

[司会：廣田榮治]

## 講演 1. 堀田凱樹（情報・システム研究機構長）

[堀 田] 「進歩主義の後継ぎはなにか」というお題をいただいているのですが、私はこの会は初めてなので、何をしゃべったらいいか全然わからないし、そんなに才能もあるわけではないので、文系のお話もできません。ライフサイエンスをずっとやってきて、ある意味で進歩主義の極を追究してきていると思いますが、そういう中で私がどんなふうに見ているかというお話をさせていただきたいと思います。

タイトルの「大量枚举の科学から情報とシステムの科学へ」ということで、情報システム研究機構というのは、まさにこのために作ったという宣伝も兼ねています。法人化のときにどうい研究所を組み合わせるかという議論を散々やりましたが、企業の統合ではありませんので、単に似ているものを集めるというのはだめだというのが私の主張です。オーバーラップはそんなない、しかし接点はあるものを集めようというので、遺伝研と情報研と統計数理研と極地研という4研究所を束ねたのがいま私がお世話をしている情報システム研究機構です。

余談ですが、私は緑を使います。緑でないと見えない人が約四、五%います。いわゆる色弱とかそういうふうに言うと病気のように思いますが、そんなにたくさんいる人たちが病気だというのはおかしいので、われわれはそれは病気ではない。そういう人はバリアフリーにしなければいけない。ということで、誰にでも見えるのがこの色なので緑を使わせていただいています。

ライフサイエンスというのを見ますと、普通に考えているライフサイエンスの歴史は、もっと昔もあるのですが、1900年のメンデルの法則の再発見がライフサイエンスが本当に科学になったときです。僕はこれを第一革命と呼んでいます、ユニバーサルローとしてのメンデルの法則が見つかった。これが再発見だというのが大事で、メンデルは実はこの35年前に見つけているのですが、誰もわからなかった。それが単に追試されたのではなく、再発見された。違うシステムでもちゃんと成り立つことが全部わかった、ユニバーサルローの発見ということで、生物学にとっては画期的なものです。

その次は1953年のDNAの二重螺旋、ワトソンとクリックですが、これが画期的で、これによって生物学というのが全部統一された。すべての生物はDNAで統一が描けるという時代が訪れて、ちょうど50年くらい経っています。そのあと50年目くらいのところで、全ゲノムの解

読という時代が現在訪れています。

DNAというものが物質としてわかって、単なる塩基の配列だということがわかったけれども、それをずっと読むなどということは夢の夢だと思っていたのですが、それが現在可能になって、いまどんどん早くなっています。お金はすごくかかるのですが、やがては誰でも自分のゲノムを手を持っている、あるいはそれをチップに入れて持ち歩いているという時代が来かねない。個人のゲノムが全部わかる。

そうすると、これはたぶん井村先生のお話のところにつながるとは思います。遺伝子と病気の問題とか、進化の過程も含めて全部わかる時代が来る。これがずっと走ってきたわけです。ちょうど50年ごとですので、2050年ごろにもう一つ革命があるはず。外挿するとそうなりますが、ここでは何が起ころのだろうという話をしたいと思います。メンデルが実験をしていたころはダーウィンの時代です。そのころ日本はどうなっていたかという、1853年は黒船来航という時代で、そのころにメンデルは実験をしていたということです。

生命を理解する方法に、スタンダードには生命というのは非常に複雑な系ですから、これを素過程に分ける。具体的には分子として一つひとつ構成する分子を明らかにして、構造を明らかにして、その間のエネルギーの相関を明らかにする。そういうようなことが非常に進んでいます。これは生化学、分子生物学というように発展してきた。

一方、情報的な側面というので生命を見る。実は遺伝学というのはそういうものでした。本来、遺伝学というのは、メンデル、情報学からですが、しかしこちらはなかなか先が見えないということです。もう少し具体的に言いますと、生物の一番最初というのはこっちだったということで、これはみんなあまりわかっていないように思いますが、生命を理解するには、まず記載であった。記載するというは、いま流に言えばデータベースを作ることですから、データベースを作って、その中の構造を明らかにするという学問ですから、ここはまさにこっちへまず進んだ。昔は分子のことは全然わからなかった。それがメンデルの時代だったというわけです。

