

本稿は、渥美国際交流奨学財団の「奨学生の集い」に講演していただいたものを、ご許可をいただいて「関口グローバル研究会」SGRAレポートとして発行するものです。

2000年10月3日（火）午後6時半より、恒例の「渥美奨学生の集い」が開催され、渥美財団役員、ラクーン会員、本年度奨学生、SGRA研究員あわせて約30名が集まりました。

今年は、渥美財団選考委員長で東京大学工学部の畑村洋太郎教授に「技術の創造」というお話をさせていただきました。「失敗に学ぶ」ことがいかに大切かということ、効率や便利さばかり追い求めるために教訓を忘れてしまっていること、効率の低い枝葉の部分を切り落としてきたために、ひとつのルートがつまると他へ迂回できなくなっていること、作業がマニュアル化され全体がわかっている人が居なくなっていること、それゆえ事故があっても適切な判断ができないこと、技術の成長周期は30年なので、半導体を初めとする多くの産業の最盛期が終わりつつあること、現在次々に起こる事故はこのような状況から説明できること、まだまだ日本では危機感が少なく、今後10年はこのような嫌な事故が起きるだろうということ、などなど「恐ろしい話」をたっぷり伺いました。また最後の10分間には、ビデオを使って、先生の研究室で行っているナノ・テクノロジーの紹介をしていただきました。その後、「科学の進歩は人類にとって必要か」（科学は人類を幸せにするものではないが、人間の好奇心が科学を発展させる）「人間の心は科学的に説明できるのか」（好きになる等の人間の心も、今では物質の移動で説明される）など、参加者からのたくさんの質問にも丁寧にお答えいただきました。（文責 今西）

技術の創造

東京大学大学院工学系研究科教授
畑村 洋太郎

【司会】 それでは、渥美奨学生の集いを始めさせていただきます。この会は、奨学生の皆さんと財団の役員の皆さんが交流することを目的に、設立の初めの年から続けております。毎回、役員の先生方のお話を聞くということを趣旨に行っております。今日は、畑村先生のご講演とそのあと歓談を楽しんでいただきたいと思います。

今日のスピーカーの畑村先生は、財団が始まった時から選考委員をしていただいて、募集要項を作るところから全部お世話になっている先生です。奨学生の方々はご存じですけれども、いつも選考の時は非常に幅の広い質問をしてくださって、本当は役員の先生方にも見ていただきたいぐらい、非常に私たちが学ばせていただいております。

ご専門は、今世の中でときめいているナノテクノロジーという非常に小さな世界で、どれぐらい小さいかは先生から伺っていただきたいと思いますけれども、日本が世界で一番進んでいると言われている分野だそうですが、そのことを日本の第一人者で研究をなさっている方です。では先生、お願いします。

【畑村】 畑村洋太郎です。こんばんは。選考委員を引き受けて、いつも好きなことを言ってもう6年になります。当初は大変だなあと、こんな大変な役は早くやめたい、やめたいと、実は思っていたのですが、このごろ少し考えが変わりまして、自分の知識や考えの幅を無理やり広げてくれる一番いい仕事だと思えるように改心しております。今はすぐ一生懸命やるつもりでいますから、これからどうぞよろしく。応募書類を全部読んで、線を引いて、何を聞いてやろうかと一生懸命考えるから、選考会は1日ですが、実際には3日ぐらいかかるかなあ。本当に大変です。（笑）

それに比べると、今日のこの講演は、好きなことをしゃべるのですから、本当に楽なものです。種はいっぱいありますが、1時間ぐらい話して、あと質疑応答ということですので、55分位で終わらせ、最後にビデオを6分半上映します。ナノメーターでものが出来ていくのを、ビデオで見せしますから、多分面白いだろうと思います。それでは、どんどん話を進めていきます。



畑村教授

今日の題名は「技術の創造」ということですので、まずその話からはじめます。趣旨は本当にゼロからものを作っていく、考えていくということは、どんなプロセスでやっていくのか。そして、それを本当にやると、どんなところまで出来るのかという話です。

その前に先ほど話にあったナノテクノロジーと言っている、ナノという言葉の先に説明しておきます。ミリというのは1000分の1です。マイクロと言っているのが100万分の1です。ナノというのは、その三けた小さいもので、それがナノメーターで

す。1 ナノメートルと言っているのは、うんと小さいと思っていただいいのですが、実際には原子を5個から10個ぐらい並べると、1 ナノメートルという寸法になります。これは覚えておくに便利です。原子を5個から10個ぐらい並べると、1 ナノメートルになると。それだけは知っていないと、今日の話が何のことだか全然分からなくなります。そのぐらい小さな世界の話です。

さて、その小さいところをいろんなふうを利用していくということが、これからものすごい速度で動いていきます。特に今世の中で騒いでいるのは、情報通信のところですが。これから当分続きますが、根本的な進歩を起こすのは、この他に多分生命と医療の分野があります。すごく面白いことが、これからいっぱい起こりますから、その入り口ぐらいのところまで、今日1時間の話で、みんなを連れていこうということですから、これは大変な話です。

真の科学的な理解

一番初めは、「ステレオタイプの知識では駄目だよ」という話です。世の中、みんな何か決まりきったように、うまくいくことを学べば、自分もそれと同じようにうまくやれて、いい仕事ができるだろうと思っている人がほとんどです。しかし、それはほとんど嘘で、失敗に失敗を重ねて最後よたよたしながら、もがきもがいて何とかいいものを見つけていく。しかも、自分で見つけたもの以外は身に付かないというのが本当です。

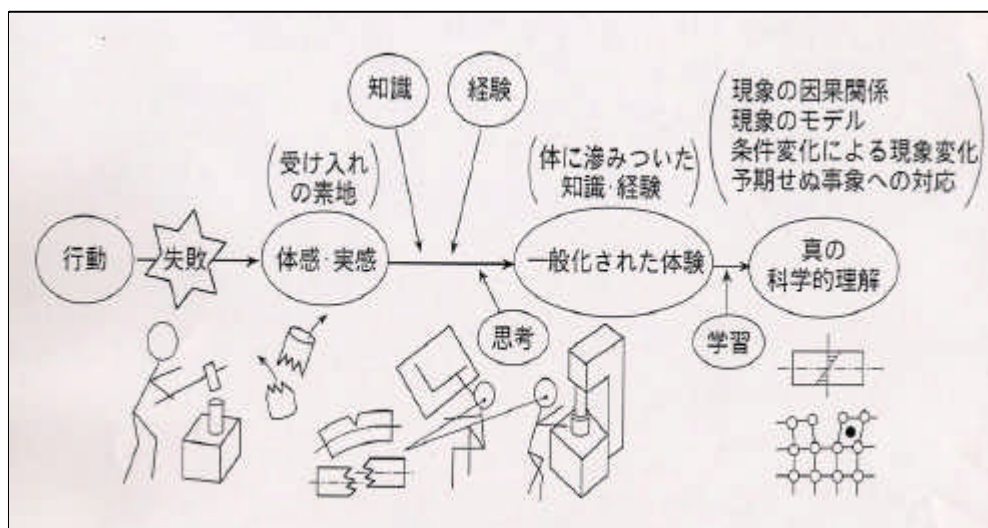


図-1 失敗体験が真の技術の理解を生む

図-1 はそういうことをかいた絵です。これは教育とはどうあるべきか、人が本当に学んでいくというのは、どういう順番でやればいいのかということを物語っている図です。まず、行動し失敗して、痛いとか怖いとか、本当に困った経験をした時に、はじめて体感、実感ができ、受け入れの素地が出来ます。そして、それに知識と経験を加え、それだけでは駄目で、経験論にならないよう考えることです。そうしますと、一般化された体験というものができて、これが身体に染み付いた知識や経験となります。さらに、それに学習を加えて、ようやく真の科学的な理解ができます。

科学的理解とは何かと言うと、法則を覚えるとか、何かの順序をよく知っているとかが、そういうことでは全然なく、自分の目の前で起こっている現象の因果関係を、自分で記述ができる、現象のモデルが作れる、それから、条件変化による現象の変化が分かる、予期せぬ事象へ対応ができるということを、本当の意味の理解と言います。したがって、

試験を受けていい点数を取ったというような感じの理解というのは、本当の創造、クリエーションには、ほとんど役に立ちません。

そういう視点から見て、こんなことが大事であるという事例をお話します。写真-1は出雲でやっている、「たたら製鉄」というものです。日本刀をつくる種(良質の鋼)を作るわけですが、古来の砂鉄と炭でこれを作っていきます。写真の作業をしている人は、木原さんという人ですが、この総作業長を村下と言います。この作業は三日三晩かかりますが、この人は面白い方で、「邪魔してもいいですよ」と許可をくれたので、作業の三日三晩、脇についてまわりました。炉の中が見えず、かすかな音しか聞こえない状態で、今この人は、何を見、何を聞き、何を考えているのかを、つぶさに聞いてみました。



写真-1 たたら製鉄の村下

写真は炉を壊して、中のけらと言っている鋼を取り出す直前の作業ですが、鋼になっていく段階で、この粘土の炉の中でわずかなブチブチという音がします。するとその人が、竹筒を持ってきて「聞いてごらん」と言うわけです。言われて聞いていると、「この炉の中では炭の上に鋼のしずくがたれて、そいつがさらさらと落ちているんだよ」と言うのです。そう言いながら、この人は今、炉の中で起こっている反応をまるで目前で見ているかのように非常に正確に記述していきます。それは独学ながら徹底的に冶金学の勉強を行い、炉の中で金属がどういう反応を起こし、何がどうなっているのかを完全に知り尽くした、現代の大規模な製鉄と同じ科学的なものでした。

冶金学できちんと勉強した知識を使って、丁寧にやっているのです。昔からのきまりきった動作をすることを技能とか技術といって大事という人達がいるけれども、あれは嘘です。ほとんどの人が、昔からやっていることをそのままやるのが技能だと思っているのですが、まったく嘘だと思います。そうではなく、もっと正確な科学的知識が頭の中に入っていて、自分の起こしたい現象を起こすように、全部の作業をコントロールできるのが真の技術であり技能です。この人は今、木の棒を持って引っかいているように見えるけれども、ものすごく正確な作業をします。本当の科学的な理解というのは、ステレオタイプで法則を知っているとか、知識があるということではありません。本当に起こっている現象の因果関係が、正確にしゃべれるようでないと意味がないということです。



次は違う話です。僕は、いろんな事故が起こった時や、先ほどから話している作業などは、全部現場に行くことに決めています。出かけて行って、自分で見て、自分で議論して、その上でいろんな考えを組み立てていくようにしています。写真-2は、阪神大震災が起こった後、2月9日に東灘あたりから三宮まで、大変な距離だったが歩いたときの写真です。自分でいろんな所の壊れているものの写真を撮りながら、いろいろなことを考えました。

写真-2 阪神地震被災の RC 柱

写真－２は、その時の破壊された鉄筋コンクリートの柱です。鉄筋コンクリートはなぜ強いのかということについて、コンクリートが圧縮に強くて、鉄筋が引っ張りに強いからだとは僕らは教わりましたが、それは間違いです。先生というのは、いかにも教えていれば済んでいるような顔をして教えていますが事実は違います。僕自身が、そうやって嘘を教えているという反省も込めてそう思います。この写真は、それを典型的に見せていて、コンクリートというのは、ある程度の強さを持つけれども全然圧縮に強くないのです。建物を作る時に、本当に強さを発揮するのは、鉄筋に「たが」がはまっているから強いのです。しかし、昔の建築では、コンクリートをそういうように理解していなかったから、「たが」横の帯筋がすごく弱いのです。それで、縦の圧縮の荷重にみんなぶっ壊れている。昭和二十何年かに作った建物は、ことごとく壊れています。もう惨めなものです。結局、本当の理解をせずに、コンクリートを使っていたからです。こういうことから考えて、本当の理解ということがいかに大事かがわかります。

