

防衛技術シンポジウム2012 創立60周年記念 特別講演 I
「科学と社会」
吉川弘之氏

平成24年11月13日

【司会】 続きまして、特別講演 I といたしまして、独立行政法人産業技術総合研究所最高顧問、独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター長、吉川弘之様に、「科学と社会」についてご講演いただきます。(拍手)

吉川弘之先生は、1956年東京大学工学部精密工学科を卒業後、三菱造船に入社、1956年株式会社科学研究所、現在の理化学研究所に入所されました。1966年、東京大学工学部助教授にご着任の後、1989年に東京大学工学部長、1993年に東京大学学長を務められたほか、日本学術会議会長、日本学術振興会会長、放送大学学長などを歴任し、1999年には国際科学会議会長に就任されています。

それでは、吉川弘之先生、お願いいたします。

【吉川】 ご紹介ありがとうございます。吉川でございます。よろしくお願ひいたします。

まず、技術研究本部の60周年を迎えたこと、心からお祝い申し上げます。その間、さまざまなご努力があり、今日があるわけで、心から敬意を表します。

今日の話は、科学と社会という非常に一般的な話題です。これは社会があつての科学ですから、当然と言えば当然ですが、最近さまざまな、私たちの周辺で起きていることが、どうも科学と一般的な社会との対話というのか、連絡というのか、コミュニケーションが必ずしも十分でない。そういうことがあつて、科学、例えば今日もお話ししますが、原子力発電所の事故とか、あるいはそれ以外にもさまざまなトラブルが起こる。あるいは、産業自身にしても、どういう技術が発展するののかという見通しがつかないとか、そういった科学の将来が見えないということがありながら、一方で科学がなければもはや社会は成り立たないという、ある意味では非常に不思議な状況が起きているのです。

今回のノーベル賞を受賞しました山中さんの研究はすばらしい。山中さんという方も素敵な人ですが、山中さんの研究がすばらしい。医療に革命を起こすすばらしさの一方で、それが現実に使われたとき、果たして人間の生命に対してどういう影響を与えるのか。使われ方によって何が起こるのか予想がつかない。生命倫理の中でどのように位置づけるのか、よくわからない。そういったように、科学というのはどんどん進んでいくのですが、どうもそれが社会の中ではなくて、社会の外で進んでいるような気がする。そういうことからいって、私たちはもう少し深くその問題を考え直したほうがいいと考えているのですが、そういったことを含めて、幾つかのお話をしてみたいと思います。

まず、科学って一体何なのでしょう。当たり前のことを聞かれたような気がしますね。今日おいでの皆さんは、科学を学んだ方が多いと思います。科学というのは小学校からやるわけで、小学校、中学校、高校、大学を通じて、ずっと科学を学んだ。理科系も文科系もみんな科学ですから、学校ではほとんど科学を学んでいるのです。しかし、一体科学とは何かと聞かれても簡単には答えられない。あまりに範囲が広いので答えようがない。そこでやや狭くして、例えば物理学とは一体何かを考える。物理学は科学の王者と言われる。物理学で研究した方法というのはいろいろなところへ流れていって、多くの工学、さらには今日の皆様のご関心の技術も、みんな物理学に依拠していますが、それでは物理学とは何か、その答えも決して簡単ではない。それをごく簡単に、ここで考えてみようと思います。

物理学というのは、ちょっと堅苦しい表現になりますが、自然界の多様な現象の背後に

ある普遍的な法則を求めようとするものです。そしてこの基本的な点は、他の科学でも共通だと言えます。物理学に限らず、科学というのは現象を見て、あ、おもしろいとか不思議だと感じる、なぜこんな現象が起こるのだろうと考えることが出発点です。そのうえで、この最後の、なぜ起こるのかということが大事で、その起こる原因として背後にこういう規則があったということを見つけ出すことになります。これは科学の法則といいます、それを発見する。この法則によって、こういう現象が起こる。実は、法則はいろいろな現象を起こします。そう考えると法則は非常に強力な力を持っている。その法則を使えば、今まで人間ができないことができるようになる。科学の偉大さというのは、法則を発見するだけでなく、新しい行動を可能にするということにもあるのです。

昔はあの星、空に光るあのものは何だろうと思った時代が、古い中国とか、あるいはヨーロッパのギリシャ時代なんかみんなあったわけです。そのときは科学者も一般の人々も、同じようなことに関心を持っていた。これは人間本来の興味なのです。ですから一口に言うと、科学というのは人間の非常に本質的な好奇心。すなわち知らないものがあると、あれは一体何だろうと思うところから発したものであることは間違いないのであり、古代においては好奇心が誰にも共有されていたことから言えるように、科学は人間にとって本質的なものだと思います。

ところが、近代になると変わってきます。ニュートンという人を考えてみます。何をやった人だと思いませんか。ニュートンの法則、これはみんな知っていますね。リンゴが落ちるといふ逸話がよく言われますが、ニュートンは力学を創造し、立派な力学の本を書いたのです。それが現代科学の父と言われるほど、ニュートンの考え方は大きな影響を与え続け、現在でも与えているのです。ニュートンの偉大なのは力学をつくったことだった、力学の父だと言われます。それはそのとおりなんです、それだけではなくて、今申し上げたこと、すなわちサー・アイザック・ニュートンは、全く違うように見える現象の背後に、共通の法則があることを発見したという点で偉大なのです。

簡単に言えば、天空を運動している星の運動と、目の前の木から落ちるリンゴが、実は同じ法則で起こっているということです。これは今から言えば当たり前で、重力があるから星がお互いに吸引し合って、月は地球と月の間の引力でぐるぐる回っているわけですし、それと同じような原因で、木についているリンゴがポトッと落ちる。同じ重力です。それはもう常識ですが、ニュートンの時代はまだ神学が中心にあった時代で、科学というのはまだ一群の、非常に少数の人しかやっていない。世の中を支配している強力な、巨大な神聖なる何かが存在して、それが地球を動かしている、宇宙を動かしていると考える。そのとき、もう天体というのはわかっていたわけですね。星のあれは単なる点に張り付いた明かりではなくて、遠い立体だということはわかっていたのですが、あんな大きなものをぐるぐる回している巨大な神というものが存在しているに違いない。そういう宇宙観で、それは神の支配のもとに存在していた。そう考えている人にとって、天空の星と目の前に落ちてきたリンゴをポッと取って食べるということを一緒にされたら、たまらないわけです。リンゴなんていうのは人間のつくった畑に生えているものであって、そんなものと、神聖な神がつくった天体とを一緒にするなんていうのはとんでもないという、神学者からの大きな反論があった。現世における身の回りの事件と天空の運動を一緒にすることは許されないというのが基本的な考えだったわけですね。

そういったものに対して、鋭く、そうではない、目の前の現象も天空の現象も、同じだということを使った。星の運動とリンゴは同じだと言ったわけですね。今になってみれば当たり前だけれども、当時の時代の状況を考えると、極めて大胆で、ある意味では勇気のある、命をかけた提案であったわけです。しかし、科学というのはそうやって発展してきたものなのです。伝統的な、しかし非科学的な考え方をどんどん突破してきた。ニュートンは、星とリンゴが同じだと言っただけではなくて、それが世界すべてに成立する一つの法則であるということを使ったわけです。

