

知の構造化と社会技術

第1回社会技術フォーラム「安寧な社会の実現に向けて」 ～ 科学技術が出来ること、すべきこと ～ 基調講演

小宮山 宏

Ph.D. (化学システム工学 / 地球環境工学) 東京大学 総長 (E-mail: komiyama@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp)

市川先生から論理的な社会技術の学術的な考察をいただきまして、大変勉強になりました。私は現場感覚で経験的に、社会技術の必要性、知の構造化についてお話をさせていただきたいと思います。

最初に、現在どれほど知識がうまく伝達されていないかという話です。1982年、社会心理学のトップジャーナルに、『Behavioral and Brain Sciences』という変な論文が出ました。12のいろいろな分野のトップジャーナルに、それぞれの分野で3年以内に出た論文を再投稿するという危ない実験をした人がいます。そのまま再投稿するとすぐばれてしまうので、著者とタイトルを変えて再投稿しました。そうすると、ご案内のようにピアレビューのプロセスで、この論文が一番見識が高い人のところにいきます。そのとき、エディターを含めて3人ぐらいが1つの論文を見ます。12の論文で38名がそれぞれの論文に接しましたが、そのうち35名は再投稿に気がつきませんでした。これが1982年に出た論文の実験で、既にこういう状況になっているわけです。そこから既に20数年経っていて、状況はもっと進んでおります。ですから、融合や学際といわれますが、その「学」の領域は極めて狭いということが明確です。

12の論文の再投稿実験

タイトル変更

架空の著者と所属

35 / 38 気づかなかった!

8 / 9 が却下!

学内・学際の知のめぐりが必要

今、我が大学では「知のめぐり」を流行らせています。これは藤本隆宏 経営学教授の造語で、「知のめぐり」が企業でも最も重要だということです。つまり、20世紀は間違いなく「膨張の世紀」といえたいと思います。物質生

産の膨張が起きて、それが地球規模での環境問題を引き起こしたことはよくいわれる話ですが、実は「知識の膨張」によって今のような状況までできました。つまり、人間が全体像を見えなくなってきたあたりに、今の安寧の問題も含めて現在の困難の本質的な理由があるのではないかと思います。

20世紀は膨張の世紀

物質生産の膨張

環境問題

知識の膨張

全体像が見えなくなった

20世紀は膨張の世紀というデータを少し見てみます。20世紀の間に人口は3.5倍に増えていきます。

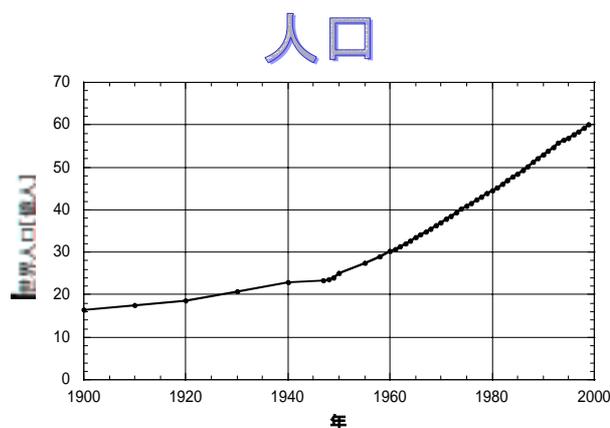


図 20世紀における世界人口の変化 (世界統計年鑑、米商務省のデータ、および国連の推計より)