創造的設計の思考過程

今度は、設計の話をします。設計というと、図面を書き、絵を描いて、それからデザインといって、何か面白そうな格好のものを作ろうなどと思っている人もいっぱいいますが、そういうインチきっぽい設計もいけれど、もっと本格的な設計というのを考えてみましょう。「本格的な設計」とは何だろうか、それは「創造」です。今までなかったものから、何かをやる新しいものを作り出していく設計のことです。

図－２のように、結局すべての設計は要求機能というのを初めに決めて、それを分析、分解して、この機能とこの機能とこの機能を作りたい、実現したいということを明確にします。そして、それを創るにはどうするかということで、機構を考えて、それを展開し、総合して構造にしていきます。分かりづらいときは、機能を課題、機構を解決策、そして構造を、具体的解決方法と置き換えると、とてもよく理解ができます。人間は全部こういうふうに考えて設計をしているにもかかわらず、設計はデザインですね、格好が何とかですね、計算で出るのだろうかとか、効率がいいとか、そんなことばかり言っている人がたくさんいます。そういうやり方をしていると、その産業自身が壁に当たった時、結局もがいて先に進めないという事態が起こります。今日まで日本は、いつもお手本があって、真似をすればよいということで来ましたから、本当の意味の設計というのを深く考えずにやって来れたわけです。しかし、今はそういう時代ではないにも拘わらず、昔流にやって、それで経済が進まない、進まない、なんだかんだと、いっぱいいろんなことを言っています。

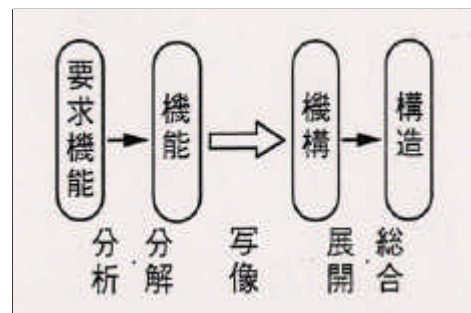
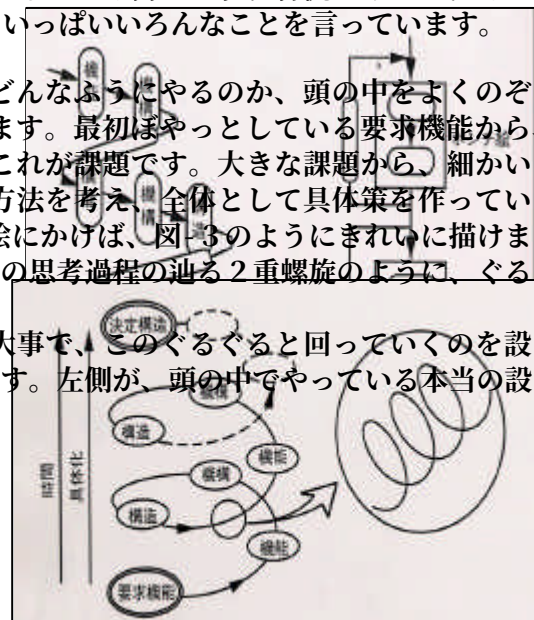
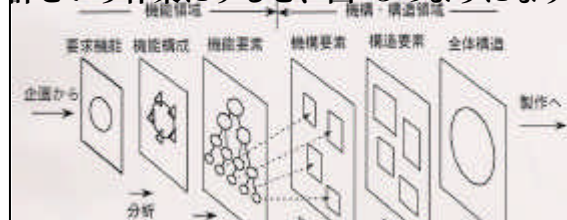


図-2 設計における基本的思考過程

批判や悪口はこの辺にして、本当の設計はどんなふうにするのか、頭の中をよくのぞいてみると、今言ったような順番になっています。最初ぼやっとしている要求機能から、だんだん機能の要素まで分解する。要するにこれが課題です。大きな課題から、細かい課題に分解していったって、その課題を実現する方法を考え、全体として具体策を作っていくという順番を通っていきます。その流れを絵にかけば、図-3のようにきれいに描けますが、実際はそう簡単にはいかず、図-4 設計の思考過程の辿る2重螺旋のように、ぐるぐると螺旋を描いて進んでいきます。

この螺旋を描いて進めていくことが非常に大事で、このぐるぐると回っていくのを設計という作業にすると、図-5のようになります。左側が、頭の中でやっている本当の設計



計の過程です。機能、機構、構造、先ほど言いました課題、解決策、具体策の流れです。そして、実際の機械を作ったり、システムを作ったりする設計過程は、右側の図のように、ポンチ絵の段階でグジャグジャやった後に、最終計画図というものを書いて、ものを作ることになります。

この最終計画図を書く時に、人間はいろいろなことを考えてやっていきます。考えてやっていく必要があるにもかかわらず、日本の設計教育、建築も、機械も、電気も、ほとんどの設計の教育方法は間違っています。何が間違っているかというと、図-6で説明ができます。それは、みんな単体のことを詳しく教えるだけで、そういうものが組み合わさって、最初の要求機能を果たしている状態をイメージすることをまったく教えていないということです。これが最大の欠点です。

これから先、皆さんが勉強をして、何か新しいものを設計する時は、単体、ばらばらのことのみを考えるのではなく、いろいろなものが組み合わさって、本当に一つの機能を果たしている状態を、自分の頭の中に思い浮かべてください。そしてその時、その中で起こっていることをモデル化して考えて下さい。図にある輪っかは、ねじで締めたとき、ボルトとナットがどういうふうに締まっているかの力の状態を表したものです。そして、ねじのところのミクロな接触状態を考えて下さい。がさつな人が設計をすると、このミクロを考えず、簡単な絵を描いて、あとは図面1枚いくらで済んだというような世界に入ってしまいますが、そうではなく、本質的にそれが役割を果たしている状態を考えるようにしないと、本当の設計にはならないのです。

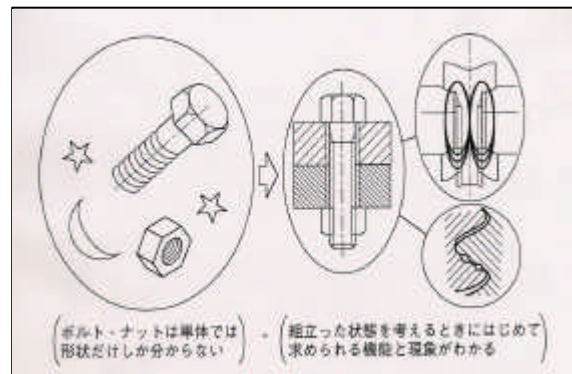


図-6 ボルトとナットが宇宙遊泳するか？

失敗に学ぶ

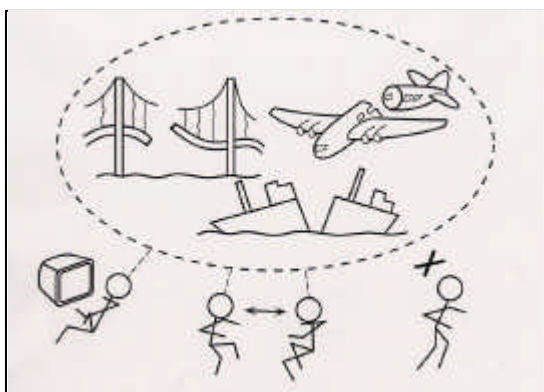


図-7 これを知らなきゃ、もぐりだ！

今述べたやり方で設計をする時に、大事な基本がいくつもあります。一番大事なものの一つが、失敗についての知識です。世の中みんな、うまくいく方法ばかりを教えるけれども、勿論まずいく方法も教えては駄目ですが、まずい結果となったのはなぜか、その道筋を教えることは、あらゆるものが一遍に、自分の体の中に染み込み、知識の獲得が始まります。

最初に図-7を見せますが、これが一番大事です。これは何を言っているかというと、工学の世界で、一番基本的な事故を示したものです。これを知らずに、この世界に入っている人は「もぐり」です。そういう人は絶対設計したり、人に教えるはいけません。ここに示したのはそういういくつかの基本的な知識です。

一つは、写真-3のタコマ橋というものです。アメリカで1940年過ぎに作られたもので、横風の自励振動で壊れた橋です。それから写真-4は、アメリカの戦時標準船で、

鋼で作った溶接船がぼっくり折れてしまうという事故です。低温脆性というものを教えてください。それから、図-7の絵にあるもう一つのものはコメット機の墜落です。イギリスが国運をかけて開発したが、最後はやめざるを得なくなった金属疲労の典型的な事故です。

こういう基本を知らないで、設計をする人がいたら、いい加減な設計になるだけではなく、PL（製造物責任）で攻められたときに、まったく抗弁ができないということになります。しかし、こういうことを大学でシステマチックに教えているところは全くありません。写真はビデオから撮ったもので汚いのですが、タコマ橋が落ちる瞬間の写真です。端から端まで、1000メートルぐらいあります。これがねじれで壊れたのです。ところが、アメリカが本当にすごい国だと思うのは、軍隊の行動やそのほかでもそうですが、記録をとる専門の人が必ずいて、自分たちのやったことの記録をしていることです。



写真-3 タコマ橋崩壊の瞬間

このタコマ橋も、橋を作った時、立派ないい橋だけれども、振動が激しく、何かおかしいというので、別の人たちがムービーカメラを据えて、橋の挙動を全部記録に取っていたのです。ですから、後からそれを、全部ほかの人が知ることができた。こうなると橋が落ちて損をしたことより、人間の知識がそれだけ増したというプラスの方が、はるかに大きくなってくる。この記録がなく解析ができなかったら、同じ事故が何十回も起こるようなものを、徹底的に解明したことによって、このあと、つり橋は落ちなくなりました。

もう一つは、戦時標準船です。リバティー船と言って、アメリカがヨーロッパ戦線に兵員と武器を、一生懸命ピストン輸送したものです。その時の事故例です。この写真-4は、2隻の船ではありません。1隻の船がぼっくり折れたものです。何もしないのにぼっくり折れる。これを低温脆性破壊と言います。鋼というのは強いものと思っているけれども嘘で、その頃の年代に作っているものだと、大体0℃ぐらいの温度でぼっくり折れます。そういう事故が起こっている。ものを設計する人は、このようなことは基本的な事例として知っていないくは駄目だということです。