リンゴが落ちてニュートンが力学を発見したという逸話は本当ではないという人もいま

すが、皆さんはケンブリッジ大学というのに行ったことがおありだと思いますけれども、これがニュートンの木だというのが3本ぐらいあります。どうしてニュートンの木が3本あるのかわからないと言ったら挿し木でつくったんだと説明していました。日本にもありますから挿し木でしょう。ニュートンの木って、小さな木なんです。そういうのがあって、このリンゴの木あったから重力が発見されたと自慢をします。でもリンゴは南の島にはない。ですから南の島の人には永久に重力を発見できなかったかということ、そんなことはない。もしニュートンが発見しなければ、今度はバナナが南で落ちるのを見て発見した人が出てきたでしょう。

ニュートンはイギリス人で、イギリスのウールズソープという自分の生まれた田舎の庭で、リンゴを見て発見したといわれますが、イギリスでなくても、世界中どこでも発見する機会はあった。この法則は地球上のどこでも成立するからです。もちろん発見のためには偉大な人がいるという条件が付きます。この話はもう一回出てきます。リンゴが落ちるのを利用することができるということは、バナナが落ちてくることも利用できる。実はこれが技術なのです。その話は後から出てきます。

実はニュートンの3法則というのは非常に簡単で、これも高校時代を思い出していただきたいのですが、力を加えられない物体は同じ運動を続ける。同じ運動というのは直線運動ですね。ずっととまっているか、真っすぐに同じ速度で運動していく。力を加えると、それは加速度を持つ。で、万有引力が月に対して地球のほうへ引っ張っていますから、その万有引力によってぐるぐる周りを回っているわけですね。そういう運動が起こる。回転運動は重力によるわけです。

それから3番目は、作用・反作用の法則というので、力を加えると、これは本当に毎日我々がやっていることで、机に力をかけると、机は自分に力をかけているように見えますよね。別に机はかけようという意識はありませんけれども、我々の意思で押すと、机が反発して押してくる。これが作用・反作用の法則。ニュートンの法則というのはこの3つだけです。で、重力の法則は3法則とは別物です。重力でなくても何か力があればいい。力と運動の関係をこの3つだけで完全に説明した。

こんな簡単なことで世界の動きを全部説明されてはかなわないということで、大論争が起こる。実はニュートンはこういう考え方を20代で既に発見して、20代から30代にかけてずっとメモを書きます。しかしなかなか本にしないのです。45歳になってになってついに本を書く。それくらい難しい話だったのですが、中身は非常に単純明快であったのです。この3つの法則で、天体、惑星も恒星も、惑星と恒星とは全然違う運動をしていますよね。その運動の全てを説明してしまったということです。

さて問題は、このニュートンの法則の偉大さは、世界のさまざまな現象の背後にある共通の法則を発見したということなのですが、それだけではなくて、それを使って何かができるということも重要です。科学のすごいことは、そこですよ。あれがわかった、これがわかった、それもわかったと、多くの知識が得られるのですが、それだけではなくてその知識を使って行動することができる。その典型的な例が、まさに最近日本で行われたはやぶさで、イトカワという小惑星に向かって飛んで行って、そこの土を持って帰って、それで宇宙の生成の秘密を探ろうという快挙です。

ごく簡単に説明します。もちろんもっと細かい話はいっぱいあり、相対性理論などの理論も使いますが、大まかに言えば $F = M\alpha$ 。これはニュートンの第2法則です。これを使ったわけです。あるものをポーンと加速度を与えて地球から放り出せば、地球の引力は当然のことで、周りにある天体、月の引力などいっぱい周りに重力を及ぼすものがある。そういった中を縫ってずっと飛んで行って、ぐるぐる回って、ついにイトカワに追いつき、イトカワの土を持って、また自分の力でポーンと飛び出してきて、いろいろな力に抗して地球に戻ってくる。こういう計画を立てたわけですね。それはニュートン力学を中心とするいろいろな計算をすれば求まる。こういう面倒な計算をした人たちが、JAXAというところにいらっしやっただけです。

イトカワに向かう人工惑星はやぶさがあり、これはこんな形になっています。ここに太陽があって、地球が回っていて、火星が回っていて、イトカワがこういう楕円軌道を回っている。イトカワは非常に小さな惑星ですから、その引力はほとんど問題にならないので自然落下は利用できない。地球から飛ばして、イトカワをずっと追っかけていくわけです。エンジンで速度を変えて追いつく。追いついて、乗っかる。もともと4年だったと思いますね。4年で帰ってくるように計画したと、このグループの人たちは言っています。4年で帰ってくるはずだったのだけれども、どこかへ行っちゃうわけですね。これは新聞等でいっぱい出ましたけれども、エンジンの故障とか何かで、結局見失ってしまう。見失ったけれども、幸いにニュートンの法則ですから、エンジンがなくなってもぐるぐる惑星になって、はやぶさも回っているわけです。ですから、どこかでそれを見つけて、もう一回エンジンを作動すれば帰れるかもしれないということで、何年間も苦労されて、その結果、ついに浮遊しているはやぶさを捉えて、それに信号を与えて、かすかに残っていたエンジンで地球に帰ってくる。これは非常に劇的だったので、非常に大騒ぎになりました。その間の、非常に長い間の関係者の、研究者たちの苦労、苦労でもあり楽しみでもあったでしょうが、その人たちの情熱というのは非常に大きいものがありました。

ですから、ニュートン力学でこれができたという話をしていますが、決してニュートン力学だけでできたわけではない。今お話ししたように、計算をした人、装置を作った人、エンジンをつくった人がいましたし、そのエンジンの燃料をつくった人もいたわけです。それで最も大事なのが、こんな難しいことをやってみようという計画した人の情熱があり、現実途中で危なくなりながら、それを耐えてきた忍耐力を持った研究者たちがいた。そういったものが全部一緒になって、はやぶさはイトカワ着地に成功し、実際に土を持って帰ってくるわけですね。オーストラリアのあるところに到着して、実際にそういうものを持って帰り、今その分析が行われているそうではありますが、太陽系の生成についての大きな秘密もそれからわかるだろうということが期待されている。もともと17世紀のニュートンが発見したことを、我々現代人が受けとめて、宇宙の大きな秘密を解決するというところまで持ってくるのができたわけです。

さて、ニュートン以後の科学の発展はどうなったか。これを少し見てみます。ニュートンが生まれたので、天体がみんなわかった。それは大きな話題ですが、それ以外にもさまざまなことがあります。ニュートンの場合はどうだったかということ、神学が世界を支配しているときに、世界を支配している神というのは一体何なのか。これは聖書等に書いてありますけれども、科学的な精神を持っている人には理解しがたいわけで、それを科学的に説明したのですが、ニュートン以後も他の多くの分野の問題が似たような経過で科学的知識を生み出してゆきます。

