがどういう影響があるかをみていって、最終的にはこの三つの価値観、だいたいこの三つでいいとされているのですが、この三つの価値観を、最終的には足し算をするか何するかわかりませんが、指標として一つ求めているという考え方です。

(スライド19)

これを統合する時に、実を言いますとそれ以外のやり方でミッドポイント統合というのもありまして、例えば温暖化と、場合によっては酸性化、オゾン層破壊、これはどういう影響なのだ、どのくらい深刻な問題なんだというのは環境科学屋にとって直感的になんとかわかっていて問題でございます。そういった直感を使って統合し、重み付けをしていくというやり方が一つはある。ただ、一般市民にとってはそういう感覚はなかなかないので難しいかもしれません。

エンドポイント派というのは、理念的にはたぶんこっちのほうが正しくて、最終的にどういうことが、例えば生態系というものの保存というか維持に影響があるかということん詰めていく。こういうのを、損失を与えるのでダメージファンクションといいます。例えばある温暖化がおきると、ある生態系にどのぐらいのダメージが出るのだ、あるいは人命に対してどのぐらいのダメージが出るのだということを開数化していくというやり方で、一部日本でも今これを行っているグループがございまして、産環協というところでこれをやっておりますが、全体としてはどちらかというとミッドポイント派のほうが多い。

(スライド20)

すなわちこういったエンドポイントをバイパスしてしま

って、ミッドポイントからいきなり指標化していくというやり方もあります。ただ、こういう指標化をするときに重要なのは何かといいますと、例えば温暖化の影響だ、オゾン層の影響だ、酸性化の影響だといっても、ある種の何か共通的な価値観でこういったものを表現しないことには、これを統合して一つにまとめるのは不可能です。それでは共通的な価値観っていったい何なのだと いわれますと、例えば今の世の中ですと、金銭感覚などというのはたぶんそうで、例えば温暖化がおきますと、どのくらい金銭的な損失が出るのだ、オゾン層が破壊されるとどのくらい金銭的な損失が出るのだといったこと。例えば、誰かさんが有害物質で健康を損ねたとしますと、それはどのくらいの金銭的な損失になのだということで、金銭でウエートをかけていく。はっきり言えば、例えば、命が1個4億円とすると、か、そういったような考え方でありまして、例えば生態系がどのくらい失われれば、それをいくらの損害と見積もるというような格好でやるというやり方もございます。

それとはまた別に、ある種の非常に理想的な状況を考えて、それから、例えば温暖化をすることによってどのくらい非理想的といいますか、理想の状況から離れてしまうのだといったようなもので、それを距離とみて、理想の状況との距離みたいな関数で統合していくという考え方もあります。

(スライド 21)

われわれは今何を考えているのかといいますと、今われわれがやっております現在の状況をそのままずっと続けていくと、もしもほんとに環境にだめなものであれば、何年かたったときに危機になるだろう。

例えば、CO₂をどんどん増やしていくと温度がどーんと上がっていった最終的にあるところで危機がくるだろう。例えば、資源を使い続ければ何年かたったところに資源枯渇という危機がくるだろう。

きのう、ひどい雨の中、私は東京都の中央防波堤の先にあります最終処分地にいたのですが、あそこも、とにかく東京都にとって最後の最終処分地ですので、ゴミを出しつづけますと、あそこがなくなってしまって、さあどうするのだ。そういう危機がくるだろう。このような状況で、いまわれわれが環境負荷をかけているということは、危機に至るその時間を一步一步食いつぶしているという考え方をとるのではないかと。要するに環境負荷を時間というものに換算をしてみようじゃないかという考え方にふと気がついて数年前からこんなことを言っています。

(スライド 22)

いわば地球にこういう汚いものを出すと、最終的には全部同じグレーになって汚れたらけになる。こういう資源があったものを掘ってしまうと、最終的にそれがなくなって、均一になってしまう。

(スライド 23)

こういうような危機の状況を考えて、それに至るまでの時間を、その製品による環境負荷のある範囲内での1年の環境負荷の総量で割って時間を出そうという考え方でありまして。精しいことはあまり申し上げている暇はございませんが、そういう考え方でやろうと。

(スライド 24)

ただし、それぞれどのくらいのところで危機がくるのだ。危機が来たとして、その危機はいつ来るのだ、どのくらい深刻なのかということでは環境問題には重み付けがかかるのだろう。それはなかなか客観的に言うことは難しく、最終的には実施者の環境観というもので決まるのかと考えておる次第です。ですから、そういったものを実施する人間が統合化するときには、温暖化というものと、例えばエネルギーの消費と（それに似ている部分もあるのですが）、あるいはまったく違う水の使用と温暖化というようなものの、そういったものがどのくらい深刻であって、いつ来るかということに関しては、人によって見方も違うし絶対的な予測はできません。ということですから、個人の主観みたいなものを入れられるような仕組みをつくらなければだめだろうということです。

(スライド 25)