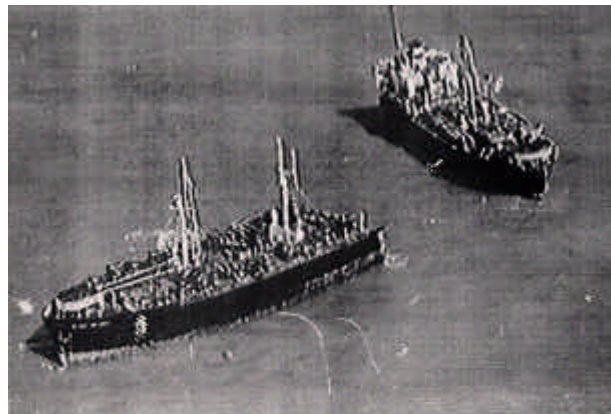


写真-4 真っ二つに折れたリバティー船

つい最近、三菱自動車が「ぼろ隠し」というか、「リコール隠し」をやっていたことが発覚しました。30年にもわたってやっていた。そのうちにグジャグジャになって何とかなると思っていたのか、信じられない背信行為です。17%ぐらい売上が落ちたというが、本来は、つぶれてなくなるべき会社だと、僕は思っています。三菱自動車は三

菱重工から分離して出来た会社です。今からお話するのは同じ三菱ですが、徹底的に立派な三菱重工の話です。

それはどういうことかと言うと、今から30年前に、タービン・ロータを吹っ飛ばす事故を起して人が死にました。6人ほど死ぬのですが、その時に学んだことを世界中に情報発信して、それ以来世界中でタービンは壊れなくなったのです。それほど徹底的に失敗の分析をやっている会社です。ですから、どうしてあんなに立派な親から、あんな馬鹿な子が出来たんだろうという感じがしています。同じ系列なのに、どうして違う文化が出来てしまうのかが不思議だなという気がします。

三菱重工長崎造船所は、長崎のみんながよく遊びに行くグラバー邸などの向かい側の所にあり、そこに戦艦「武蔵」を作ったというドックがあります。その脇の所に、タービンを作る工場があって、そこでタービンが破裂し、あちらこちらに吹っ飛びました。きれいに吹っ飛んだその落ち方がすごく、11トンもある鉄の塊が空中を飛び、1.5キロ

先の山の上に突き刺さったのです。もう1個は海にボチャン。それを拾ってきたのです。

先日H2ロケットが落ちた後、日本は徹底的に海底捜査をし、ついに見つけて海から引き上げ、その結果失敗の原因が分かりましたが、それと同じように、三菱重工では落ちた鉄の塊を拾ったのです。写真-5は石のように見えますが、石ではありません。鋼です。ニッケル・クローム・モリブデン鋼という一番強い材料です。それが壊れたのです。三菱重工



は、4つに割れた4分の1を持ってきて、きちんと自社の中に博物館を作って、後々の戒めとするために、いつでも見られるようにしています。写真の脇に立っているのは福田さんという、今から4年か5年ほど前に、長崎の造船所長をやっていた人です。

僕は、「こういう失敗の勉強をきっちり記録に残して、次の人に伝えたいから情報がほしい」と言ったら、「三菱重工は、今までデータを一つも出していないけれども、あなたの本の中に収められ役立つのならば出しましょう」と言って、三菱がみんな資料を提供してくれました。おかげで、日刊工業から『続々実際の設計』という本が出ています。副題が「失敗に学ぶ」ですが、その中に三菱が提供してくれた全部の資料、なぜ起こって、どうしたかといういきさつが、きっちり書いてあります。人間がやってきた失敗の中に、一番大事な知識がたくさんたまっているのです。それを後の人が勉強できるようにしている。三菱重工はこのぐらいきまじめにやる会社です。

写真-5 タービン・ロータの鋼

しかし、人間のやることは、いくら努力しても、便利とお金の前にはすべての知識が消えることがあります。写真-6は三陸海岸に行って撮ったものです。昔、明治29年頃に、津波で2万3000人ぐらいが一晩のうちに死にました。一番高い所は、36メートルぐらいの高い津波が来て死んでいます。写真の碑には、「ここまで津波が来たぞ。こ



こより下に家を建てるな」と書いてあります。ところが今は忘れられています。日々の便利さの前には、どんな教訓も全部消えてしまう。そう思っていると、どこでもそこでも、同じことがいっぱい起こっている気がします。しかし、ものすごい努力をしている人たちもいます。

写真-7は、「^{たろう}田老」というところの消防団の人に案内してもらって撮った写真です。向こう側が人の住んでいる場所で、こちらが海側です。高さ10メートルぐらいの砦のように見えますが、これは防潮堤です。普段は海に出るのに、水門が開いていないと不便というので開いています。この水門の開閉をやっているのは消防団の若い人たちです。どんな緊急時でも、ここは閉められるようにというので、必ずだれかが残り、本当に津波の警報が来たら、何はともあれこれを閉めるという訓練をしています。また、1年に何回かは、夜中

写真-6 津波の石碑とその下に建つ住



に村中全員で、大津波訓練を実施して、

写真-7 津波対策用の防潮堤

みんなで山の上に逃げる訓練をしているそうです。昔の経験、知識を今に生かして、きちんとやっていこうという動きをしている人たちもいるのです。

人間の思考の法則性を利用せよ

失敗の話は以上で終わりにして、今度はアイデアというか、人間の考えるということには法則性があるという話をします。

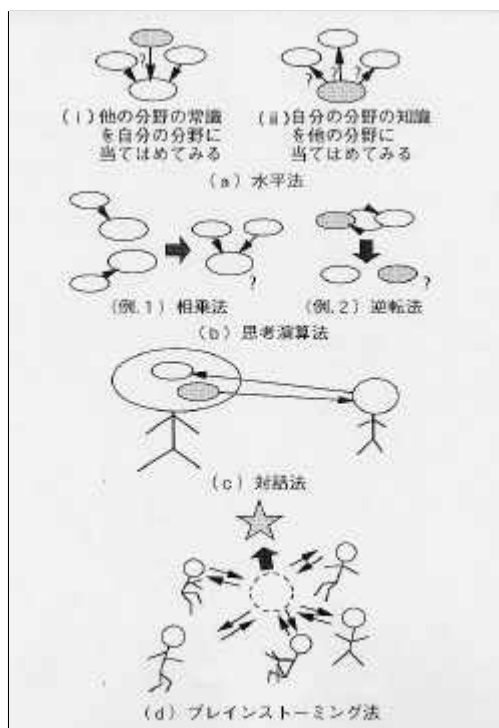


図-8 着想を得るための方法の例

図-9 設計で着想を得るための思考演算

新しいアイデアを出すとき、どうやったら新しいアイデアが出るだろうか。それを示したのが図-8です。まず、自分の分野の常識をほかに当てはめる。ほかのものを自分に持ってくる。「水平法」というものです。それから「思考演算法」というのがあります。それから人と話をする「対話法」。その他「ブレイン・ストーミング法」などがあります。今は設計での話をしていますが、よく考えてみると、実際に自分がいろいろな企画をしたり、システムを作ったりするときは、ほとんどこの通りにやっているということが分かります。

思考演算法というのは、だれもがやっている頭の中の演算、頭の中で考える道筋を言っています。交換・逆転とか、直列と並列の入れ替えとか、足し算、引き算、掛け算、割り算。それから写像とか対称。さらに相似則、拡大、変形こんなことをやっています。図-9はすごく抽象化していますが、フーンという感じで見る人もいますし、数学を勉強した人は、数学の法則と全部同じだという人もいます。全然違う見方で、人間関係も全部同じだと言って見る人もいます。何にでもほとんど当てはまるもののようなのです。この思考演算の例を二つ、三つ説明しましょう。

まず、図-10の「交換・逆転」の法則です。AからB、さもないと、Aの後Bになるような機械を自分が発明したら、BからAは考えられないかと、無理やりやってみるやり方です。そうすると一遍に答えが出てくる。例えばモーターを自分で発明したとします。電気を入れると軸が回る。そこで逆に、この軸を回したら電気が出てこないか、出てきたらいいなと考えてみると、発電機になることが分かります。仮に、自分がモーターを発明して、それだけで発想が終わっていたら、発電機は考案できない。世の中の半分を損してしまう。ところが、逆転で考えたらどうなるだろうかと考えただけで、もしも発電機を考えついたとすると、もう圧倒的にすばらしいものを、自動的に生み出したことになります。

次は、図-11の「直列と並列の入れ替え」というものです。Aの上にBを重ねて作るというもののときに、AとBを並べて両方を無理やりつないで、こんなもの出来ないだろうかと、無理やり考えてみることです。一つの例ですが、Aという材料とBという熱膨張率が違う金属材料がある。温度を上げたり下げたりすると、それぞれ伸びたり縮んだりします。その時、わざとAとBを並列につないだら何ができるかと考え、AとBを無理やり並べて温度を上げると、首を横に振るものができます。こういうのを「バイメタル」と言います。普通だったら、AとBそれぞれは、縦にしか伸びないが、二つを並列にして温度を上げると、横に動くという今までになかった機能が出てきます。

このように並列にするだけで新しいものが出来るもう一つ例があります。その例は

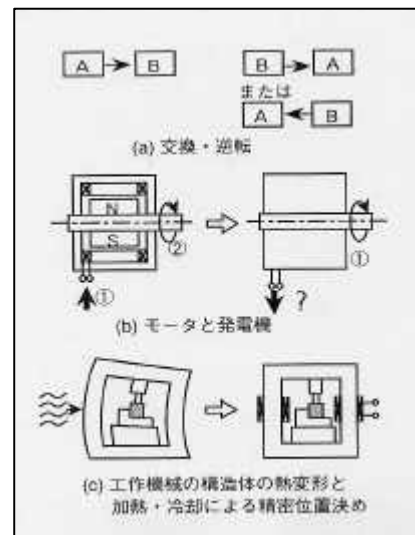


図-10 交換・逆転演算とその応

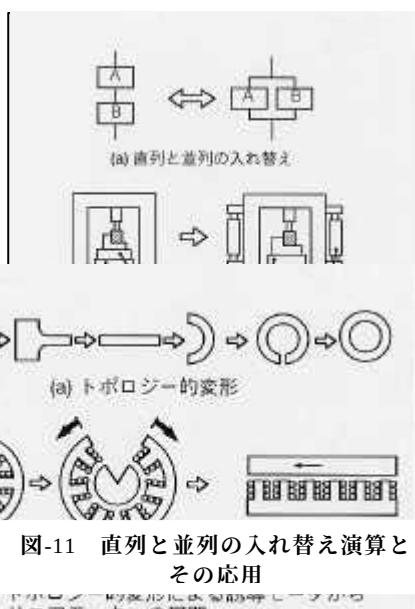


図-11 直列と並列の入れ替え演算とその応用

図-12の「トポロジー的変形」というものです。何か塊があったら、片一方の端をニューッと引っ張ってグニャッと曲げてみる。どんどん曲げて最後にくっつけてしまうと、トポロジー的には違うものになります。誘導モーターがあったとすると、それに切れ目を入れて、ぎゅっと伸ばします。まっすぐ伸ばすと図のように、リニアモーターができます。夢の新幹線にしようと言っているリニアモーターは、こういう原理です。また逆に、グニャッと丸めて、回転するモーターができないかという考え方をするとよい。いろんなものに人間の思考の法則性があるから、それを積極的に利用すると、いろいろなものが生み出せます。

思考展開図

次は、人間の頭の中で考えることを観察して、それを積極的に使うといろいろなことができる、それを、自分の考えをまとめていくのに積極的に使えばいいという話です。

図-12 トポロジー的演算とその応用

頭の中で生じる決定の基本過程というのは、世の中でみんなが言うように、知識があって、それを論理的に組み立てると、何かができるというのは真っ赤な嘘です。本当は図-13のように、知識とかヤマ勘とか経験、好み、そんなものから、バラバラと種が出てきて、そのバラバラの種を脈絡をつけていくというのが、実際に行われている考えをまとめるという思考過程です。これは経験論的に言っている話で、けしからんと怒る人もいますが、実は脳科学をやっている人たちから見ると、これが当たり前で、そろそろ証明されそうだと、今必死になってこの方向を考えています。とても面白いです。