もっと身近な、人間に対するさまざまな攻撃があり、皆その本質はわからないので被害を受けてしまう。攻撃にはこの左に書いてあるようにいろいろあります。人間は邪悪なるものと戦わなければならなかった。例えば病原菌が襲うとか、嵐が来るとか、多様な外敵があった。そういったものと戦って、結局勝利を得たのです。弱い人間なのに知恵を使うことによって、人間よりも巨大な猛獣であるとか、人間からは想像もつかないような嵐であるとか、そういったものと戦って、結局勝ったわけですね。勝ったからこそ、人類は生き延びてきたわけです。人類というのは本来、そんなに強いものではないのだけれども、知恵があったことで生き延びてきた。言い換えれば、人間を攻撃する者の背後にある法則を見つけ、それに対抗する方法を発明して、以後それを利用して同種の攻撃を押さえつける。すなわち、ニュートンと同じ科学的方法による力です。

勝利を得た、そして勝利を得ただけではなくて、知識も得た。これが大事なところですね。なぜ弱い人間が、このように強い外敵に対して、猛獣を打ち倒すことができたのか。それは邪悪なものの背後にある本質的のものに対抗する武器であったり、考え抜いた戦略であったりしたでしょう。そしてそういったものは次世代に語り伝えられていくのです。すなわち、継承可能な知識というものも獲得した。これが非常に大事なところですね。邪悪な

るものと戦い、勝ったと同時に、知識を得た。その知識が蓄えられてきて、その知識が整理され、科学となった。その科学を使って、人工物というか、先ほどのやぶさのようなものがつくられるわけですね。こうやって科学というのは、知識をつくり出す。その知識を利用して、物づくりが行われる。こういう基本的な形式に従って、人類は次第に近代社会をつくり上げてきたとすることができます。

過去の邪悪なるものとしてどういうのがあったかという、それはいろいろありますよね。今言ったように嵐であったり、干ばつであったり、洪水であったり、もちろん地震は現代でもまだ非常に大きな脅威です。地震は予測がつかないという意味において、非常に脅威です。ただ、洪水とか干ばつは、わりあいと早くわかる。ですから、比較的我々はそういったものに対して、例えば上手にかんがいの水を送ることによって、干ばつを避けることができるということは、かなり昔からできるようになって、いわゆる食糧の飢饉というのは比較的回避されるようになった。しかし、地震は残念ながらまだですね。

一方、生き物としては病原菌の問題があります。病原菌というのは昔から何回も、ペストで何百万人という人間を一遍に殺してしまったというヨーロッパの大きな事件もあったわけですが、初めはわからないわけですね。何か神のたたりかと考えて、一生懸命お祈りをやっていた時代もあったのですが、最後にペストの背後に、病原菌が人間を破壊するという法則を発見する。その結果、病原菌を人間と隔離すればいいと考え、今度は技術を発明して、例えば缶詰ができたわけですね。瓶詰ができた、いろいろな方法で腐らないものができる。そうやって病原菌から人間を排除することによって、病原菌を制御することができる。同じく害虫もそうでしょう。猛獣なんかも、みんな家畜にするぐらい、人間というのはすごい能力を持っていたわけです。

そして、これは人間ですけれども、海賊とか盗賊とか暴君とか、よこしまな心を持っているものも邪悪なものでしょう。それらに対しては、例えば社会に秩序をつくる法律をつくる。これはちょっと人工物とは違いますけれども、法律をつくることによって、そういう物事をきちんといさめていこうということもやります。それから貧困、これはなかなか問題で、今でも世界中で常に問題になっています。貧困というのも非常に邪悪なもので、どうやって豊かさを、例えば食糧とか家とか衣服が不足すれば貧困ですけれども、そういったものをどうやって豊かにするかというのは、現在の例えば物づくりの生産技術や製造業が中心だと思われま。病原菌への対抗が医学になる。そういった各科学分野がそれぞれ生まれてきて、それぞれの問題に対抗する力を蓄えてゆきます。

科学的知識あるいは学問という、人類の歴史を通して蓄えられて人類の力であり続けるものの起源を考えると、そこには戦いがある。悪人をいさめる行為から倫理学が生まれる。暴君に対しては論理学が生まれる。実際にギリシャで、ソクラテスがアテナイに住んでいて、自分の数々の悪いことを責めるような為政者がいる。それに対して、アテナイ人に向かって、自分は正しいことをやってきたと主張する。なぜ正しいかというのを必死に説明する。その必死に説明した本というのが残っている。そこに書かれていることは論理的です。そのころ、論理学はありません。しかし一生懸命、自分が正しいということを、こうだからこうなんだ、こうであるからこうなんだ、一般的なこういうことを利用すればこうなるというようなことがいっぱい書いてあって、それは論理的思考です。実はこういった、ソクラテスが自分の主張を通し、暴君を倒そうとした、こういう現実の邪悪なるものに対する抵抗を通じて、論理学という我々が学校で学ぶような学問ができてくると考えざるを得ません。

ですから、学問というのは誰かがじっと部屋の中で考えて、たまたまつくり出したものではなくて、現実命をかけて戦った中から生まれてきたものが学問だと考えるのが本当だと思います。人間の歴史を見るとどちらかといえばつらい現場からしか知識というのは生まれてこなかったように思われます。ぬくぬくとした生活からは、あまりいいアイデアは出てきていないのです。みんな厳しいところから出てくる。倫理学もそうです。

伝染病は最もわかりやすい話で、先ほども言ったように、実際に伝染病は細菌が原因で

あるということがわかった途端に、その細菌をどう排除するかがわかり制御できるようになる。そして一方でこれが細菌学という学問になってくるのです。細菌というのはこういうところに次第に増殖してくるとか、どういう薬をかければ死滅するとか、どれぐらいの小さな穴を通ることができないとか、そういったいろいろなことがわかってきます。またある温度にすれば死滅するなど、いわば微生物に対するいろいろな知識を蓄積することによって、微生物が人間を襲うことを防げるようになった。このような知識は、次第に体系化される。それが細菌学です。

現在、微生物化学は非常に役に立っています。例えば最近では、ある微生物を入れるとお酒がおいしくなるなんていうのも入っていますから、今や微生物はかつて人類を滅ぼしたものだとは誰も考えないでお酒を飲んでいる。さらに進んで、最近のバイオサイエンスです。生命科学は人類の細胞まであるいは遺伝子まで入って行って、さまざまなことができるようになってきた。これももともとはペストとの闘いだっただけなのです。でも今は、お酒を飲んでいる人は、ペストを思い出しながら飲んでいる人はいないでしょう。それではおいしくなくなってしまいます。