穀物(米・小麦・とうもろこし)の生産量は8倍に増えています。

穀物

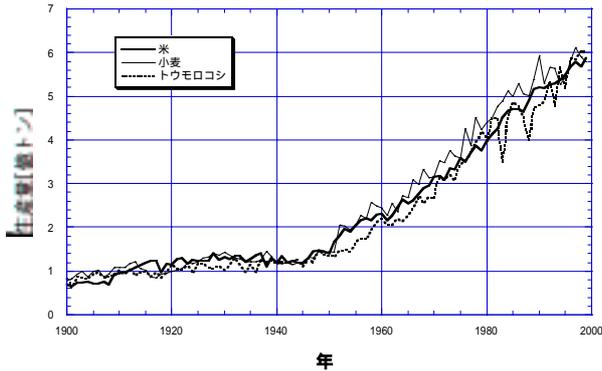
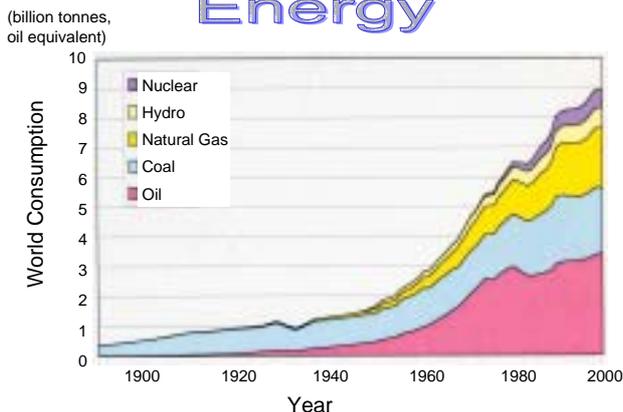


図1 3大穀物の世界生産量の变化
(世界歴史統計、世界統計年鑑、FAOSTAT Databaseより)

工業生産の1つの指標に近いエネルギーの使用量は、20倍ぐらいに増えています。これが1つの湖、1つの森ではなく、地球全体に影響を及ぼし始めたということです。

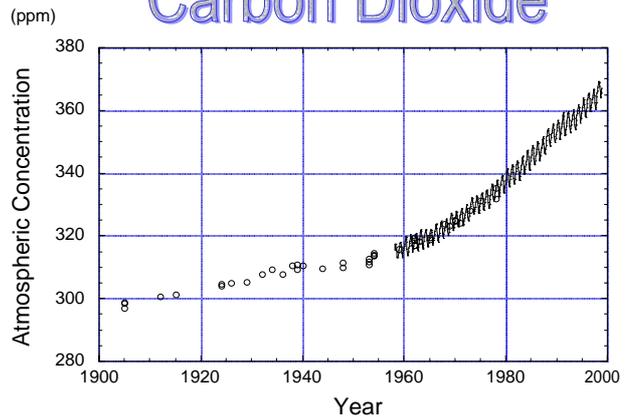
Energy



Sources: UN Statistical Yearbook, BP Statistical Review of the World Energy

二酸化炭素の濃度は、地球の温度を決めていて、しかも光合成の基本的な要因です。そうした基本的な地球を決めている要因にまで、人間の活動が影響を及ぼしたことが、20世紀の特徴です。これはよくいわれる地球環境の問題です。

Carbon Dioxide

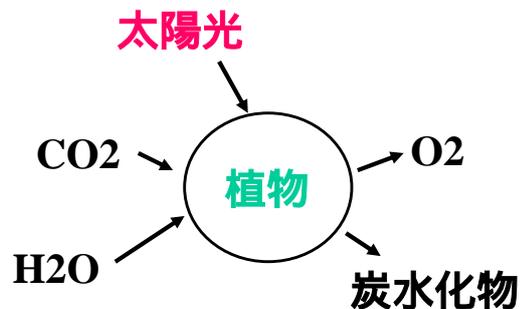


Source: National Oceanic and Atmospheric Organization

知識がどれだけ増えたかは、論文の数がどれぐらい増えたかという形で示しているものもありますが、直感的にはある1つの領域を見てみるのがいいと思います。例えば光合成でいうと、1900年にはこういう知識で、これはここにおられる方は全員ご存知の話です。

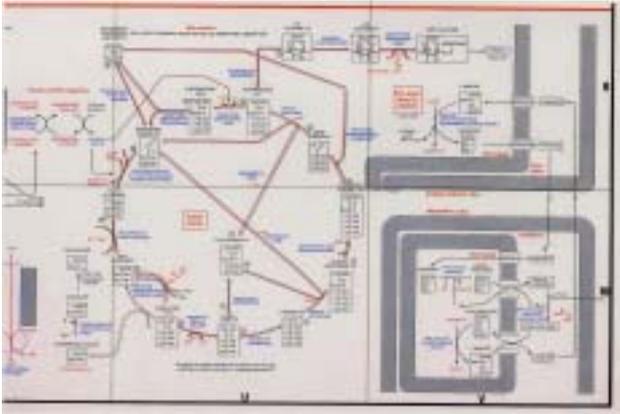
ここにCO₂、ここにH₂Oと書いてあります。ここからさまざまな化学反応を経て、炭水化物ができるという反応が書いてあるのですが、これぐらい知識が増えています。