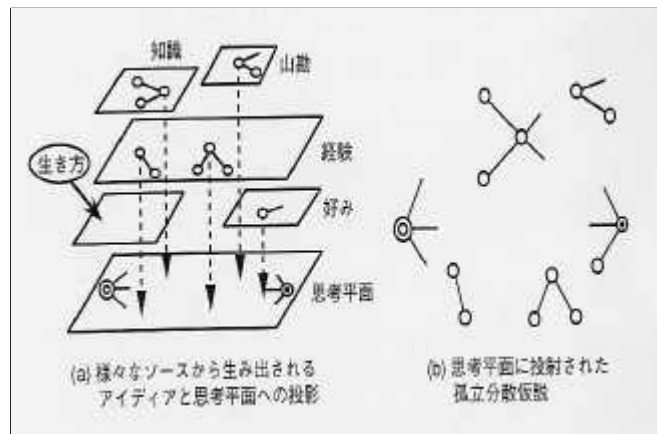


図-13 頭の中で実際に生じる決定の基本過程

この間、理化学研究所から、脳科学をやっているところで講演をしてくれという依頼があり、そこで創造や設計という行為はどんなものか、人間の思考を平面上で示すと図-14のようになるという話をしました。とにかく種になりそうなものを、何でもいから持ってくる。そして何でもいから、始点から終点まで結びつける。出来上がったら、シメシメ、これで出来たと。あと、無理無駄をなくして素直な結びつきに直す。ここまで出来ると、きちんとした設計になります。

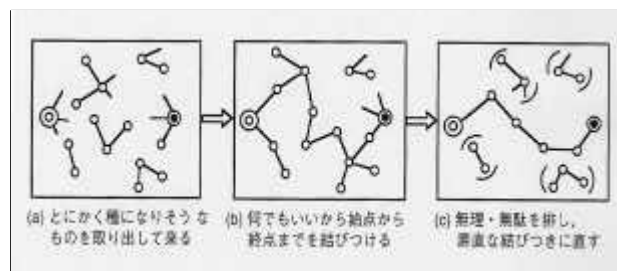
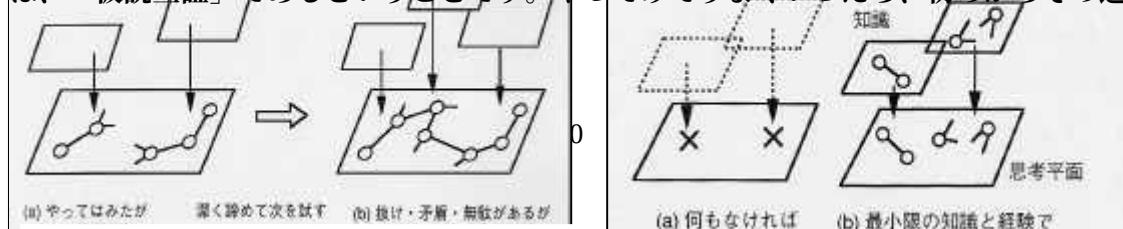


図-14 思考平面上に示された初めての設計

しかし、この動作をやろうとすると必要なことがいろいろ出てきます。まず思考過程は、論理的に結びつけていくものであるという嘘を早くやめることです。この決定過程は、「仮説立証」であるということです。やってみてうまくいったら、初めからその通



りやっていたかのように人に説明する。これが仮説立証です。やってみてうまくいかないときは潔くあきらめて次を試す。ぬけや矛盾や無駄があるけれども、所期の目的は達し、めでたしとなる。ただし、ここでやめては駄目で、先ほど話したように、ブラッシュ・アップをしないと、きちんとしたものにはなりません。

また、個々のバラバラな種を結ぼうとすると、当然必要最低限の知識や経験が必要です。何もないと、何も生まれないが、最小限の知識と経験があれば、曲がりなりにもいろいろなものを生み出せます。そういう意味で知識を獲得しなければいけないし、経験もしなければいけない。

考えの道筋全部を平面に表現したものが、図-17の「思考展開図」です。僕が勝手に名前をつけたもので、学術用語でも何でもありません。しかし、まもなくみんながこの言葉を使い出します。思考展開図を辿ると、自分がどこをどう考えて何をやったか、自分で自分のことが分かります。他人のこともよく分かります。こういう考え方がやはり大事だということで、通産省が1年に1億円ずつ予算をつけてくれまして、この考え方をを使った創造の支援システムを作る研究をしています。来年の3月までに、そのソフトが国のお金で出来ます。請うご期待です。

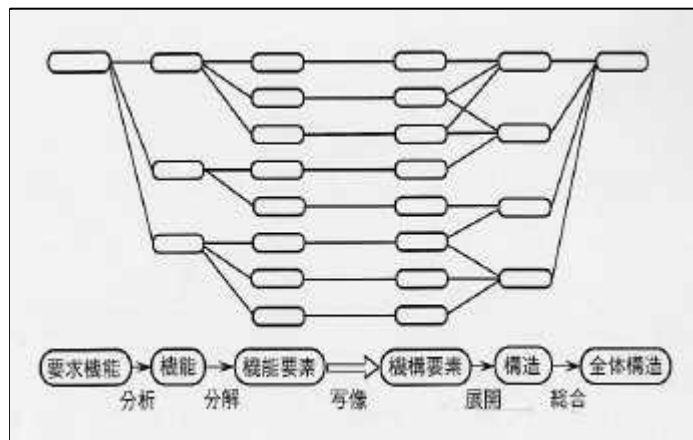


図-17 思考展開図

設計能力を高める努力



図-18 仮想演習

仮想演習をきっちりやるのが本当のリーダーです。やらない人が世の中にたくさんいますが、そういうのを「リーダーもどき」と言います。

例えば、天気の良い日に山に登り、山なんて簡単だよと言っている人がいます。一方、同じ天気の良い日に歩いても、これが雨だったらどうだろうか。ここの道が通れなかったらどうしよう。横

さて、今度は、設計の能力を高めるには何が必要かという話をします。一番大事なのは、「仮想演習」をやることです。一つの道筋が出来たからといって、それで満足してしまっては駄目です。それにはどんな制約条件があるか。出来た道筋が駄目だったら、別のルートを通すにはどうすればよいか。外乱という思わぬ外からの乱れが入って切れてしまったらどうするか。予備的に探索することをしておくことです。これを仮想演習と言います。この仮想演習をやる人が本当の設計者です。また

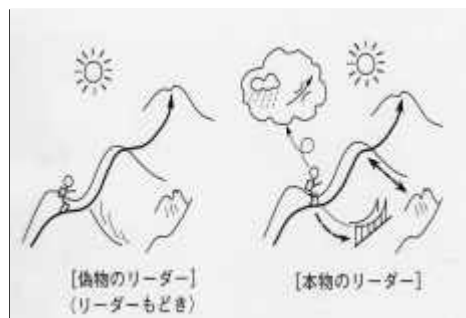


図-19 リーダーと仮想演習

道に行ったらどうなるだろうか。わき道には崖があるぞと調べるような、そんな人が本当のリーダーです。本当の設計というのは、実は、こういう動作を全部やり尽くすということです。

さて、そこで、設計能力を高めるには、どうしたらいいかという具体策をお話します。これは本当に真に受けて、おやりになったほうがいいと思います。

一つは、「頭に引き出しを作る」ということです。木が生えているのを見たら、同時に土の中であって、今は見えない、木の高さと同じぐらいの根が生えていることを想像する。そして、自分の頭の中の引き出しに、とにかく最初は何でもいいから、葉、枝、幹、根とラベリングをする。中身が空っぽでもかまわない。空っぽの引き出しというのは、ものすごく大事です。なぜかという、中身を埋めようと思い、努力が始まるからです。とにかく引き出しを作り、最初にラベルを貼ってしまふ。しかも1本だけの引き出しでは駄目で、種類の違うものを三つぐらい持つようにするとよい。そして、自分の見ること、聞くこと、考えることを、みんなこの引き出しの中に叩き込んでいく。

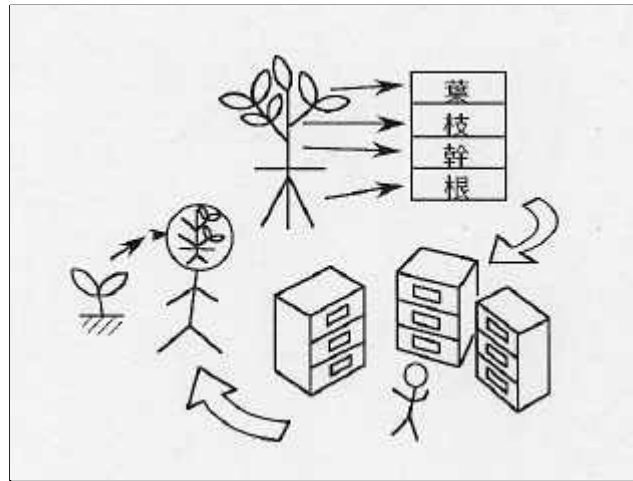


図-20 頭に引き出しを作る

そうしておく、何か問題が起こった時に、その引き出しを開けるだけで、その中身が全部生きた状態で、瞬時に上からダーッとしゃべっていきます。どのぐらい、それができるかということが、その人の全能力を示します。

さて、引き出しができていけると、絵のような小さな双葉を見たとき、もうすぐここまで育っていくぞということが予測できるようになります。実はリーダーや、もっと重い責任者になって、大きないろいろなプロジェクトを動かしたり、組織を動かしたりするとき、最も求められる能力が「先見性」です。その先見性というのは、何となくある日突然生まれるものではなく、営々と努力した結果、身につくものです。そういう意味で、もっとも大事な先見性は、頭に引き出しを作ることで出来ていきます。

次に、引き出しとはまた違うことも薦めます。それは、「思いつきノート」をつけることです。特に、皆さんのようにドクターコースだったり、その後知的な仕事をやっていく人は、徹底的にこれをやらないといけません。思いつきノートは、ノートでも、ファイルでも何でもよい。しかし、すぐどこかに失くなってしまわないようにしなければいけません。それから、コンピューターの中に入れていから大丈夫というのは、すぐやめたほうがいいと思います。何かのときに消えてしまったとか、それを出してみろと言うと、コンピューターの中に入っているという。早く見せてみろよという、いやちょっと待ってくださいと言う。それでは議論は全部止まってしまいます。コンピューターに入れているからいいという生ぬるい考えは駄目です。

そうではなく、全部自分の手で書きなさい。大変だけれどもそのほうがいい。まず最初にやることは、ばらばらな思いつきを、とにかく絵にかく。書けばいいのです。しかし、考えた中身はばらばらなので、書き終わったら、必ず右肩に日付を打つ。これだけは必ず実行しないと駄目です。そして、この考えたものに表題を付けなさい。この表題

がないと、いくら書いてあっても、後でみるとき何を考えたのか自分でも分からなくなるからです。この表題を付けるという動作は、非常に苦しいものです。なぜかという、書いてある考え全部を包含する上位概念でつけるということだからです。