同じく嵐もそうですね。嵐は気象学を生みまし、地震は地震学を生んだ。これは最近非常に話題になっていて、特に昨年の津波、地震におきましては、予測できなかったのかという点に関して地震学者が非常に悩んで、さまざまな議論が行われています。今のところ正確な予報がいつできるか予想できません。一時は、20年ぐらい前でしたか、地震予測学の分野が大きな予算を日本でとったことがある。しかし地震学による予想はできなかった。それと関係なく雲の形が変わるとか、動物が動くとか、いろいろなことが提案されましたが決定的なものはない。それは証明できない、科学ではない、単なる昔の祈祷師と同じだというような悪口を言われてしまいます。そして今は、地球物理科学をより深く研究して、予想の精度を高めるという方向になっています。地球のことをよく理解すればするほど地震がわかるという考え方に近づいて、二十数年前に予測学が一時打ち切られ、正当な地震学が中心になります。

しかし、いつまでも地震学で地震とは何かを言っているだけではおさまりません。現実にこれだけの被害が起こっている。完全にわかればいいことはないが、わからないにしても社会に対して何か一つのメッセージを与えるようにしてくれという議論が今、非常に強く起こっているのです。ここで科学と社会の関係とは何かという問題が出てきます。

最近になって、30年間に75%の確率で地震が起こるよという予測をしてみた。これはあんまりうれしくないんですね。30年間に75%、これは明日起こるかもしれないし、30年後に起こるかもしれない。そういうことでしかない。また最近は、ここで起こる地震は、現在起こるか500年後に起こるかかわからないというような結果もあります。それぐらいの精度なのです。しかし、いつ起こるかという予想とは別に規模はかなりの精度で分かります。起こればこれくらい大きさであるということがわかる。したがって、この地域はこれだけの防衛体制をしていこうと助言する。このように、社会と科学の関係というのはなかなか難しいわけで、科学でわかったことをただ使えではだめなのです。そうではなくて、科学者も実は社会の状況を考えて、それにどうやって役に立つかを考えることが大事になるということかと思えます。

今度は、技術のことをもう少し考えてみましょう。既に幾つかお話ししましたが、技術って一体何なのだろうか。これも考えてみると難しいですね。今、私が申し上げたのは、科学ができたから技術ができた。ニュートン力学があったから、はやぶさが飛んだ。こういうことを言いましたが、しかし技術というのは昔からあったわけです。17世紀から18世紀にかけて科学ができたと言われていのですけれども、それ以前に技術はいっぱいあったわけで、技術は科学とは、とりあえず関係がない。現在の技術が科学に依拠しているのは確かなのですが。

これはさっきの図と似ていますが、科学と技術というのは何が違いかという、左側は科学で、ニュートンはリンゴが落ちるのを見て、はっと気がついた。ここには重力という

ものが存在していて、物体はこういう力の中では運動するのだと気が付く。そしてニュートン力学をつくった。右は技術です。これは、木をゆすったら、上からほとんど落ちてきた。それをかごに収穫する。使っているのは同じもの、重力によって物が落ちてくるといふ現象にはかならないのですが、左側はそれから偉大なニュートン力学を発見し、右側は商売できるリンゴを獲得したということになります。

そういうことで、似ているというか、現象は同じだけれども、その現象に対して人間がとる態度というか、人間の持っている価値観が違うということです。科学は、わかった、わかったことで満足する。技術というのは何か結果が出て、人間にとっていいことがあった、あったことで満足するということです。どちらかという、技術が社会の側にあり、科学は科学者の側にあるといつてよいでしょう。科学というのはいくらあっても、そのままでは社会にとってほとんど影響がない。マニアみたいな人はいますけれども、ほとんど影響がない。しかし技術に姿を変えると、これはものすごく世界を変えてしまう。

大昔のことを考えてみると、例えばピラミッドが作られたとき、これは大した科学はなかった。もちろん、科学的な人はいて、これは支配者だったのですが、支配者は太陽が一定の方向から出るとか、そういうのは精緻な知識を持っていた。そういったものと、あとは別の民族の、被支配者。これらにどうやって作業をさせるか。自然についての基本的な知識と戦争に勝った支配した人々を働かせる方法、この2つを知っていれば、ピラミッドができたのです。そのころ知識はあったにせよ、現代の科学とは比較にならないものでした。

しかし、現代の科学とは異質の知識を持っていたということはあります巨大な建造を物を作り、それを何千年も持たせるためには、どのような石がよいとか、混ぜてはいけない石とかの材料の知識、あるいは、構造の角度はあんまり平らにすると壊れてしまう、あんまり高くすれば崩れるなど構造力学的な知識があった。経験的知識といつてもよいでしょう。

そういったことを知っていたという意味で、決して科学がないから技術が低かったということはないのです。現代だって、こんなピラミッドはできないのではないと言われるぐらい、ピラミッドは高い技術を持っていると考えられます。ただしそのためには、大勢の人と長い時間、何十年とかけて、あるいは何百年とかけてつくった。世代を通じてつくったというものもある。おそらく作りながら知識を蓄えていったのでしょう。今だったら有り余る科学的知識を使って1年で作る。しかしどちらがよいピラミッドかは何とも言えない。むしろ短期で作ることの問題があります。

ピラミッドを作った技術を第1のパラダイムと呼んでおきます。人間が人間の力だけでつくる。それに対して、時代が下ると少し違う考え方、中世における発明というのがあります。これは人間がやっている作業をこのように分割する。人間は例えば第1のパラダイムでは、石を運んだり削ったり、なんでも上手にやる。人間というのはすばらしい作業者です。しかし運んでいる人は運んでいるだけなのです。削っている人は削っているだけ。ということは、もしかしたら、人間そのものをつくることは絶対にできませんけれども、運ぶだけのものなら機械でもできるのではないかと思う。これが偉大な機械の発明の出発です。

これを機能の強化、あるいは機能分割というのです。機能の分割ということに彼らは気がつく。こういうことに気がつくのも、何千年とかかるんですね。これは大事なことです。人間のおりのもの、人間と同じ機械すなわちロボットはつくることはできないけれども、例えば機を織るだけならできる。収穫するだけならできる。旋盤だけならできる。もちろん、人間の助けは要りますよね。そうやって、こういう形のものをつくると、人間がこういう簡単な工具を使ってやっているよりも、はるかに効率的なものができてきます。

こういうものが一旦できると、今度はこれを高速化したくなってくる。例えばこういう機織り機械があつて、これはやったことがある方はご存じだと思いますが、やわやわしているんですね。これを押すとぎしぎし揺れるような。日本の機というのはやわらかい柔構

造をしています。柔構造をしていたら、布なんかのこの糸の部分は正確に織れないと思うでしょうが、実はここに座っている人がこの布をずっと見ながら、腰で制御しているのです。ですから下手な人が使うと、この目が粗くなってしまいます。不ぞろいになってしまいます。しかし上手な人がやると、ピシッと織れる。そういったように、人間と機械が一体になってやっていた。こういう人間機械系というのが中世にはたくさんあって、人間のよさと機械のよさとがうまく合体していたのです。今でももちろんこういう機はあります。