1900年の光合成の知識



この青色がいろいろな酵素で、化学反応をマイルドな条件、生物の条件で進めるためにたくさんの酵素が使われています。今、この蛋白質がゲノムと対応されています。これも10年前の知識で、もっともっと増えています。だから、これとこれを比べると、千倍ぐらいになります。人口や工業生産が増えたといっても、たかだか数倍、数十倍の話ですから、知識が20世紀に一番増えたといつてよいのではないのでしょうか。

知識の爆発！



先ほど市川先生がおっしゃった知識を少し別の意味で申しますと、科学というのは領域化を伴います。先ほど市川先生が言われたモデルというところの境界という言い方をしてもよいと思いますが、必ず領域を決めます。

例えば、ニュートンが運動の法則を見つけたのは明確に領域を限ったからです。生物の運動や光が直進するといったものは全部除いて、質量で表現できる物質の運動というように領域を限ったから、あのような極めてシンプルな法則が見いだされたのです。その法則は非常に役に立つもので、月の運動や地球の運動が全部整理されただけではありません。紙がひらひら落ちてくる、弓はこう飛ぶ、風があるともっと曲がるというデータばかり蓄積しても決してロケットは衛星軌道に乗ることはできません。衛星軌道に乗る、あるいは木星に飛んでいくのは、 $F=M$ というニュートンの運動の法則で計算するからできるのです。やはり知識というのはすごいものです。

例えば、化学でいうとメンデレーエフも同じです。周期律という物質に関する法則を見つけたときに彼はやはり、生命、生物体、塩水のような混合物、水 (H_2O) のような化合物も入れず、元素という領域を明確に定義しています。定義したからその中に周期律というものを見つけることができ、当時は多分 50~60 の元素だったと思いますが、知られていた元素が全部きれいに紙の上に並んで、しかも空いているところが見えたわけです。どこが空いているかが見えたから新しい元素が発見されて、今、190 ぐらいの元素が見つかってきています。

確かに、科学はそうのように明確に領域を決めてその中に基本的な法則を発見することで発展してきました。今後もそういう発展形式をとるのだと思います。それは素晴らしいことですが、科学技術は領域化を伴うから進歩するということは、やはり細分化を伴います。知識が 1000 倍に増えたということは、領域が 1000 増えたと考えればいいわけです。そうしますと、1 人の人間が本当に理解できる知識の範囲は相対的に狭くなってきます。

知識 = 領域化 + 基本則

領域の細分化は不可避

一方、とり扱う問題はやはりどんどん巨大化しています。これはグローバルイゼーション、人間の活動の増大などがあって、相互の関係が非常に複雑になり、規模が大きくなってきています。環境問題、エネルギー問題、高齢化社会、安全安心など、今残っている私たちが解決すべき問題のほとんどは複雑です。逆にいうと複雑だから残っているのかもしれませんが。

問題の複雑化

環境問題

エネルギー問題

高齢化社会の問題

安全安心の問題

このようなことがあり、複雑化と細分化の必然の結果として、私は社会と科学の距離感が拡大したととらえています。これは放っておけません。もちろん、科学技術だけで行っていきわけではないから社会技術という議論をしているのですが、科学技術に反した形で行うのではないですし、放っておけません。責任はやはり基本的に大学にあります。他のところで行っていただけならいいのですが、なかなか大変でしょう。やはり知の府として大学が責任を持ちたいと思うわけです。

複雑化と細分化

必然の結果

社会と科学の距離感拡大

放っておけない

責任は大学にある！

もと農学系と理学系とでつくったのですが、分けて理学部と農学部に戻したらいいのではないのでしょうか。そういう議論が年中出ます。でも、それは退歩なのです。やはり、津波が起きたときに地震研と海洋研があそこに行くわけで、こうなってきたことは進歩を反映している構造だからです。この構造が一番いいかどうかはわかりません。だから、昔に戻れという議論がしばしば出るので。お年寄りも、特にお酒でも飲んでいいるときに、最後は旧制高校に戻そうという話になります。それでいいなら簡単です。それではダメです。やはり私たちは前に進まなければなりません。