しかし、それができるようになると、後から検索ができるようになるから大切です。それから、思いつきノートは絶対に人に見せてはいけません。アイデアを取られるからだけではなく、人を見ることが想定すると、書く中身が変わってしまうからです。絶対に人には見せないと決めて、自分の好きなことを書く。これが原則です。ダヴィンチは、左手で全部書いて、裏文字になっているというのは有名です。それは、人に見られないで、全部自分の中に閉じ込める一番いい工夫だったのだらうと思います。

さて、図-21の思いつきノートの1個目は、必ず動機と背景を書いておく。なぜ書いたか。それを考えた全体の背景はこうだということを書いておくと、後から見て考えるとき、この中身が全部、生き生きと思い出すことが出来るからです。次に、2番目には脈絡をつけることをやりなさい。課題や問題点が分かってきます。そしてその次は、具体化を考えて個々の問題を解決しなさい。そして発展を考える。そうすると、特許を取らないといけないとか、仲間を引き込むとか、いろいろなことを考えるようになります。こういう思いつきノートは、ぜひ実行されるといいと思います。

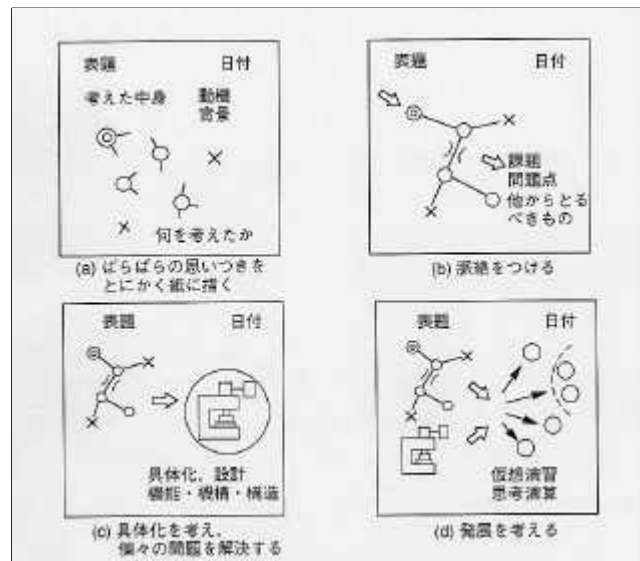
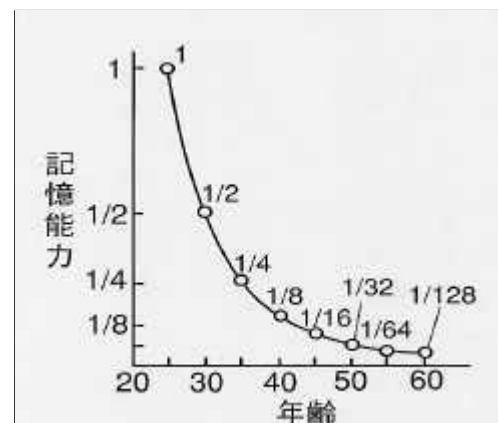


図-21 思いつきノート

全体が見えない人が増え、事故が増える

さて、ちょっと怖い話があります。図-22の年齢と記憶能力の関係です。25歳を1にすると、5年たつごとに記憶能力は半分になります。僕は今59歳、来年の3月で60歳の定年になります。そうすると128分の1ですから、研究室にいる学生さんが3日でやることを、僕は1年かけて、ようやく覚えられるということになり、もうほとんど不可能です。年取って何かやっているというのは、口先や、人をたぶらかす術だけはうまくなるけれど、記憶などは全然駄目になりますから、やっぱり若いうちにやらないと駄目だなあという感じがします。



しかし、もう1つあります。年寄りになつたからといって、そうおめおめとやられてばかりはいないぞというのが、この図-23の年齢と掌握可能な事業規模の関係です。これを見ると、こんなことが言えるように思



います。5年たつと、掌握可能な事業規模は5倍になるというものです。25歳の時に、1億円のプロジェクトを任された人は、30歳の時に5億円が可能になる。順番にやっていると、60歳で7兆8125億円のプロジェクトが掌握できる。実は、トヨタ自動車のマネージしている本体の売上額が大体こんなものです。ということは、生ぬるいことをやっていると、トヨタのヘッドになって、本当のコントロールは絶対にできない。25歳の時に1億円を渡して、最後まで全部やらせるような、そういうコースを通らない限り、本当のマネージャーは育たないということが言えます。

さて、もう1つ怖いことがあります。偶然ですが、図-22と図-23を重ねると面白いことが見えます。思いつきだけでも、何となく図の位置は同じぐらいなので重ねてみると、両方の交点が38歳になります。転職の期限と言われているのが40歳です。40歳を過ぎて転職するというのは、絶対うまくいかないと言われている。50歳過ぎて成功するのはもう稀で、100人に一人ぐらいしか成功しないと言われています。これは何故かという、多分この二つの線のせめぎあったところの交点が38歳ぐらいなので、その辺まででないとい別の分野に行くのは無理だということを言っているのだらうと思います。はじめ笑っていられるが、だんだん怖くなる話です。

図-23 年齢と掌握可能な事業規模の関係

あと二つで抽象論は終わります。今、日本中でいろいろな事故が起こっています。これからあと10年ぐらい、いろいろな形でいやな失敗や事故が次々起こると思います。なぜ起こるかということを説明したのが、図-24と25です。技術はすべて、萌芽期、発展期、成熟期、衰退期を通ります。ワンサイクル大体30年ぐらいです。そして技術の規模が図のように動いていきます。

先ほどの脈絡で見ると、萌芽期は、始点から終点までようやく結びつけられて、選択肢もほんのわずかで、ようやく目的を達するというようなルートで動いています。

ところが、発展期にはどんどん規模が大きくなり、強くなるし、選択肢もたくさん増えていきます。まさに発展期です。ところが、成熟期に至ると問題が発生してきます。最大効率を求めて利益を上げることのみを追求するあまり、横にそれるのが無駄だから、すべての作業をマニュアル化して、絶対にわきに外れてはいけないという教育もし、実際にそういう作業をやります。その結果、そこで育つ人は全員、この一つの道しか知らない人が出来上がっていきます。日本中の会社を見ると、高度成長期に育った人は全部こうなっている。したがって会社から外に出されたら使い物にならない。特に惨めなのが、機械とか鉄鋼で、産業が飽和してしまっていて、52歳ぐらいでほっぽり出されて使いものにならなくなっている。

さらに恐ろしいことは、そういう経験しかしていない人たちが、次の人の教育をしていることです。いまさら新たな選択肢を通る意欲もなく、かつ、経験したこともない人

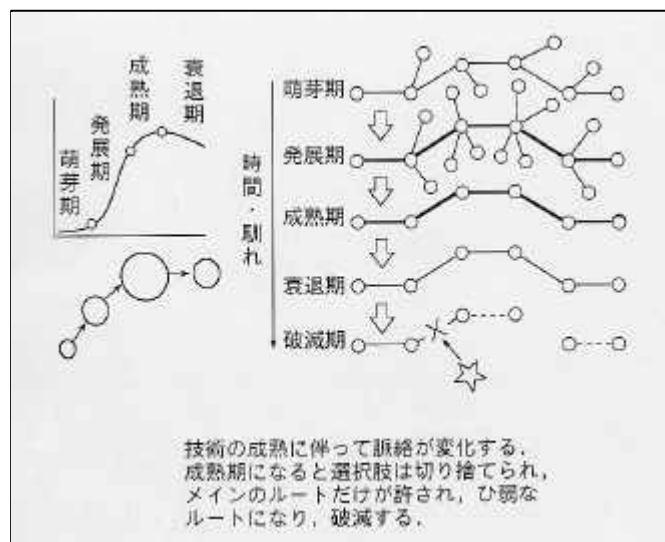


図-24 経済性追求による失敗の必然性

たちが産業を動かす結果となっている。したがって、衰退期に入って、思わぬトラブルが起こると、もうフェイタル・ダメージになる。今起こっている多くの失敗、皆さんが新聞で読んで本当にいやになってしまうような失敗がなぜ起こったかという説明は、今述べた論法で説明すべきにもかかわらず、誰もしていない。分かっているのではなく、分かっている人もいるけれども、言えどい目にあうから黙っている。そういう格好で、本当の分析が行われていないところに問題があります。

もう1つあります。規模が、大きく変わっていくと、今度は一人が理解でき、把握できる範囲がどこまでかという問題が起こります。萌芽期からその分野に携わった人は、小さいところから入っているから、全体図を常に掴んでいます。そして、それがどんどん大きくなっても、全体を理解することができます。ところが、発展期に入ってきた人は、全体を任されることはないまま、それぞれの狭い範囲のエキスパートになっていきます。そして、そういう人が出世し、偉くなって、全体を見る立場になっていきます。しかし、ある日突然に、何から何まで出来るようになるわけがないから、結局全体がつかめないうまま、全体のマネジメントをやることになります。そしてフェイタル・ダメージが起こるのです。その時にやっていることを見ていると、必ず自分の範囲の中で最適解を求めています。結果として、局所最適をやって、全体最悪が起こるのです。

では、そういうときに、何をすればいいのかというと、本当に度胸のある会社だったら、何も変えないということを言うべきなのです。しかし、それでは会社の経営もできないし、技術を担当している人がみんな腐ってしまって、いやになってしまうから、いかにも日々新しくしているかのような経営をし、教育をする。それでまた変なことが起こります。

図-25で東海村の臨界事故を説明すると、ものすごくよく理解ができると思います。去年の8月6日に青森の日本原燃むつ小川原で安全の話をして欲しいというので、僕は、この図で説明をしてきました。非常に怖い話ですが、原子力でまもなくこういう事故が起こると言ったのですが、本当に東海村で起こりました。事故後、むつ小川原から電話がかかってきて、先生の話の半信半疑で聞いていたが、全部合っているんですねと言うから、そうだよって言ったのです。

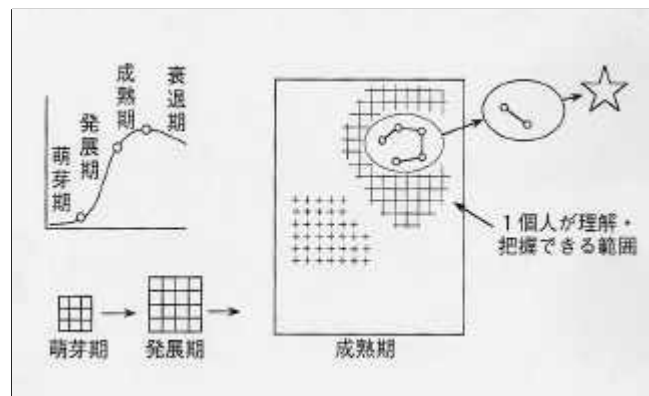


図-25 封印技術

これと同じパターンの事故が、必ずすぐにでも半導体で起こります。半導体産業は一番初めの揺らん期から35年か40年ぐらになります。既に一番最初のゼロから携わった人がリタイアしています。特に、研究所長とか技師長とか、全部を知っていた人が、みんな60歳ぐらいでリタイアを始めています。これは非常に怖いことで、まもなく大事故が起こります。大事故が起こるとい話を聞いても、みんなそれほどではないだろうと思っているけれども、とんでもない事故が次々と起こります。半導体という産業は、基本的に毒ガス産業です。シランガスというのを使っていて、ちょっとでも間違えれば全部吹っ飛ぶ。それから全部の人が死ぬことになります。