しかしこれは、どう考えても遅い。1つ織るのに何日もかかる。1着分のきれをつくるのに何日もかかる。したがって布は高価なものだった。これを速くしようとする、この運動をバタバタと速く動かす。速く動かすと、振動して機械が壊れてしまう。そこで実は、剛体のほうが良いということになる。スピードに対して耐えるということになってきて、ついに人間が手を下すことができるような速さではない、ものすごい速さでぐるぐる回る自動織機ができてくる。この剛構造に動力が入ってくる。この動力が入ってくるのが、実は産業革命なのです。剛体が理想という剛体信仰が起こり、その結果として動力が可能となる。

1784年、産業革命の幕あけの、これをもって産業革命と呼ぶのですが、ジェームズ・ワットがさまざまな機械、耕運機で使われているもの、それから織機で使われているもの、そういったものの機械要素を自由に集めてきて、複雑な熱機関を作る。大事なところは、熱力学という学問があった。これはジェームズ・ワットが発明したわけではありません。ブラックという、同じエディンバラに住んでいた化学者が、試験管で実験していた。そうやって熱の科学というのをつくっていたのです。熱は科学研究の大きな課題でした。

その熱力学をワットは教わって、それから熱が力に変わるということを利用する。これも大発見ですよ。熱は熱い、熱いと言っているだけでは、お湯を沸かすことにしか使えない。それが実は力になる。やかんのふたがパタパタ動いているのを見て、ジェームズ・ワットは「これだ」と言ったという話がありますが、これはただの逸話でしょう。エネルギーが力になることを示す良い例ではありません。

いずれにしても、こういった熱力学という科学者が研究して得た結果、あるいは材料の強度について科学者が研究で得た結果、そういったものを全部寄せ集めて、ジェームズ・ワットが蒸気機関というものをつくる。これは今でも大英博物館に置いてあり見ることができます。蒸気機関は、ここに水を入れて温めると、蒸気となりその膨張した力で、このレバーが持ち上がる。するとこれがリンクになっていて、これが回る。つぼまるときにはその蒸気を、ふたをあけて逃がす。上げるときには今度、これを閉めて熱する。いずれにしても、こうやって熱機関の原型ができます。今の機関も原理的には同じものです。さらに、ジェームズ・ワットは调速機というのを発明して、一定の速度で回るようにする。

このように、いろいろな人がいろいろなところで発明したものを寄せ集めて、しかもそこに科学で発見された諸知識を入れて、そして物をつくる。ですから、物をつくるというのは大変いろいろな知識を寄せ集めなければなりません。物を作ることの本質はここにあり、皆様が今お考えになっている防衛関係の機器も、決してほかの人のことをみんな忘れて、自分の考えだけでやっているわけではないと思います。一つの専門分野にこだわらず、使える知識は皆使う。そして社会の役に立つものをつくる。科学者は自分の専門の中で考えていて、他の分野で何が起きているかは考えない。技術を作る人は、科学者が作った知識を使うのですが、ただ集めるだけでは何もできない。知識を集め、社会に役立つものを作るのは、科学者とは違う、技術者固有の、難しい仕事なのです。その仕事は経験だけでなく、固有の理論もできつつあります。

これは余談ですけれども、第2のパラダイムでは、ついに頭脳労働の自動化まで行われてしまったということです。実は第3のパラダイムというものもあって、これはロボットなのです。これは技術研究本部の方々でも非常に興味を持っておられると思いますが、特に原子力発電所の事故の場合に活躍したということもあり、ロボットが非常に大きな可能性を持っているのは確かですけれども、残念ながら未完成ですね。

第3のパラダイムだというのは、さっきの剛体信仰というのを再び捨ててしまったんですね。機械は硬ければかたいほどいい。無人化工場なんていうのは、びくともしないかたい形になっていて、人間は誰もいないで、ガーッと高速で動いているわけですね。それに比べて、要するに剛性が低い。高速作業は得意じゃない。精度が悪い。強力でない。ロボットはこういうものなのです。ですから昔で言えば、まだ非常に初期の機会であった、ややわな機織り機械みたいな感じです。しかしながら、機織り機と違って器用であり、柔軟であり、適応性を持ち、創造性がある。これは現代のほかの技術を、コンピューター技術、センサー技術、アクチュエータなどいろいろな新技術を入れて、非常に知能が高くなってきている。ロボットは新しい型の機械として広い応用への期待が持てるものだと考えています。

これは私のところで研究したのですが、1970年代の終わりにこういうロボットをつくって、これを原子力発電所に入れようとしたのです。スリーマイルアイランド事故の起こる前だったのですが、原子炉のメンテナンスや修理のために使う目的で作ったのです。東大の何人かの助教授のグループが共同研究しつつ作ったのですが、このロボットの名前のMOOTYというのが5人の助教授の名前の頭文字です。若い教授たちの頭文字。70年代で私も若かったのですが、私よりみんな若い人で集まってこういうロボットをつくりました。きれいな格好のものは2号機で、東芝の原子力関係の方をお願いして、こういう試作機をつくっていただいた。しかし、実際にこれは使われなかったのです。

これは9つの自由度を持っていて、非常に放射線の高い部分に入っても自分は壊れずに、手だけを伸ばして、ここに障壁を置いておいて向こう側で作業できる。このためにはたくさん曲がる場所を持っていなければならない。こういうのを運動の自由度といいますけれども、運動の自由度が、普通はロボットは3とか4ぐらいですが、これは9つ持っている。ですから、いろいろな複雑な部分に、穴の中に手を突っ込むこともできるとか、こういったパイプの向こう側をいじれるとか、いろいろなことができるものだった。

原子力発電所の中のバルブは、みんな複雑な構造の中に入っていますから、そういうところへ近づいていって、手を回して作業をするためには、非常に難しい形になることが要求される。これは原子炉の格納容器の複雑な配管群の中で、何でも作業できるようにつくってあったのですが、そのとき電力会社からこんなものはうちには要らない、故障なんかしつこくないんだからといわれて、残念ながら入れてもらえなかった。そう言われて、すげすげ引き下がってきたという時代がありました。1980年の初めのことでした。

さて今度は、あとの時間を使って本論、科学に基礎づけられた人工物の急速な発展について考えます。ジェームズ・ワットになって初めて科学が技術に正式に利用されたのですが、そこから産業革命以後、機械は急速に進歩します。この進歩は、再三申し上げているように、科学が技術の基礎になったからですね。こういうことになると、科学者というのは一つの職業として認められるようになります。18世紀以降、今から二百何十年前です。それまでは科学者は大学の教育者であったり、副業でやっていた。それが職業として給料をもらって、自分の研究室で研究できるようになり、科学者が社会に認められるようになる。それがさらに進むと研究することが本命になり、いい研究をすることによって有名になることが目的になる。それで、研究したことは、論文に書いて発表し、それがどのように使われるかに関心がなくなる。世の中に論文をぼんぼん放り出していく。こっち側には、またこれで一もうけしようという人がいて、それをどんどん受け取って新しい製品をつくっていく。こういう社会的構造ができる。