そうすると、この状況で何をやるべきかという、やはり「知のめぐり」です。自律分散協調系というのを先ほどここで出しました。これは情報システムの言葉で、ホロニックシステムの略語ですが、生命体を1つのモデルとしています。例えば、心臓、肝臓、腎臓はそれぞれ自律的に動いています。いわば勝手に動いています。けれども、生命体全体としては協調的に動いています。それが1つの複雑なシステムの理想的な構造ではないのでしょうか。つまり、「血のめぐり」です。しかし、なぜ人間は心臓と腎臓がうまく協調しているかという、脳があって神経が巡って情報が共有されているからです。やはり私たちは情報を共有しなければなりません。このシステムの中で情報をきちんと共有するのです。よくわかっていればもう少しそこが反映されて、全体との整合性を持った学術の進歩が生まれるのではないかと考えています。

私は「この脳神経系の情報を共有しようではないか」とずっと言っています。部局の教授の先生たちから、人間が動いているのは血が回っているから、血が栄養を供給しているからだという話があり、「神経だけではダメだ」「では血は何だ」「お金だ」という説が出てきました。これも正しいのです。そこで私たちは、「血のめぐり」と「知のめぐり」をどのようにうまくやるかが、やはり総長のリーダーシップの中身ではなかろうかという議論をしています。

私たちは学術俯瞰講義をスタートしました。これはトップの学者が、例えば、物理は何をする学問で、今はいったいどこを研究していて、今後どうなるかを語るのです。講演会だと言いつばなしになりますから、『二十四の瞳』ではないかもしれませんが、学生がきちんと真剣に見てノートをとって、きちんと講義として語るということをしてもらいます。1番バッターは、ニュートリノの小柴先生にさせていただきます。これは既に了解をとりました。ただ、「4回してほしい」と言ったら、「1回にしてください」と値切られましたが、そうい

う形で行います。

知の構造化ですが、やはり人間が一番構造化を得意としています。やはり優れた人間が、少なくとも自分の専門あるいはそのごく周辺を構造化しているので、その頭をうまく使おうということです。荒っぽいけれども、網羅的な構造化だろうと思っています。

今、自然科学統合化プロジェクトという名前で、もっと細分化した知をくっつけていくことを始めました。人間、物質、地球、宇宙の4つをたてています。

東京大学学術俯瞰プログラム

自然科学統合化プロジェクト

1. 人間シミュレーション
ゲノム ヒト(社会)
2. 物質シミュレーション
原子 物質(人工物)
3. 地球シミュレーション
物質 地球
4. 宇宙シミュレーション
ビッグバン 未来

接合

人文社会科学への接合
還元主義の限界論との接合

今、この「人間」のところがスタートしました。これは、ゲノム、ニューロン、シナプス、デンドライト、蛋白質と膨大にあって、なおかつものすごい勢いで生産されている知識をともかく全部動員して、どういう関係にあるのかつなげてみようという試みです。なぜここから始めたかと申しますと、1つは今一番爆発的に知識が増えている領域だからです。もう1つは、それをやりたいという先生がこの分野にいるからです。我が校の先生は、総長が何度もやれと言ってもやりません。その気にならないとやらないわけです。だけど、バイオの人たちは既に破綻的に情報が増えています。30億の塩基の中に2万2000のゲノムがあって、それが蛋白質と1対1ではなく、複数の関係で対応しているらしいとか、彼らの頭でも、もうどうしようもないのです。だから、バイオインフォマティクスという分野が、すでにできつつあるのです。高木利久先生というリーダーが私の近くにおいて、統合化プロジェクトを進めようと言っています。彼も、ゲノムと蛋白質だけではなく、人間までいきたいと思っているわけです。人がいるから、そこになけなしの総長裁量もつけて、裁量の資源、「知のめぐり」をつけて、スタートしようと考えています。