一例をあげさせていただきたいと思います。これは皆さんのご商売にはあまり関わりのないことかもしれませんが、われわれの研究室は長々と容器の比較をやってまいりまして、なんでこんなことをやっているのかといいますと、一つは、容器というのはわりあい国の状況を反映しておりまして、例えば北欧とかオランダとかドイツ——ドイツはいささか違うところがあるかもしれませんが——ああいったところは、例えばガラスびんをリターナブルで何べんも使うというようなやり方をやっております、そういうことを市民は慣れているわけですが、日本とアメリカはどっちかというと使い捨てをやっているという状況であります。

(スライド 26)

どの材質がどういった環境負荷なのかというようなものをペットとかこういう容器について比較をしたものでございまして、無炭酸の、要するにお茶みたいな飲料の500ミリリットルを考えて重さを決めてやりました。

(スライド 27)

環境負荷項目としてはこんなものを考えたというやり方があります。

(スライド 28)

データなんですけど、なお、こういう飲料容器の報告書がもしご入用であれば、われわれのところで作ったものを発行しておりますので、お申し出いただければと思います。メールアドレスは、インターネットに入っていたら私の名前を検索していただきますと、私の個人的ホームページ

ジがあって、そこにアドレスなども紹介しておりますし、きょうの使っておりますファイルはまだあがってないのですが、プレゼンテーションに使うファイルがいくつかあがっていますので、もしご参照いただければと思います。

これは二酸化炭素なんです、二酸化炭素の放出量はスチールの3P、スリーピースのスチール缶というのはどうも一番多いみたいだということになります。

(スライド29)

それから、 SO_x 、 NO_x の排出量は、ガラスのワンウェイびんというのが一番多いみたいだという感じになります。

(スライド30)

水の使用量。ペットボトルの水の使用量というのは冷却水なものですから、これを水の使用量というかどうか微妙な問題なんです、それをそうだというならば、ペットボトルの場合が一番多いようだ。

(スライド31)

エネルギーの消費量は、先ほどの二酸化炭素の消費量と概ね同じ。

(スライド32)

固形廃棄物の排出量に関しては、ワンウェイびんが圧倒的に多い。これは重さでいきますとそうなります。ガラスは重いですし弱いですから、量がどうしても多い。ということでこういうことになります。こんなものをどうやって統合化して、どれが一番いい容器だということかということがあります。

(スライド33)

それぞれの CO_2 というものがどういうところで出ているのか、製造時なのか輸送時なのか廃棄時なのか、廃棄の輸送時なのかというのを分けたものでございます。

(スライド34)

そういったものをどうやって統合化するかということに関しては、先ほど申したように、個人の重み付けというものをアンケートをとって聞きました。

(スライド35)

温暖化、オゾン層、いろいろなものがある、エネルギー消費、これは固形廃棄物ですが、そのもととなったデータは、こんなものでありまして、これを見ますと、人によってまったく価値観が違うというのがよくわかります。90人ぐらい聞いているのですが、この方などは、環境問題というのは全部温暖化である。残りのやつはここに全部入ってくる。黄色いのが固形廃棄物なんです、この方は極端で、6割ぐらいは固形廃棄物の排出は環境負荷だとおっしゃるわけです。こういうふう非常に違った状況になるということがわかりました。

(スライド36)

ところが不思議なことに、有識者と企業関係、あるいは学生等に分けて、それぞれ足し算をしてみると、ライフサ

イクル・アセスをやっている人間というのは、どうやら固形廃棄物にご執心の人間が多くて、そちらに重みが多いのですが、一般市民はどちらかといいますと、地球温暖化にウエートを置いているようですが、全体をざくっと平均したものが一番下なんです、実をいいますと、そんなにも変わらないのかなと。個々の方は確かに違うのですが、これはだいたい100名弱ですが、そのぐらいでやりますと、そんなに変わらないのかなと思われる状況でした。

(スライド37)

その変わらないというような最後の平均値で重み付けをしたところ、こんな結果になって、ワンウェイびんというのがどうも悪い。ここに出ている統合はわれわれがやっている時間消費でして、その容器を1本使うごとに 10^{-13} 年という時が失われる、でも、あまり実際に差は大きくはなくて、どこが少ないのかといわれれば、ガラスびんを20回ぐらい使う。いまのビールびんみたいな使い方をするのが一応環境負荷的には低いだろうということになります。紙容器も比較的低いだろうということに結論としてはいえるかなというようなことが出ておりました。こんな形で、われわれとしては様々な環境負荷を統合化することによってこういった結論を導いているわけでございます。

こういうことをいいますと、しばしば質問が出ますので若干ご説明しますと、リターナブルというのは、この場合当然のことながら輸送距離に若干依存いたします。例えば北海道までいちいちびんを返しにいくようなことになると、あまり合いません。したがって、これで計算している距離は百何十キロということですので、関東地域全体ぐらいだったらこんなことがいえるかなということでございます。ただ、輸送の環境負荷というのは思ったほど大きくはないのです。したがって、関東圏ぐらいであれば十分だし、ただ日本に1社しかそれをつくっているところがなくて、北海道の隅からこちらまで、あるいは九州のほうからこちらまで全部容器を持ってくるというのはまず現実的ではないかもしれません。

(スライド38)