これが実は、非常に高速な、科学の急速な発展と技術の急速な発展を促した、19世紀と20世紀の形の科学と技術の発展の形だったのです。進歩が急速であったが、科学とそれを使う技術、社会との間には厚い壁があって、科学者と社会との対話がない。これが今日の話です。19世紀、20世紀はこれで空速の進歩によって豊かさも急速に増したのだからこれでよかった。しかし、その結果、だんだんいろいろなことが起こってくるのです。

例えばこれは機械製品の部品の数。数え方はいろいろ問題ありますけれども、機械というのは大体どれぐらいの部品を持っているかということです。一番下は、これ何だかわかりますか。文鎮です。文鎮というのは1個の部品からできています。文鎮を機械と呼んでいいかどうかは別ですけども、それは1個の部品しかないのに立派な機能を持っている。機能というのは重さですよね。重さによって紙が飛ばないように押さえつけるという立派な機能を持っているわけですから、これは立派な機械だ。これを私は機械の根源だと呼んでいるわけで、そういうものが1つあります。

その上、モバイルフォンは300、スマートフォンは1,000。それから、工作機械は3,000。ずっと上がってきて、上から3番目のスーパーコンピューター「京」は、100万個の部品を持っていると言われていています。それに対して航空機は500万個。一番多いのは原子力発電所です。したがって、原子力発電所というのは非常に複雑な装置なのです。機械系もあり、熱系もあり、制御系もあり、計測器もあり、あらゆるものがそこに詰まっていて、複雑な機械なのです。

複雑な機械というのは進んだ機械ですから、もちろん、こんなものができるようになった人類は大変な技術の雨量句を身につけたわけで、喜んでよい。しかし大勢で作った後、この1,000万個の部品を誰が覚えているのか。すると何か怖くなりますね。その部品の1個が何かを起こしていても、それを誰が知るのか。人間の能力をもしかしたら人工物が超えつつあるのではないかということ、ここで私は考えてしまうのです。どんどん作るのはよいが、作ったものの中で何が起こるか知っているのは誰もいなくなってしまう。そして結局、こういうことが起こる。

例えば、こういうことも起こります。寿命というのがある。人工物が持っている寿命です。ピラミッドは数千年もっています。今、8,000年とか言われている。おそらく1万年も2万年もつでしょう。もともとピラミッドというのは、永久にもつことを目的につくられたものですから、当然といえば当然です。

それに対して中世の教会はまだ残っていますから、数百年は残っている。産業革命のときにできた蒸気機関車はどうか。これは部品を取りかえますけれども、数十年はもちます。それに対して自動車はどうかというと、数年です。私は頑張って12年乗ったのですけれども、非常に苦しみました。セールスマンが毎日来て、かえろ、かえろって言われます。何か知らないけど好きで乗っていたのだからまだ使えるのですが、変人だといわれる。しかし、現在は平均がほとんど三、四年です。新車に買いかえたほうが燃費がいいということもあり、短くなってきた。驚くことに、スマートフォンなんかは1年もたないですよ。半年とかそれぐらいで、どんどん変わってしまう。

そうすると、現在の科学技術の進歩、技術の進歩って一体何かというと、寿命を短くしたことなのかもしれない。何か不思議な気がしますね。寿命を短くすることが、技術の進歩の原因だったというか、結果だったというか。実は両方です。原因だというのは、例えば自動車が数千年もったら、自動車は進歩しません。みんな数千年乗っているわけですから、進歩しない。短いほうが進歩するに決まっている。もう一つは、短くしたほうが安くできるということがある。そういった幾つかの理由によって短くなったのですが、果たしてこれでいいのかという問題が生じてきた。これが現在の環境問題に悪い影響を与えているのではないか。誰か間違えた考えを持ってそうなったのかということではなく、原因はだれも考える人がいなかったからです。

技術だけでなく、科学の世界にも同じことがあります。ギリシャ時代の哲学者の自然観は、2つあったんですね。一つは、デモクリトスが言ったように、粒々からできている。これは現在の原子論、あるいは素粒子論という形で、極限的な知識をずっと追っているわけですね。

もう一つはヘラクレイトスが言ったことで、万物は流転する。今あそこに流れている川は、何千万年前には山だったのだと。こういうことを言っているわけです。さらにおもしろいことに、今、私の鼻にある酸素の原子は、6,000万年前には恐竜の尻尾にあった。

これは、みんな驚いたわけね。驚いたってことは、誰もそんなことは確かめられませんから驚いたというのもあるんだけど、うそだとも言えない。原子というのはもちろん壊れたりしますけれども、ほとんどの原子は残っていて、地球上をぐるぐる回って、山になり川になり、生き物になり、生き物はもちろん土になりますね。そうやって原子は回っているわけでしょう。ところが、回っていることについての学問を、人間はやってこなかったのです。原子論のほうは究極まで、素粒子まで行ったのだけれども、私のこの鼻の酸素が、明日どこへ行くのかということは全くわからないのです。

これが実は、物質が流動して変化しているということが、地球の存在を保障しているにもかかわらず、それを忘れていたということが、実は現在の地球の環境問題の根源なのです。人間が環境問題に対応できないというのは、そういうことです。物質の動きがわかっていないからですね。酸素はどうなのか、炭素はどうなのか。ようやく最近になって炭酸ガスの問題が出てきましたけれども、これは近年ですね。今は窒素が問題になります、リンが問題になります。そういった問題がみんなきれいにわかって初めて、人間がどういう技術をつくるべきかという枠組みが決まるはずでしょう。ところが、それを知らない。これは大変な失敗だったと思います。私は科学の忘れ物と呼んでいます。これから緊急に研究する必要があります。

したがって、現在はこの2番目の、地質学とか考古学とか古生物学、あるいは進化論とか地層生成論とか気候変動論。こういう、まだ一人前と認められていない学問こそ、これから大事です。物性論とか素粒子物理学とか分子生物学とか、拡散理論、化学反応論、これは立派な学問で、学校で教えられています。しかし2番目のほうはほとんど学校で教えていません。少なくとも高校までは教えていない。こういうことは大問題だということに、今、気がつかなければいけないと思います。

少し違う話をします。第2次世界大戦の終戦のしばらく前、アメリカ大統領はローズベルトだった。ローズベルトがある科学者、ヴァネヴァー・ブッシュという人に聞いた。この戦争を通じて科学が進歩した。間もなく戦争が終わるから、それを今度は戦争以外のものに使いたいと思うか、とブッシュに聞いた。そうしたら彼はこう言ったのです。科学は人類が豊かになるために使う。しかも科学は戦争と関係なくこれからも進歩を続ける。科学は終わらなきフロンティアであり、人類は無限に豊かになれる。そういう夢のある話を彼は大統領に対して答申したのです。

しかし、1972年になって、これもご存じの、成長の限界という本が出る。これはローマクラブの要請で、MITの研究者たちが調査をし、報告したものです。科学的能力は無限に展開するけれども、私たちが住んでいる地球には、有限の資源しかありませんということを行った。