今、私は極めて過激なことを言っています。人、物、地球、宇宙の4つ、4軸空間の領域として、すべての自然科学の営みを位置づけることができるという仮説を立てて、批判を待っているところです。ぜひご検討いただければと思います。社会技術はおそらくこれだけで済むことはありません。これは8分の1象限であるというのが先ほどの市川先生の話で、ここから人文社会科学へ接合といういい方をしていますが、接合し、還元主義の限界論という極めて面白い考察がなされています。要素に還元して、それを再構成すると全体が表現できるというのは間違いです。しかし、それはあくまで限界なのです。科学技術は要素還元論で相当の部分をしてきています。要素還元論がうまくいく領域というのは明らかにあります。多分機械なのでしょう。そうでないところで、いったいどこにそういうところが見えてくるのかは、要素還元をしてみると初めて明らかになってくるのではないかという気がします。少なくともそういう試みしてみようと考えています。

私たちは知の構造化ということで、学術俯瞰講義、学術統合化プロジェクトを始めます。科学と社会の距離を短縮したいと思っています。知の構造化によって科学と社会との距離を、あるいは学術と社会との距離を短縮したいと思っていますが、それは何なのでしょう。

知の構造化

学術俯瞰講義

学術統合化プロジェクト

科学と社会の距離の短縮

私たちは3つの要素ではないかと思っています。1つ目は人です。やはり人の中に、専門家の中の構造化されている知識をうまく利用するという要素があります。2つ目はプラットフォームです。今ある知をとにかくくっつけて、新しくどんどん生まれてくる知をその中のせられるようなプラットフォームを構築することです。3つ目は表現の方法です。「百聞は一見にしかず」と昔からいわれていることですが、表現は本質的だと思います。どのようにうまく表現するか、です。うまく表現すると、ものすごくわかります。

知の構造化の3要素

人

プラットフォーム

表現

ところが知の構造化をご理解いただいている向きも増えてはきたのですが、この十数年間において袋叩きにあっています。知識をつくるのが重要なのに、くっつけるだけというのは何なのだ、といわれてしまうのです。往々にして狭隘な部分でやっている学者がそう言います。もしくっつけることに意味がないのであれば、システムは要素を目的に向けてくっつけることなのです。システムを専門としている人は生きていけません。

それから、表現についてです。表現がどうでもいい、表現だけの問題というのであれば、小説家とは何なのでしょう。あれは彼らの心の中にあるものか、新しくつくるものか知りませんが、表現が小説の本質です。あまり細かいことをいうと、底の浅さが馬脚を現しますから、自然科学者としてはこれ以上踏み込まないことにします。いずれにしても表現は本質です。

それは表現の問題？

中身と表現は別か？

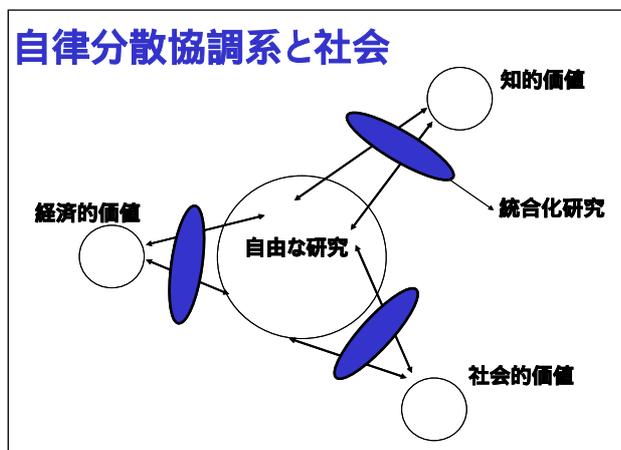
小説家は どうする！

神経と脳に関する知識を全部くっつけている少壮の学者が既にいます。これだけではどれだけ伝わるかわかりませんが、この種の表現で伝達しようとするれば、私が百万言費やすよりもはるかに力があります。やはり表現は本質的で、インフォメーションテクノロジー、バーチャルリアリティという形で、ものすごく進歩しています。これは使うべきだろうと思っています。