それではこれから先どうするのだという話になります、これがその一つの結論めいたものになるのかもしれませんが、いま横軸に経済的指標をとって縦軸に環境負荷をとりますと、産業公害型の環境汚染というのは幸いにして1970年をピークとしてずっと下がってきていて、いまが良ければ、これからわざわざ上げることもないから下げつづけるのだらうと。こちら側に経済的な価値を新たに創造しつつ、環境汚染も下げていくのだらうということになります。

実をいいますと、先ほどご説明してなかったのですが、バックグラウンドとしての環境負荷というのがあってはないかと考えられています。

実態は何か。一時期、環境ホルモンというものが出てきたときに、それはひょっとしたらバックグラウンドに類するものかなと思ったのですが、今のところ信念が揺らいでおりまして、こういったもののバックグラウンドというのはなんだかよくわかりませんが、少なくとも環境屋として考えておくべきことは何かというと、常に生態系、地球上のどこかにわれわれは何か変なものを蓄積してはいないか。そういったものが将来、これが非常に重大なことをおこすことはないのかということを常に考えておくべきだということでございます。このバックグラウンドというのは、次に述べます消費型負荷というものでもし下げることができれば、たぶん下がるのではないかと思います。

重要なのは消費型負荷だと思ってまして、先ほどここをご覧に入れたときには、まだ先がなかったものですから、われわれが経済的指標、経済を活性化させようとする消費量は増やさなければいけないという産業構造に今はなっている。それをそのまま増やしていいのかというと、地球の限界等を考えるとそうもいえない。

エネルギーもどのくらいもつのかということで人によって違いますが、化石燃料だけでも私は、ざっくり見て500年ぐらいもちそうな気がします。この化石燃料には原子力、核分裂を含んでおりますが、エネルギーがもちさえすれば資源はそこそこもつかなという感じですから、しばらくは大丈夫かという気がします。それ以前にもし危機になるとすれば、食糧枯渇とか温暖化とか、そんなほうかもしれません。

いずれにしても、資源をあまり使わないで、すなわち消費量を減らしながらもわれわれが新しい経済価値を導くことができるかといわれると、例えば今の半分しかものを動かさないで、といいますと、なかなか産業として過去の産業、例えば石油を使うのは半分にしたら石油業界は売上は半分になる。(倍の値段で売ればいいのですが。)そういうことになってみえますが、何か新しい価値をつくって、それで高い値段で売ればよろしいのですが、そうでないかぎりには経済規模は縮小せざるをえないと思います。

例えば、そういったものはいったいなんなのだ。小さいもの、あるいは同じものでも価値が高いものを売らなければわれわれは生きていけないのかなという気がいたしますが、そこでわれわれはいまプレミアムという概念を導入しようとしています。

要するにプレミアム商品売ろうということでございまして、例えばプレミアム商品の最たるものがブランド商品でございまして、そこら辺にありますハンドバックとエルメスのハンドバック、ぱっと見て同じなんです、こっちが偽者だとしますと、しかし値段はほんとに違う。それはいったい何なんだという、人手がかかっているとか、いろいろな要因があると思うのですが、そういった形で一つ

の商品でありながら価値が非常に高いもの、そういったものを日本はめざして売っていかなければいけないのかなと思う次第でございます。

(スライド 39)

そういったこととして今われわれは循環型社会ということをやろうとしていますが、残念ながら循環をいくらやってもエントロピーというのがわくというのが一つ問題でございます。

(スライド 40)

エントロピーというのは、ある意味で非可逆性ということと同義でございますが、だんだん地球はできるだけ掘らない、埋めない、再生可能資源を優先、使い捨てだめ、再利用優先という社会にたぶん行かざるをえないと思うのです。

すぐやるのかといわれると、なかなか難しい問題であります。おそらくこの21世紀全部をかけて徐々にこういった方向にいかざるをえないのではないかという気がいたします。

(スライド 41)

われわれ環境科学をやっている人間としては、そういった未来予測が非常に重要だと思っております。未来の社会を先に描いて、その社会に至る過程でどんな敵とぶつかるのかということをしつづつ説明していくというスタンスを最近はとっております。ひょっとすると、なんともいえないところですが、人類、自分自身というのがどうやら最大の敵のご様子でございます。これを何とかしないことにはどうも解決ができそうもないなということでございます。

(スライド 42)

結論ですが、いままでの話と若干離れてしまうかもしれませんが、2002年の最大の環境問題は実は京都議定書の批准です。ライフサイクル・アセスメントも当面、したがって二酸化炭素の排出量というものに限った、すなわち「ライフサイクル CO₂」とわれわれ呼んでおりますが、そういったもので十分かなと思うのです。まずこの辺からおはじけになるということをぜひお勧めして、それから先に他の環境負荷を考えていくといった方向でいいのではないかと考えます。

統合化、とくに危険性の高い物質と CO₂ のようなものとの統合化はまだ研究段階です。したがってまだ今は企業でどうこうするというのではないと思いますが、しかしすべての企業が持続可能というもののフィロソフィーをお持ちいただくというのが重要ではないかと思う次第でございます。

以上でございます。ご清聴ありがとうございました。

(了)