この二つの真実、科学の無限の可能性と有限の地球という問題をどのように解釈するか。能力はどんどん無限に伸びていく。しかし資源は有限だ。こういう時期に我々は生きているのです。そのことに気がついた世代が、私たちの世代だ。そういった意味では、第1のパラダイムではない、第2のパラダイムではない、違うパラダイムというものを今つくらなければ、最適な技術はできないだろうということはほとんど間違いない。

さて、ここで現代の邪悪なるものについてお話しします。人口爆発とか、貧富の格差とか、巨大都市の中の貧困とか、地球環境の劣化、人工システムの事故の巨大化、新種の感染症、それから民族間紛争、テロリズム。これは今みんな、新聞紙上をにぎわす邪悪なるものです。これは過去の邪悪なるものと違う。過去の邪悪なるものと違って可視的な外敵がない。誰が外敵なのかわからない。細菌とか嵐とか、そういうものがないのです。それはおそらく、敵が人の意図や行動の中にあり、それらが相互に関係しながら、人が気づかぬうちに攻撃をかけてくる。自分たち自身のやっていることが敵ではないかという、非常に大きな問題を私たちは抱えてしまったのではないかという問題が、ここにはあります。その典型的なものが福島原子力発電所の事故だったと、私は解釈しています。

専門家というのが世の中にはいて、それが社会を支えているわけです。ここに社会があ

って、教育者がいて、医師がいて、これはみんな専門家でしょう。こういった専門家がずっといます。その専門家の背後に科学があるわけです。ですから、科学というのは決して、密室で研究すればいいものではもはやなく、結果的に自分の研究成果は、どんどん専門家を通じて社会に影響を与えていくわけです。この構造が実は安定的に、うまくいっているわけです。例えば工学を学んだ技術者が、いい自動車を提供するというようなことで、上手にうまくいっている。あるいは、政策立案者がいい政策をつくるとか、司法官が犯罪を追及してくれる。その司法官は法学を学んでいる。みんなこういったきれいな構造になっているわけです。

それに対して、福島のとときに何が起こったのかを考えなければならない。福島のとときには、ある社会の一点で事故が起こった。そ子には当然、政治家も行かなければならないし、行政者も、危機管理者も行くし、農業者も行く。放射能の問題で農業者も関係する。最も直接には工学・設計学の技術者が影響しているわけですし、そこには人間がいますから、医師や看護師が行く。こういった人たちが、一斉にそこへ行かなければならない。今までばらばらに、医者や病院に、教育者は学校に、行政者はお役所に、司法官は裁判所に、みんなばらばらにいて、お互いにコミュニケーションもなかった。それが一斉に集まってきて、現場で働けなさいいけない。そこには共通の言葉もない。誰がどういう役割を果たしているかわからない。そういう危機という状況において、危機においては、平常時において別行動をしている者が協力しなければいけないのです。したがって、そのとき科学者たちも、そういう状況についていろいろな助言をしなければなりません。福島の場合それがうまくいかなかった。

危機対応した現場には首相官邸関係者がいたり電力会社や機器のメーカーの人もいた。自衛隊は大活躍した。この活躍に対して、専門家とか科学者の助言がほしかった。しかしそれが全くうまくいかなかった。これは驚くほどうまくいかなかった。驚くほどと言ってはいけない、残念なことにもうまくいかなかったのです。

ご存じのように、当時の首相は科学者を呼びました。その数、23人に及びます。何かみなお友達だったようですが、ほかに呼べる人がいなかったからその人たちを呼んだ。そういうシステムがないのでそうするしかなかった。それで23人呼んで意見を聞いたら、全員がばらばらなことを言ったといわれています。ですから時の首相は怒って、科学者って一体何をやっているのか、我々の行動を混乱させるために存在しているのではないかと、みんなやめさせてしまった。やめさせられた科学者は怒った。あの首相は科学者の意見を聞かないと言って、科学と政治がうまく協力できないことを露呈してしまいました。まことに寂しい状況であったと言わざるを得ません。

このようになってしまった理由は、科学者の正しい助言の仕組みがなかったからです。結果として私たちは、こういう問題にみんな非常に悩まされたわけですね。過剰反応であるとか、風評であるとか、ご存じのように、テレビを見ているといろいろな解説者が出てきて、炉の中は溶けておりませんと言っていた専門家が、3日後に溶けたかもしれないと言う解釈が出てくると、すぐ人がかわって、別の人が、溶けているかもしれませんと言うような状況でした。聞いているほうは、何だかさっぱりわからない。科学者はだめだと感じるようになった。今、一般の人々を対象とする統計によると科学者に対する信頼性が失われたという結果が出ています。非常に残念なことです。本当は科学者は、少なくとも特定の問題についてはそれぞれ高い能力を持っていて、それをうまく組織すれば、上手にいい助言ができるはずなのです。その組織ができていなかったのです。

その一方で、現場で事故の対応された方々は大変な苦勞をして事故の拡大を防いだ。私たちはいろいろな形でその情報を得ましたけれども、自衛隊の活躍がなければ、ほとんど日本は破滅でした。この活躍したごくわずかな人々頼って、ほかの多くの人々は右往左往していたと言わざるを得ません。いわば能力を持っているのに、働くことができなかったということだと思います。それを何とか変えなければいけないというのが現実の問題であります。

世の中には行動者がいて、ここで何か事故が起こったとします。発電所の事故が起こった。そうすれば、どういう事故が起こったのかということ推定できるのは、原子力専門の科学者、専門家だったはずで。ところが、大学、研究所、企業などにいるその人たちに事故の情報が全然届かなかったので、想像で物を言うしかなかったのです。言っているだけならいいのですが、そういう人がテレビに出てきたので、世の中の人はその信じるしかなかった。

このように、助言がばらばらにされています。私はこの人たちを結集し、まとめた意見で助言をするように促しましたが、結集することはできなかった。理由はよくわかりません。本当を言うと結集して、一つの平均的な意見を出して、いろいろな意見はあるけれども、とりあえずこれが大事だというまとめた科学者の意見を行動者に提案する。それが行動に生かされる。こういうループが回ればよかったです。残念ながらこの2つの間に壁があって、それができなかったと言わざるを得ません。

先ほど言ったように、1978年という時に、私はロボットをつくって原子炉に入れようとしたけれども、入れてくれなかったのです。その後、私たちの後継者はいろいろなロボットの研究者になり、研究を続けています。紹介した私たちのロボットを保全ロボット、メンテナンスロボットというのですが、それを作っても使ってくれるところがないので、研究は実用を離れて難しい人間型ロボットを作ることに向きました。何音頭だかそういうのを踊るようなところまで技術が進んだ。技術はすごく進歩しましたが、踊る人形が原子力発電所の中で作業するとは考えられない。これはわが国の深刻な状況で、ロボット技術の何を生かすかということについての考え方が非常に不足してしまったのです。その結果、日本のロボット技術は一番なのに、結局はアメリカのパックロボットという、これは軍用のロボットですが、それが活躍して、ようやく写真を撮ってくる。今になってようやく千葉工大とか東北大学にいる研究者たちが、自分たちの開発したロボットを使って測定ができるようになった。技術はあったが、使う場というものとの関係を研究しなかったのでもうまいかなかった。技術とは、技術そのものと使う場という、この場というものも大変難しいものなのですが、その両者の関係で成功かどうかがまします。