ヒト神経系シミュレータ開発による学術統合化

- 異なるデータやモデルを活用して、全体として動くようにする技術を開発する
- 知識がひとつの形を持って動くようになる

これが自律分散的な研究をする人たちと社会の価値との問題です。



先ほど、大臣政務官が価値をおっしゃいました。知的価値、社会的価値、経済的価値、宗教的価値、政治的価値、審美的価値などがあるそうです。社会はやはり価値を求めるのでしょうか。昔は簡単でした。自由な研究がされていて、その価値につながりました。周期律が見つかりと空いているその意味がわかって、空いているところがわかるから新しい元素が見つかるといったようなことです。

20世紀でも簡単です。ペニシリンが見つかりと、化膿が防止できるようになります。経済的価値も製薬産業という形で生まれます。アンモニアを例にとっても、ハーバーがハーバーボッシュ法というアンモニアの合成法を開発した後、アンモニア産業ができて、肥料が増産できるから食糧が増えたのです。簡単なのです。これは、全部ノーベル賞の科学技術です。カローザスがナイロンを発見すると、繊維産業ができました。簡単なのです。

今、もっと遥かに細分化されたところで、ゲノムと蛋白質の1つが関係することがいったい何なのかは、人間にはわかりません。「ニュートリノに質量がある」といわれても、それはいったい何なのでしょう。ニュートン

のりんごが落ちることと、地球が太陽の周りを回り、月が地球の周りを回っていることは、引っ張り合っているのですから、万有引力があるということです。ここには文科系の方と理系の方がおられて、理系でも千差万別で、化学の人はあまりわからないことも機械の人はものすごくわかります。要するに、りんごが落ちると月が地球の周りを回るのは、万有引力で同じことなのです。1つの $F=M$ 、運動の法則、万有引力といえば直感的にわかります。しかし、ニュートリノに質量があることが何とつながるかとは決まっています。これは物質の根源は何かということ。先ほど市川先生が素粒子でどンドン下にいかれましたけれども、最後にクォークとなって、その下にも何かおっしゃっていました。そういう物質の根源は何か、あるいは宇宙の果ては何か、今この2つが同じことになってきています。「宇宙の果てはいったい何か」という人間の基本的な疑問と、物質の根源とは何かという基本的な疑問が、ビッグバンを通じて1つになりつつあるそうです。その中で、ニュートリノに質量があるかどうかは極めて基本的な知識らしいです。しかし、ニュートリノに質量があるといわれて、私たちの間には何も直感が働きません。専門家として直感が働く方はこの中に1人ぐらいではないでしょうか。やはり違うのです。先ほど「ナイロンができれば繊維産業だ」と言いましたけれども、私の研究は、例えば0.1ミクロンの幅で2ミクロンの太さの穴をプラズマ CVD で開けることができるかどうかという研究です。これはやがては半導体の技術、あるいは MEMS というものにつながるのですが、その間の距離は極めて遠いです。

市川先生のような論理的なものももちろんあるのですが、私の1つの論理です。社会の価値と自由な研究を結びつける、何かここにある種の設計を伴うような統合理化の研究が必要になってきています。私は知的価値に向けて、人プロジェクト、宇宙プロジェクトを統合理化プロジェクトでやります。社会の安寧うんぬんというあたりは、このあたりを組織としてやっていこうということではないでしょうか。

社会技術は、世界の先端を走る研究です。先ほどご紹介いただきましたように、これに関与していましたので、私の周りにも、世界の安全の連中などが「よく日本はあんなプロジェクトができたね。あんなところによく国がお金を出したね」と言っています。そして、ものすごく興味を持って、かつ期待して見ているのです。ですから、「ぜひフロントランナーとして自覚を持って」という失礼ですけれども、その気でやっていただきたいと思えます。