どこの半導体メーカーも、30年前から経験している人たちがまだ残っていて、全部

を安全にする方向でやっているから、ほとんど事故が起こらないが、そのゼロからやってきた人たちがなくなった後に、局所最適をやって、次々と吹っ飛ぶという事故が起こります。

それから先ほど話した、いろいろな選択肢を利益優先で切り捨ててしまっているという現実があります。日本の中では、新聞とかテレビも、ものすごく経済性優先になって、本当に伝えなければいけない事故でも、広告主にいじめられるのがいやで、出ていないのです。伝わらなければいけないことが伝わらないために、次々同じ事故を起こすということが、今日本の中でいっぱい起こっています。これから先ますます起こるでしょう。そういう時に、今日の話思い出して、自分が責任者だったら、どうするかということを考えて下さい、と脅かしたところまででこの話はおしまいになります。

研究室の最先端技術ーナノマニファクチャリングワールドー



研究室研究プロジェクト

これからは、好きにやっている楽しい話をします。このポンチ絵は今研究室でやっている研究です。いろいろなことをやっています。後で、ビデオでお見せしますが、電子顕微鏡を見ながら、物を作る、オン・チップ・ラボというもので、いろいろな原子レベルの反応を見たり、遺伝子をちょん切ったり、マイクロ切削という、いろんな機械を作って小さなものを削るそんなことをやっています。

また、「加工の智能化」という研究で、本当の機械を作って、いろんな小さなものを作っています。それから情報機器や、医療ツールの喉頭がんで声の出なくなった人に人工音声を出すシステムとか、脳に音が伝わるのを直接観察しようというので、本当に脳に電極を埋め込むとか、そんなことをやっています。また先ほど設計の話をしました。創造設計といって、人間の頭脳活動を直接支援するような、創造設計システムを作っています。

それでは、この「ナノマニファクチャリングワールド」の辺りから、少しずつ

話をしていきます。ナノマニファクチャリングワールドというのは、小さい原子レベルでいろんな加工をする成形・組み立て室です。防振台の上に乗っています。全部ダイナミックな磁石で支えられています。実際は、全部無料で「荏原」が作ってくれたのですが、防振台は、半導体用に「鹿島」が開発したものです。どこも使うところがないから、先生のところで使いましょうというので使っています。多分世界中で一番性能のいい防振台になっています。そのシステムで組み立てたのが写真-8の山小屋ですが、この大きさは1ミリです。縦・横・高さ1ミリで、ナノマニファクチャリングワールドの中で、右手と左手のロボットを使って組み立てたものです。

ナノメーターの世界で、どれくらい小さいところまで、ものを削って加工ができるの

か。写真-9は石英ガラスを削っているのですが、幅50ナノメートルの溝を掘って、壁が残るようなことをやっています。こんなものをなぜやっているのかというと、遺伝子を酵素で分解しておいて、溝の中にチャカッと入れて、直接読み取りをしようという、夢のようなことを考えているからです。今研究室の学生は、本当にそのとおりやって、順番にそれを実現するようになっています。

削るばかりではつまらない。本当にデポジットするとか、ものをくっつけて、ナノメートルの構造を作ろうというのでやったのが、写真-10の四角い、さいころのような立方体です。一辺が1ミクロンの立方体を作っています。これはカーボンを堆積して作っているのですが、ナノマニュファクチャリングワールドの電子顕微鏡のシステムの中で、三次元的に動かしながら、カーボンが堆積していくようにして作ります。



写真-8 micro house

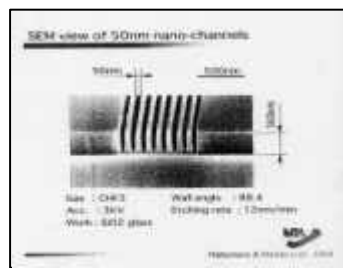


写真-9 50nm nano-channels



写真-10 Nano Cube

一番細い辺りの太さが20ナノメートルです。実は20ナノメートルぐらいというのが、量子効果を出す丁度よい寸法です。ナノテクノロジーというのは、いろいろな人がいて、原子を1個ずつ持つてくるのがナノテクノロジーだという説明をする人もいます。それはそれでいいのですが、本当に生物学的とか生命とか、そういうところで使われて、実際に人間に貢献するようになる大きさの単位は20ナノメートルです。これは覚えておいたほうがいいと思います。原子1個ずつの大きさの、大体100倍の大きさです。

小さいものを作る技術を使って、脳に電極を埋め込む研究もやっています。これは聴覚を無くした人が、音を聞こうとするときに、きちんと大脳を直接刺激するという技術にまで持っていきたいと考え、今ラットの頭に、電極を埋め込んでいるところです。波形をとって、いろいろなことが分かるようになってきています。僕がえらそうに説明していますが、実際にやっているのは、東大医学部の耳鼻咽喉科の加我先生と、フランスから来ているお医者さんと医科歯科大の人が共同でやっています。



写真-11 ラットに電極を装着

人間の耳で聞いた音は、脳幹といっている延髄のところにもず行って、そこから大脳に運ばれ、つながっていきます。そして、それがどういう経路で、どこを通っているかを調べるために、ネズミの脳幹のところにも先端5ミクロンぐらいの細い電極を突き刺します。そして今度は、大脳の表面のほうに、また電極を張りつけて、音をネズミに聞かせて実験しています。音刺激に対する聴皮質の電位反応、電気刺激に対する聴皮質の電位反応を得ることなどで、音を聞き分けている大脳の場所、本当にどこの部分がどういう働きをしているのか、まもなく測れるよ

うになります。こんなものを今やっている人は少ししかいません。しかし、ミクロな研究で、将来は医療にまで、こういうことが行われるようにきつとなるに違いありません。

もう一つ、遺伝子を本当に引っ張るために、先ほど話したナノメーターの三次元構造を作ろうというので、本当に工具を作ってやっています。イネの核、DNAで挑戦していますが、本当に1本のものなのか、高次構造で絡んでいるのか、まだよく分からない。とにかく、遺伝子を引っ張れるというところまではきています。[以下ビデオ説明省略]



【司会】 先生、ありがとうございました。それでは、皆さんから質問があるのではないかとと思いますが、いかがでしょうか。

【質問】 いろいろな事故、失敗が頻発しています。技術立国を目指す日本の科学技術の課題、これからの日本の方向性についてどうお考えになりますか。

【畑村】 1980年代の日本が調子の良かった時、相当傲慢だったという感じがします。90年代になって自信を失い、今になっていますが、自信を失っているぐらいが、ちょうどいいのではないかという感じもするのです。自分の力で変っていくには、まだ相当に苦しめないといけないのではないかと思います。本当にいやだと思っても、今起こっているいろんな事故とか失敗が、ひとしきりどの産業にも、どの分野にも起こって、これでは本当にやっていけないぞというのを乗り越さないと、次に行けないのではないかという感じがします。

せっかく銀行が、二つ三つつぶれたわけだから、大きな製造業が、二つ三つつぶれて大問題になるぐらいのことをやらないと直らないという感じがします。三菱自動車の売上が17%落ちたというのは、ものすごく意味があって、あれが30%か35%ぐらい落ちると、もう産業として成り立たないと思います。悪いことをやればつぶれていく、本当に社会的に許されないんだという文化を、日本で作らないといけないと思います。

そういう意味では、そこに働いている人は大変ですけども、雪印と三菱自動車は、無くなったほうがいいと思います。銀行はちゃんとつぶしたのですから。銀行の始末でいけないのは大和銀行です。あの始末は、すごくいけないと思っています。アメリカから出て行けと言われたということは、日本に帰ってくるなということをやらなければいけないのに、グジャグジャとやって日本の中で生かさせてしまった。あんなことをやっ

ていては本当は駄目で、ちゃんと「そごう」もつぶしたのなら、それぞれの分野、それぞれの産業でも、きっちりとけじめをつけることが大事だと思います。

山一が倒産した時、みんな不安になったが、不安になった分だけ、後が健全になる種を作ったという気がして仕方がない。それから、事故の話を、先ほどは再処理工場の話だけでしたが、その他にも、このごろ半導体の会社からも、半導体でこんな事故が起こるぞと言う議論をしてくれと言われていますが、表面には出てこないが、いっぱい変なことをやっています。

僕も、悪口を言うためではなく、事故というものを、本当に何が起きているのかをきっちり見て、考えるためだから一緒にやりましょうということでやっていますが、いろいろな事故がたくさん起こります。日比谷線の脱線事故などは、まるで不可抗力だったように言っているけれども、それ以前にも事故があったが、人身事故にならなかったから報告をしなかったということで学習がされていない。去年の秋、神戸市で講演をした時に、その事例を説明し、新幹線が危ないと思うということを話したら、新幹線の台車を担当している人が、「日本の中での台車の扱いが、ずいぶん手ぬるくなっているから、自分は非常に心配している」ということを、講演が終わってから言いにきました。その後、日比谷線の事故が起こっている。起こるべくして起こった事故といえます。

同じような事故に、一昨年にドイツで起こった高速鉄道の脱線事故があります。ドイツの技術屋はみんな危険を知っていた。それで、車輪の入れ替えをはじめ、半分ぐらい入れ替えたところであの事故が起っています。あれは、もともとドイツの傲慢で、日本の新幹線の方式を取り入れるべきなのに、ドイツはドイツで出来るんだというので、安物の、市電の車輪の考えを入れて作った。やはり、台車の問題です。僕は、たまたまミュンヘンのジャーマン・ミュージアム（ドイツ博物館）に行って、失敗に学ぶについての議論をする約束をしているところで、あの高速鉄道の事故が起こり、「あらあら、起こってしまった」と言ったら、ドイツの中で、きちんと技術を考えていた人達は、怒り心頭だと言っていました。同じことが、日本の中にもあちこち起こっているように、僕には見えます。

もう一つ、日本は、品質管理（QC）について、アメリカから非常にいい手法を持ってきて、日本で発達させた。日本のQCは、すごいといわれていますが、持ってくる時に忘れてしまったものがあります。それは、アメリカでは全部の品質を作りこんでいく中に、体系を持って、きちんと発達させている「失敗にどう対応するか」という考え方です。ところが、日本は都合のいいところだけを持ってきて、品質を良くすることのみを行い、一番大事な、まずくいったときの想定が欠如している。アメリカから持ってくる時に、無意識だったのか、わざと持ってこなかったのか分からないけれども、まずいことの起こる事態を、自らの活動のどこに入れるかということが全く抜けています。

6月、MITに品質管理の議論をするために行ってきました。そのとき、アメリカでは失敗をどう扱っているのかと聞いたら、企業活動の中で大体こうやっていると言う説明をしてくれました。そして日本では大体いろいろみんな分かっている、日本が一番いいといつも言いながら、なぜアメリカでの失敗の取り扱いを聞くのかと言うから、「日本では何もやっていない、隠すだけだ」と言ったら、「そんなことをアメリカでやってみろ、ひどい目に遭うぞ」ということでした。そのひどい目に遭うのが、うそで固まって、後始末をちゃんとやらなかった大和銀行だったのですが、同様、ブリヂストンについても怖い感じがします。

多分、日本的には徹底してちゃんとしたことをやっているつもりが、アメリカから見ると、やれていたか、やれていないか分からない。本当に怖いと思うのは、日本だから駄目だという、らく印を押される可能性が、すごくあるのではないかということです。