ここで、社会のための科学ということをお話しします。科学研究は、まず基礎研究があり、それを受けた目的基礎研究でいい結果が出たら、研究の世界と現実社会の間にある壁の外に出し、今度は目的研究をやる。こういうのをリニアモデルといいます。こっちの人は、こっちの人のことを考えない。ただ研究して送り出す。こっちの人はただ待っているだけで、注文しない。これがリニアモデルです。日本はこういう形で研究が進んでいます。大学があって、研究法人があって、企業がある。それぞれ研究費配分機関がついています。目的研究には各省庁がついています。防衛省においても技術研究本部でそういう研究を行っている。しかし現実には、各研究の間関係が少ない。日本では残念ながら、省庁間の壁が厚く、連携が取れない。

それを解決するために役割連携という考え方を導入します。連携とは、例えば物理学研究が大学で行われ、機械の研究が研究法人で行われている。そして実際の、観測装置をつくるという研究が企業で行われている。その3つの研究は先ほど言ったように、研究費も違えば研究者も違うし、研究機関が違うために、間に厚い壁があって、情報交流とか人の交流、そして研究費の交流がないという構造になっている。これを超えて真の協力をどうして実現するか。そのためには、異なる機関から人が集まり、研究費も一緒に使い、情報も共有して、同じ場所でこの人たちが寝食をともにする。例えばある基礎研究の発見を火器に使おう、武器に使おうと考えている人が、同じ部屋で研究をする。そういうのを私は本格研究と呼んでいるのです。Full Research。ここに集まった人たちは、基礎研究者も応用研究者も、企業の人、皆、社会のためになるものをつくり出すのが研究なんだという価値観を共有する。やることは基礎研究だとしても、この基礎研究はいずれは社会につながっていくということ、寝食を共にしている別の研究者との対話を通じて実感を持って知らなければならない。

そういう研究組織をつくって、実際に私が前におりました産業技術総合研究所というところで行った結果、非常にうまくいくことがわかりました。こういうのを60ぐらい組織しましたが、今成果が出始めています。大学では、同じ大学の中でも別組織です。例えばこの課題は大学の理学部がやっている。別の課題を工学部がやっている。両者が協力すれば応用に近づく。しかし残念ながらそうならない。理学部の教授と工学部の教授というのは仲が悪いんですね。(笑) 仲が悪かったら、コミュニケーションなんかできるはずがない。仲良くして工学部も理学部も超えて、自分は同じ研究ユニットの中の1人だと考える必要がある。

例えば成功した例で言うと、燃料電池というユニットに研究者が入ると、燃料電池の本当に基礎的な物理現象を研究する人もいれば、それが実際に自動車に載ったときに何が起るかという研究をしている人もいることになる。それが一緒に同じ研究室にいるわけです。そうすると、非常にコミュニケーションがうまくいくこととなります。いろいろな研究課題を1人でやっている孤独な研究者を連れてきて、こういうプラットフォームに載せる。するといろいろな領域の人が集まる。例えば物理学とか生物学がある。同時に基礎研究から製品化研究まである。そういった2次元的な広がりを持つ研究協力を行う。これが本格研究です。

そのためには、今、分かれているファンディング、研究費の配分機構も協力が必要となる。学術振興会があって、科学技術振興機構があって、NEDOなどがあるのですが、そういったものが今、ばらばらに研究費を配分している。この研究費も一緒にしてもらわなければ困る。もともと理学部と工学部の教授の仲が悪いのは、もらうお金のものが違うからという面もあるわけで、それを一緒にしなければいけないということですね。一緒にして、大学も企業も、また研究法人もそれをつなぐものとして、こういう本格研究を組織する。こういう一体化した研究を実現することによって、社会のための研究を進めようという考えです。

例えばこれはSiCの研究なのですが、結晶をつくりその性質を調べる基礎研究から、具体的な素子としてつくるところまで、一緒になって研究した。その結果、ようやく産総研で商品化が行われるということになりました。またこれはダイヤモンドの研究です。大きなダイヤモンドをつくるという研究だけでは研究論文は書けないのですが、本格研究の中ではそういう研究を営々としてやって、具体的な役に立つものをつくる。それは大きな成果として評価されます。もう一つの研究は粘土を使ってさまざまな素子をつくるという新しい研究です。

これは最後の話ですけれども、もともとは科学研究というのは、知的好奇心によって新しい存在とか現象を発見する。そして、その背後にある新理論を創出する。あるいは、領域内理論の不整合を解決するというものでした。今の素粒子論の研究を見るとそのことがよくわかります。矛盾が存在するので、その矛盾を解くためのアイデアの勝負です。そう言っただけは失礼ですけれどもゲームをやっている。ゲームは厳しいもので、本当にとことん究極まで追ってゆく。このような研究は基礎研究の典型ですが、ほかの研究もあるのです。例えば、持続性と繁栄を両立させるための研究、文化の共存のための、不平等除去のための研究。目的が外在的であって、分野も全体的な研究です。素粒子研究の例は、物理学なら物理学、生物学なら生物学、個別的であって、しかも研究の動因が内在的です。研究者自身の動機だけに基づいて研究する。こういう研究が伝統的な基礎研究と言われて社会と無関係であった。しかし今、基礎研究ですら社会と関係を生みつつあるのが現代の科学ではなかろうか。これが科学と社会の対話といわれていることなのではないか。これが主流になっていく予感がします。

科学が、現在の社会の均衡のために、均衡を乱すものを発見しどうやって解決していくか。これが非常に大きな問題で、科学者というのはそのために働かなければいけない。もちろん、ここに書いてあるように、知的好奇心による研究を消してはいけないのです。これはこれで非常に大事である。しかし、均衡のためにしなければならないことが緊急に増

大していることを科学者は知らなければいけない。ですから、科学者はただ論文を書いて、たくさん論文を積み重ねた人が評価されるという方程式だけではなくて、ある場合には論文は書けないけれども、社会のためにこういう研究成果を利用すべきだという助言を政治家にする。そういった仕事も優れた科学者の重要な仕事になってきたのです。

したがって、科学研究は非常に多様化してくる。もともと科学者や専門家は、多様な分野で研究するし、自動車をつくり、防衛機器をつくり、あるいは農業機械をつくり、そういう意味の多様性はあったのです。しかしそれだけではなく、科学者、専門家の立場と役割も非常に変わってきたということで、幅広い貢献が社会に望まれるようになった。その貢献について科学者と専門家が意識し、努力することによってのみ、社会が科学を受け入れる、言いかえれば社会の中の科学が実現するというのを申し上げて、私のお話を終えたいと思います。ご清聴ありがとうございました。(拍手)

【司会】 ありがとうございました。

吉川先生に、もう一度盛大な拍手をお願いいたします。(拍手)

— 了 —