フロントランナーのための条件

知識の全体像と
必要な詳細度での細部情報を
自在に動員する技術

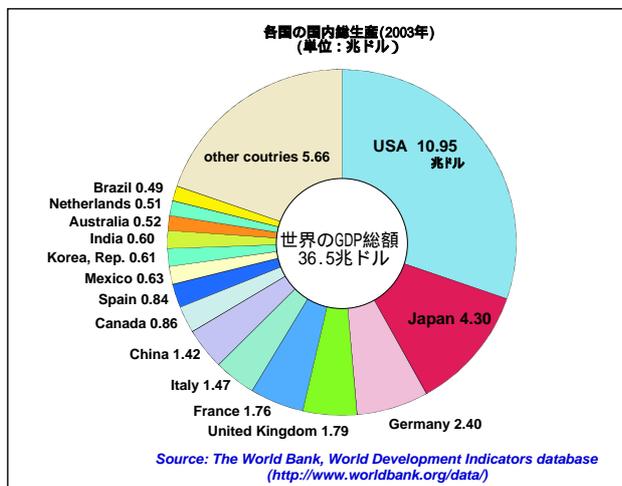
融合による新知識創成を
誘発するような
新たな知識基盤

知の構造化

先頭に立つ勇氣

その1つは、知の構造化だと思います。要するに、自分でやっていかなければなりません。アメリカに新聞のシステムがあるからそれを導入しようとか、高速道路がいいから持ってこようとか、フランスの警察制度を持ってこようとか、これらはあまり知識の構造化はいりません。しかし、これから新しいものをつくっていかうというときには、いったい人類はどういう知識を持っているのかを考えることが不可欠なのです。そうしないと負けます。逆にいえば、そうすれば、勝てると思っているのです。何よりも大事なのは、自分たちはフロントランナーだという自覚、意志です。フロントランナーは誰かが何かやってくれるのを待っていません。私は最近、これが今日本で一番欠けているのではないかと考えています。それは自分たちで社会のシステムまで変えていくということです。

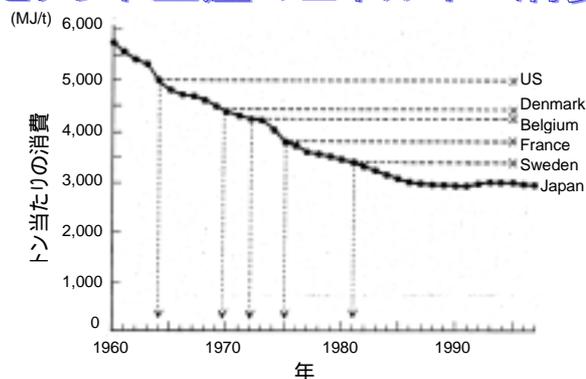
日本は科学技術あるいは経済ではすごいところまでできました。GDPはアメリカが1番、日本は2番だとよく言われます。ドイツ、イギリスを合わせても、日本より小さいわけです。



しかし、アメリカは経済に応じた二酸化炭素を発生していますが、日本はこれしか発生していません。GDPあたりで見ると、4分の1ぐらいしか発生していません。

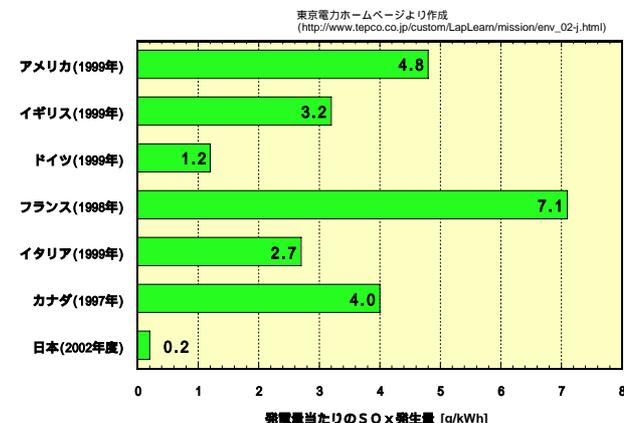
これは、セメント生産のエネルギー消費です。

セメント生産のエネルギー消費



1960年ぐらいからずっと減らしてきました。例えば、1トンのセメントをつくるのに、昔の半分ぐらいでつくっています。ところが、アメリカは同じ量のセメントをつくるのに日本の1.8倍ぐらい使っています。なぜこんなことで産業が成り立つのかというと、エネルギーを3分の1ぐらいの価格に安くしているから、こんな古い技術でやっていけるのです。日本がここにいることは、やはりすごいことなのです。

しかも環境を犠牲にしているかということ、全然そんなことはありません。これはほとんど皆さまがおっしゃらないデータですが、1kWhの電力をつくる時に火力発電所からどれだけのNOx、SOxが出ているかを示しています。