これは推測ですが、非常に怖い感じがします。今、日本の品質云々は、まだ信用されているけれども、日本人は大うそつきで、真珠湾以来、うそばかり言っているということが、定着しかかっているように感じます。

今日の事故が、隠しやうその格好で起こって、後の始末をやらずに平気で過ごしていることから起こっているように思い、本当に怖い感じがします。

【質問】 ナノテクノロジーの世界で、ロボティクスの研究をしているものです。理論的には分析・理解できているが、実用化となると悩んでしまいます。ナノテクノロジー研究は何になると考えればいいのでしょうか。

【畑村】 ナノテクノロジーの世界で、ロボティクスのようなものを使うと何かできるだろう、と言っているけれど、僕はそれも幻想だろうと思っています。ロボティクスのようなものを使い、原子を1個ずつ持っていくというのは面白いし、研究や開発のツールとしては、その研究がすごく意味があるのです。しかし、人間社会に貢献するかどうかというのは、まだずっと先だと思います。

日本の中で、一番それをやっているアトム・テクノロジーというのが、筑波にあります。実は先週、そこに行って今日のような話を講演して議論をしました。ナノテクノロジーで、米国クリントン政権が予算をつけたからというので、日本は今、経団連ほかみんな浮き足立っています。しかし、ナノテクノロジーを本当に使えるものにするには、戦略を練る人が必要です。ところが、日本には誰もいません。それが最大の欠点です。夢を語るものと実用化するものの区別がごちゃごちゃになっていて、みんないっしょくたに話をしています。これはとても良くないことだと思います。もっときちんとした戦略を練って、それを立案して動かしていくようなやり方が、日本には要ると思います。

ナノテクノロジーで作ったものが、本当に人間の生活なり、行動の中に貢献するというものは、当分出てこないと思います。しかし、やってはいけないとか、意味がないとか言っているのではありません。ごちゃごちゃにした説明をしてやっていくのはいけないといっているわけです。それに、もう一つ、ナノの世界に、みんなの関心を持っていこうとするのは、非常に正しいことだろうという気はします。そういう意味では、原子を1個ずつ持っていって、こんなものが出来たぞとか、あんなものが出来たぞと言うのは、とてもいいことなのです。けれども、それがそのまま、まるで何か次の世界を開くかのように言うのは嘘です。

【質問】 似た質問ですが、ナノが次世代の核技術として、いろんな分野で実用化の時期にきているのではないかと考えていたのですが、先生のお話を伺うと、戦略的に考えている産業はどこにも無いということでしょうか。企業はナノ技術を何かの形で、ものを作ろうとしていると聞きますが。

【畑村】 そういうふうにみんなが楽しそうに思うけれども、トヨタもソニーも、何もやっていないし、やる気もない。僕はやるべきでもないと思う。

しかし、大事なのは、例えば原子を1個ずつ並べて、原子を1層ずつきれいに並べていく技術というのができて、その1層ができたなら次をやろうかと考えることです。これはエピタキシャルと言っているものです。ある会社がこういうふうによろうと言うと、別のメーカーは、階段状に1層目を作って、そのすぐ後ろにもう1層作り、さらにそのすぐ後ろのところにもう1層作るという、何十層分もの完全無欠陥な結晶を成長させていくには、どうしたらいいかということを必死になってやります。

一方、もう少し違うことをやっている人もいます。完全無欠陥の結晶を作るのとは全然違う、バルクで何となくガチャガチャとものを作っておいて、そして、温度のムラを

上手に作り、結晶が進行するようにする。そうすると、最初何となくくつついていたものが、再結晶が行われて、完全無欠陥な結晶になるという現象が起こります。そういうことをやっている人もいます。

半導体メーカーの普通の人たちは、今まったく考えていませんが、携帯電話の行き着く先というのが、ウェアラブル・コンピューターというか、ウェアラブル情報機器になる時は、ナノメーターが出てきます。この方向で研究している人たちは、半導体技術とはまったく違う方向に行こうと思っています。それはソニーとかではなく、携帯電話をやっている日本の部品メーカーです。例えば村田製作所です。村田製作所の生産量はものすごく、世界中の携帯電話の生産量を決めてしまうぐらいになっています。

従来型の重厚長大で育ってきた会社の幹部や、経済界、国を動かしている人たちも、すごい勢いでそういう方向に動いていることを、このごろになって、売上がすごいと騒ぐようになってきていますが、もっとちゃんと見ていないといけないと思います。少なくとも、鉄鋼メーカーがやった半導体事業、コンピューター事業はことごとく失敗したわけですが、失敗する必然性があったわけです。

おかしい話ですが、今後伸びる必然性があるところを、きちんと見ていないという事例がたくさんあります。通産省のお役人でいうと、最近勉強しなくなっていると思います。一人ずつに、どこを見にいった、何を見てきたかを聞くと答えられない。例えば、今から20年前の通産省のお役人で、政策の立案をするような人は、半導体のメーカーとか、そういうところの仔細なところまで勉強にいったという気がします。ところが、このごろのお役人は勉強に行かない。しかし、役人の悪口ばかり言っていられないことがあります。大学の先生が、全然勉強をしなくなっていて見るも無惨です。例えば、もの作りが大事と言って、生産とか加工を教えていながら、それではおまえ、1年間に何回、どこの会社に見学に行ったかを聞いてみると、1回しか行っていないとか、2回しか行っていないとかの返事です。この間、生産加工の国際会議で、CIRPというのがあり、集まった若い人に聞いてみたら、あまりに勉強をしていないので、こんな先生に教わって何が起こるのだろうと愕然としました。

みんなコンピュータの中でシミュレーションをやって、シミュレーションに意味があるんだと言うけれども、ほとんど意味のないゲームをやったような研究になっています。この現状は、日本の本当の意味の、産業の基を作るということが急速に消えていっている、日本全体が飽和してしまって、進歩が止まっている部分だろうという気がします。嘆いてばかりでなく、どんどんやらなければいけないと感じています。

【質問】 ゼロからやる人はだんだんいなくなって、それでいろいろな問題事故が発生している。それでは、その育成はどうすればいいのでしょうか。解決策について、先生は、どういうふうに考えておられますか。

【畑村】 全体をとらえる人をきちんと養成するということを、すぐにでも始めないといけません。全体像をとらえるには、結局ゼロからやらなければ駄目ということです。例えば半導体について話しますと、今の半導体の多くの会社のプラントは、手作りではなく、例えば、ステッパーはニコンから買ってくる、何とかはアドバンテストから買ってくる。それらを組み合わせて作るから、その会社の技術屋は、機械の詳細をいじれない。事故が起こったらどうするかというと、購入元に電話するという。ばか言うんじゃないよと言いたい。日本中そういう状況ですから、これからすごい事故が起こります。

それでは何をすればいいかというと、自分たちの使っている機械を、そこにいる技術屋が設計をする場を与えることです。それで、本当にその機械を使うのかというと、大

量生産するところは、買って来た機械でやっていけばいい。しかし、それを扱う技術屋にはゼロから設計をさせることによって、自分たちの使っている機械の基本が分かるようなトレーニングをしながら、先端技術の部分は、自分たちの工場の中で作るという、本当の先端部分を持っていないといけないのです。出来上がったものだけを使って、たくさん作ればいいという最大効率だけを求めないで、本当に進んでいる部分を、自分の中に取り入れるようにすればよい。

トヨタ自動車は、量産をする一方で、基幹従業員に、自動車を手作りで作るという教育をやっています。そういうことを気が付いてやっています。日本中で、トヨタが一人勝ちだ、世界中でトヨタが一人勝ちになると言うけれども、それは技術の扱い方の根底がものすごくちゃんとしているからです。

半導体でも同じことが言えます。東北大の江刺先生の研究室、西沢潤一先生のまな弟子ですが、その研究室の学生は、修士1年の時に、自分でLSIを全部設計して、マスクも全部自分で作っている。機械は、全部自分でいじらせる。間違えば死ぬかもしれないという怖さがありながら、シランやいろいろ全部を使ってやらせています。自ら自分でやる本当の教育をして、先端のいろいろなものを作っていくということをやらせています。

先ほどから言っているように、最大効率だけを求めて、選択肢をすべて禁止するようなやり方をしていると、必ず事故を起こして、次の世代には消えていく。したがって、人を育てて、全体像をとらえて、自分の責任で自分を処するような、そういう人を作っていかなければいけないと思います。

【質問】 聖書にバベルの塔の話がありますが、先ほどから、事故の問題とか、技術に伴うさまざまな問題の話を伺っていて、保守的な見方ですが、結局技術って何なんだろう。私はエンジニアではないものですから、技術って何だと言われたら、何も知らないのですけれども、例えば遺伝子工学とか、そんなもの要らないのではないか。われわれの社会は、今の状態でいいんだから、新しいものを作るのはやめなさいというふうに考える人も、結構この社会にはいるのではないかと思います。

新しいものを、みんないいと思う人と、そんなものではないと思う人がいる。新しいものがあったって、われわれはその新しいものの中で、何か選択しなくてははいけない。しかし、今の社会は市場がそれを選択する。結局売れるものは、いいものだという。だから、作ろうというふうな仕組みになっているのではないかと思います。そういうことに対して、工学者としての、技術に対する先生の哲学というか、どうすればいいのかということについて少し説明してください。

【畑村】 僕自身は、やはり新しいものというのを、ちゃんと追い求めるべきだろうと思っています。それは何のためにというと、いろいろ理屈はあるけれども、人間は新しいものへの興味、好奇心がいっぱいあって、新しいことをやりたいからだと思います。しかし、それだけを追いかけて本当に人間が幸せになれるのかと言ったら、多分全然そうではないと思います。古いものだけで、それ以上何も進歩する必要はないと言うのはおかしいし、全部新しいものを追いかけることが一番いいというものも、愚かで、変な判断だと思います。

しかし、人間は、何を言っても絶対に新しいことをやりたくなるんです。多分そういう性格を持っていたからこそ、人間は今のレベルにまで動物の中で発達してきたんだと思う。誰もそれを止めることはできないし、新しいことにチャレンジする。けれども、大進歩だと思っていい気になっていては、駄目だろうという感じがします。今環境の問題がいろいろ騒がれていますが、環境の問題を解決できないと、何もできなくなってし

まうということが起こるのではないのでしょうか。

僕らが既に遭遇しているようないくつかの困難よりも、もっとずっと大きな、まだ遭遇していない、いろいろな困難な問題、環境の問題であったり、疫病の問題であったり、もしかすると遺伝子に直接関係するような何かで起こることが、これから出始めるのではないかという気がします。それでも、人間は多分、それを克服して、また先に進むだろうという気がします。

人間の便利さと欲の前には、何を言っても全部消えてしまう。そういうことを、とても言いたくて、先ほど、「ここより下に家を建てるな」という写真を見せたのです。

【質問】 私は、産業のことは分かりませんが、ナノテクノロジーはどこまで進化するのでしょうか。

【畑村】 ミクロンよりも、サブミクロン、数百ナノメートルぐらいのところで、いろいろなことが起こって、それが医学や生命のところで、とても大事になるだろうという感じがしています。今やっている生物学的、医学的なやり方の中で、ナノ、マイクロの技術から、まったく新しい視点を入れることができるのではないかと考えています。