要するに、酸性雨の原因のものが出ているかです。日本と比べて、他の国はまともに脱硫、脱臭をしていません。みんなこのあたりにありました。最近色々やり始めて、特にドイツは相当努力し始めたからこのあたりまでできましたけれども、それでも、まだこれだけの差があります。ドイツは黒い森がどんどん枯れ出したから、こういうのを一生懸命やっています。アメリカのおかげで、今カナダの森林がどんどん枯れ始めています。日本はどうですか？日本の良いところは、ものすごくあるのです。

江戸時代以前の日本は、社会システムを新しくつくるという意味でも織田信長や豊臣秀吉などが楽市楽座などすごいことをしています。それから、長篠の戦で武田軍を破った織田の鉄砲隊は、当時としては世界最強の軍隊という話でした。軍隊が科学技術の1つの表れだとすれば、科学技術でもトップでした。ところが江戸時代に科学技術を休んでしまったのです。茶の湯や生け花ばかりしていたのです。だから浮世絵はすごいです。後期印象派はものすごく影響を受けていて、これはモネです。

左:歌川広重 名所江戸百景・亀戸天神境内



右:モネ 睡蓮の池 緑のハーモニー



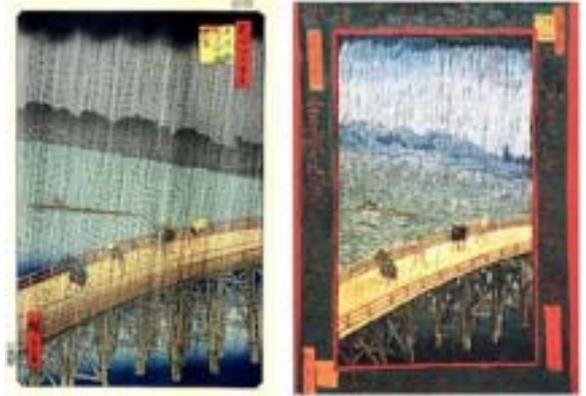
これはゴッホです。

左:歌川広重 亀戸梅屋舗 右:ゴッホ作



これもゴッホだと思います。模写です。

左:歌川広重 大はしあたけの夕立 右:ゴッホ作



これぐらい影響を与えているわけですが、やはり科学技術をさぼってしまったから、ふと気がついてみると1854年に、向こうから来た船は鉄でできている大きな船だったということで、遅れを取り戻す努力を始めました。そうしたら、やはりフロントランナーとして自分たちで、社会システムをつくっていくというところを忘れてしまいました。よく日本人の遺伝子のせいだというけれども、そんなことはありません。それは江戸時代だけです。明治時代、追いかけている間に、諸外国のモデルを探す癖がついてしまったのです。今でもまだアメリカは何をしているのか、フランスは何をしているのかと、まだそこにモデルを探そうとします。

しかしながら、日本は課題先進国です。世界第2の大国で、これだけ狭い国土ですから、矛盾が一番最初に顕在化します。つまり課題の先進国です。高齢化、環境問題、ヒートアイランドなどの課題が一番最初にくるのが日本です。ここで私たちがきちんと解決していけば、それが世界のフロントランナーとして、デファクトスタンダード (defactostandard) になるし、尊敬を集めることにもなるということです。

最後に、グローバリゼーションがアメリカナイゼーションになりつつあるということに非常に、危機感を感じています。先ほどの市川理論で第1象限以外に何があるのか、文化の多様性がいったいどういう価値で、世界の安寧のために何が必要なのかを、ぜひ社会技術の視野に入れていただければと思っています。

グローバルイゼーション アメリカナイゼーション 多様性:文化・自然・種

日本に実力と責任

私はいろいろなことを考えていまして、核の1つはヨーロッパだと思えますけれども、アジアではやはり日本にその実力と責任があるということで、東京大学は科学と社会との距離の短縮を図りたいと思います。

大学のほうも、ぜひよろしくご支援いただきたいと思います。

それから、私たち東京大学は、私の任期4年間に何をするのかを書き出して社会に問います。7月26日にはアクションプランとして発表しようと思っていますので、社会技術と一緒に東京大学も温かく見守っていただきたいと思います。