それは何かというと、ナノマニュファクチャリングワールドのような空間で、見ながら、好きなところに自分の工具、針だとか、もっと違う格好の工具を持って行って操作し、ある時間の中で物質を調べることが、多分できるようになると思います。これは、今まで生物を扱っていた人たちが、やりたいのに出来ないでいた、一番大きな根本的な差なのではないかと思っています。先ほどの映像で、ミリセック (ms) オーダーで、現象がどんどん脳の中を動いていくのを説明しましたが、もっととどろんとやると、何マイクロセック (μs) という、もっと速い現象がきっと起こっていることが分かります。

そうしますと、リアルタイムで、そして三次元のリアルな世界を、直接にその場所に入って、そこでの現象を見るという、新しい手法が出来ていくだろうと思います。それから、その新しい手法を作るときに、ナノメーターで原子と原子を結びつけて、道具を作ることになるのではないかと思っています。また、自分の好きな酵素などを調べようと思うと、酵素も原子と原子が結びついて、ある機能を果たす原子の構造を持っている集団ですから、今までにない形の新しい酵素のようなものを使った面白い道具を作りながら、何か新しいものを作ろうとか、調べようとか、見ようとか、いろんなことが出来てくるのではないかという感じがします。

しかし、感じがするだけでまだよく分からない。これから出てくる。それこそが、ナノテクノロジーの一番いいゴールというか目標です。それは、とてもいいことだと思っています。

【質問】 ちょっと、とんちんかんな質問かもしれないのですが、電子顕微鏡というのは、二次元のものを見ているのではないかと考えていましたが、三次元が見えるというのは、どういうふうに見るのですか。

【畑村】 先ほどのビデオの電子顕微鏡は、普通に見る時は、上から電子線をあてて、その二次電子を見ます。言ってみれば真上から見た平面画像しか撮れません。しかし、僕らのやっているものは、「時分割」という方法で、一つの真空チャンバの中に、上からの電子銃と横からの電子銃の二つを持っていて、60分の1秒ずつ切り替えているのです。上からの60分の1、60分の3、60分の5というふうに撮っていき、片一方は60分の2、4、8と撮っていく。それを左と右の画像で見ると、リアルタイムで、全部が動画で、上からの像と横からの像が同時に、しかも別々に見ることができます。

そうすると、人間の頭はそれを見て、自分の操作している道具が、どこの場所にあるかが分かるので作業が出来ます。

この方法に行き着く前に、電子顕微鏡を使ったステレオ・ビューというか、立体視のできる電子顕微鏡の研究をやりました。それは両側から見て、輻輳角を2度ぐらいにすると、立体像が見えて面白いのです。ところが、立体像で見えても相手との距離が結局わからないため、作業時にぶつけて、作った工具がみんな壊れてしまいました。よく考えてみると、人間が作業をする時というのは、だれがやる作業も、上からと、横から見ていることがだんだん分かってきました。僕らは「多面視」と言っているのですけれども、両方から見ようということになりました。

しかし、もう少し工夫もできて、ものが平面のところに近づいてきた時に、電子顕微鏡の加速電圧を上手に選ぶと、ものの影が映ります。その影を上手に見ると、平面画像なのに立体的に見え、距離が分かります。この影がうまくいっているときは、平面にある画像と影の両方を見て、人間は演算して、立体の位置情報を捉えることが出来るものだと思います。しかし今は、上と横から見ています。この技術はどこにもありません。だから、先ほどから楽しそうに話しているわけですが、大切なのは、その一つ一つを全部自分らで開発しているということです。

【質問】 特別な電子顕微鏡をお作りになったということですか。

【畑村】 そうです。もとは普通の日本真空という会社のものを使っていて一緒です。けれどもチャンバと、時分割をするというやり方は、全然そこにはないものです。原理的にこうだから、こういうものを作ろうということで、サンヨー電子という会社に頼んで作ってしまいました。

【質問】 今、日本の科学技術政策が、科学技術会議で議論されていますが、今のような政策のあり方で、果たして窮状を救えるのか。それから予算の立て方における国の役割と民間の役割、縦割り行政の予算配分など、ああいうやりかたについて、先生はどう感じられておられますか。

【畑村】 とても変なものです。（笑）

【質問】 先生にお話して大変失礼かも知れませんが、果たして研究において、大学が必要なのかという疑問もあります。教育と研究という、われわれの世界の印象というか、教育のほうはともかくとして、研究のほうは今のやり方では本当に国際競争は難しいなと思います。

【畑村】 全部おっしゃるとおりだと思います。まず、一番初めの科学技術会議云々ですが、実は、これから先の戦略をどう練って、何をやるべきか、相談にのってほしいという話があり、いろいろ協力しているのですけれども、やはり全部をとらえる視点がなさ過ぎて、やっても仕方がないと、すごくそういう感じがします。何か言っても、会議の中にいる人は、まだ日本の社会は、縦割りの制度を打破することができないで、結局最後はこうなってしまうというから、それではそのままやっていたらどうですか（笑）と僕はそういう答えをするしか仕方がないから、そんな答えをしています。

先ほど、今後10年なり何年かは、まだ停滞するのではないかとお話したのは、科学技術政策が徹底的に駄目なのなら結局それを崩さなければいけないとみんなが思うようにならないと駄目で、みんな政治の悪口や、何が悪いと言うけれど、自分は変わるつもりがなく、側だけ変わることを求めているような風潮に見えるからです。

したがって、もう自分も苦しくてたまらないから変るしかないというふうになる時まで待つしかない。逆説的になりますが、今が幸せならそれでいいじゃないかということになります。

それから、大学の教育と研究については、学・民・官の役割分担がずいぶん違ってくると思います。たとえば、日本ですごく間違っていると思うのは、民間がものすごく研究や開発をやってきたから、日本はすごいという言い方をしていますが、僕は民間がそれほどすごいことをやっているとは思いません。利益を上げるために一番いいことをやってきたのは、多分事実だろうけれども、今、それほど儲けも上がらなくなって、何をやっているのと、すごく言いたい感じがします。民間がそれほどちゃんとやっていたと言うなら、今ごろ困ることもないはずじゃないかと、すごくそういう気がします。特に国立大学の研究が、たいしたことないと言うけれども、研究費もまともに出さないで、何を言っているんだという感じがします。特に、もっと言いたいのは、大学院の学生が実際には研究の担い手になっているのに、大学院の学生に給与を払うということを結局やらずに、ただ働かさせるというシステムでやっている。こんなばかなことをいつまでもやっているうちは、日本は全部駄目だと思います。

本当の競争を世界に伍してやると言うなら、ちゃんと大学院の学生にペイを払い、大学の先生が本当にフリーに動いて、それで優勝劣敗が起こるような場所を用意しないといけないと思います。ほとんど競争をさせない、できない場所に置いておいて、たいしたことをやっていないと悪口を言うのは、ちょっと大学の先生がかわいそう過ぎる気がします。圧倒的に少ない予算と、いんちきな予算の立て方というように、僕にはみえます。

今日、お見せしたナノマニュファクチャリングワールドという研究は、実はすごくお金を使っています。2億円ぐらい掛かっています。しかし、その予算のうち1億5000万円は、荏原の藤村さんという社長さんが、顔を見て、ちゃんとやれそうだからということで出してくれています。人も付けてくれて、設計も全部あなたの言うとおりでいいからということでやっています。その次にお金を出してくれたのは、東京電力の財団です。このごろ、利子が少なくなって原資が非常に苦しいらしいですが、6年ぐらい前は、ずいぶんまだ原資があって、3000万円ぐらい出してくれました。

それから、文部省の科学研究費が3000万円。それから、THKの社長の寺町さんが、おれも手伝ってやるということで、それが3000万円ぐらい。あと日立建機が2000万円ぐらい出してくれました。そういう費用でやっています。考えてみると、国からのお金は、科学研究費の3000万円しか入っていないのです。そんな程度で、日本の大学は、やってる、やってないと、とやかく言うのは絶対間違っているという気がします。

しかし、捨てたものではなくて、荏原の藤村さんのような方がおられて、「いいことやりなさい、それにはお金要るだろうから」と、5年間、年2000万円ずつ黙って出してくれたわけです。そういう人たちがいて、研究を支えてくれています。研究支援の環境として、日本もアメリカと同じように、意思を持っている人が、その人が稼いだお金を寄附したものは、全部経費で処理できることを認めて、もっとフェアな戦いの場を与えるべきだと思います。何でも税金で持っていってしまうというのは、早くひっくり返さないといけないという感じがします。

【質問】 最近、人を愛するとか、憎むとか、そういうことまで科学で説明しようとしているように思いますが、それについてどう思いますか。

【畑村】 人の心というのは、何だろうかを考えたとき、今の脳科学では、完全に人の心というのは、物質の移動である、エレクトロンとか、電子の移動であったり、何かの移動であるという方向で、ほとんど全部解明されようとしています。例えば、ある人の性格とか、性質とかいうのも、ほとんど遺伝子で決まっていると言うけれども、遺伝子は遺伝子でそのままあるのではなくて、人間の中の物質の移動をコントロールしていて、その結果が性格や性質として出てきているという考えです。したがって、最後は全部、もので説明がされるというふうになると思います。たたりがどうかは分からないが、好きとか嫌いとか、憎むというようなことまでは、完全に物質の移動で説明ができるというふうになると思います。

【司会】 30分ほど過ぎましたので、もしこの後まだ質問がありましたら、懇親会で、直接先生にお聞きになってください。先生、今日はどうもありがとうございました。

【畑村】 はい、お粗末さまでした。ご清聴ありがとうございました。（拍手）

講 師 略 歴

畑村洋太郎 工学博士 (1973 年取得)

1966 年 東京大学大学院修士課程修了
株)日立製作所入社
1968 年 東京大学工学部助手
1969 年 同 講師
1973 年 同 助教授
1983 年 同 教授

- ・ ナノ・マイクロ加工、力センサ、加工の智能化、医学支援工学、技術の伝承と教育の方法論を研究し、実際の設計研究会を主宰し創造設計原理の研究を行っている。

また、最近は失敗学を提唱し、失敗知識の積極活用の活動を行っている。

<近著>

- ・ 実際の設計 - 機械設計の考え方と方法、日刊工業新聞社 (1988)
- ・ 続・実際の設計 - 機械設計に必要な知識とデータ、日刊工業新聞社 (1992)
- ・ 続々・実際の設計 - 失敗に学ぶ、日刊工業新聞社 (1996)
- ・ 設計のナレッジマネジメント - 創造設計原理と TIZ、日刊工業新聞社 (1999)
- ・ 岩波講座・現代工学の基礎 「設計の方法論」、岩波書店 (2000)
- ・ 失敗学のすすめ、講談社 (2000)
- ・ 機械創造学、丸善 (2001)

SGRAレポート No. 0003

渥美国際交流奨学財団 奨学生の集い」講演録
技術の創造」 畑村洋太郎

編集・発行 関口グローバル研究会(SGRA)

〒112-0014 東京都文京区関口 3-5-8
(財)渥美国際交流奨学財団内

Tel 03-3943-7612 Fax 03-3943-1512

SGRA ホームページ： <http://www.aisf.or.jp/sgra/>

電子メール office@aisf.or.jp

発行日 2001 年 3 月 15 日

発行責任者 今西淳子

印刷 藤印刷

？ 関口グローバル研究会 禁無断転載 本誌記事のお尋ねならびに引用の場合はご連絡ください。