メンデルが明らかにしたのは、実はこっちへ明らかにしただけではなく、その構造からこちらを読み解いた。この双方向が成り立ったというところに、メンデルの大きな貢献があります。実はダーウィンも同じです。複雑な生命の分布を克明に調べて、現在いるものをずっと記載してみると、そこには構造があつて、それを時間軸に並べると非常にわかりやすいということも明らかにしたのがダーウィンです。そういう意味で、生物学の一番最初というのは、むしろこちら側が非常に有力であったということです。

しかし、メンデルが遺伝子というものの存在を仮定して、仮定のものであったのが、ものとして明らかになるという時代が訪れます。メンデルの法則というのは、普遍法則だということが最も重要なことで、普遍であるということになると、何も全部で研究する必要はない。ある特定のもので研究すればいい。それがモデル生物という概念です。私などはそれをショウジョウバエでやるとか、そういうことをやってきたわけですが、モデル生物の研究をする。それで明らかにしていくと、なるべくこれを単純化して行って、進歩の仮定はファージと大腸菌の分子遺伝学になった。これが、私が大学生だったころの時代です。

この先はどうなったかという、そうなってくるとどんどん物質として明らかにしていくという方法が進んできて、酵素、タンパク質、タンパク質の相互作用、あるいは酵素の反応のエネルギーというような、物質エネルギーでの理解というものがものすごく進んだ。こっちのほうはメンデル以降、なかなか進まない。そういう時代が訪れます。こっち向きはいいのですが、逆向きというのはなかなかできない。

物質的に明らかになっても、その物質を混ぜたら生物ができるというようにはならないということで、なる例はごくわずか、ウイルスの結晶化とかそういう問題はありますが、生命の本質を分解してみるのにはできるけれども、再構成はなかなかできない。困った、困ったという時代が進んできたわけです。

そこに訪れたのがDNAです。DNAというものが遺伝子の本体らしいという説が出てきて、タンパク質か、DNAかという議論が散々あったわけですが、DNAの構造が解けた。これはワトソンとクリックで1953年です。ワトソンとクリックがそれを解いてみたら、実はその構造だけから転写とか翻訳といったものの本質が全部読めた。これは画期的な学問で、つまりこう解いてみたらこちら側へ行っただけで、それがワトソン、クリックの本質であるというように思います。

ここから直に行くということはなかなかできなかったけれども、こう回ってここに到達できた。これがワトソン、クリックの成果だと思えます。これが明らかになりますと、このことから複雑な系の中で何が起きているかという理解がだんだんいきわたるということで、なんとか回りだしたという時代がやってまいりました。

この時代というのが、まさに私がサイエンティストとして実験、研究等をしてきた時代で、複雑な系をDNAのレベルで明らかにしていく。それで物質が明らかになって、それが明らかになるとシステムとしてのことがだんだんわかってくる。システムがわかってくると、複雑な系のことが理解できる。なんとかそういうふうにしていこう。それを脳でやろうというのが、

私が昔からやってきたことです。

DNAですが、二重螺旋は皆さんよくご承知のことで、1953年にワトソン、クリックが二重螺旋の構造を解いた。複製、転写、翻訳ということが構造を見ただけで想像がついてしまったということです。こういうことは画期的で、構造だけを見て機能が読めるというようなことはなかなかないことです。しかもそこで遺伝暗号に普遍性があったということがもう一つ重要で、普遍的だということは、先ほどメンデルで出ましたが、ここでもう一度遺伝暗号の普遍性というのが出てきました。そうすると何も全部で研究する必要はない。やさしいもので研究すればいいというので、大腸菌ファージとなって、分子遺伝学はそれで終わりだという本まで書いた人たちもいるわけです。

しかしクローニングとか遺伝子導入というものが起こってきて、ここでもう一つ重要な発展だったのは種の壁を越えられたことで、それがここでのもう一つ大きな進歩になります。いままでは遺伝学中心ですから普遍性はあるといっても、種の壁を越えて何か操作をするということとはなかなかできなかったのですが、クローニング、遺伝子導入という工学の技術を使うことによって種の壁を越えてハエとヒトとの共通性とか、どこが違うかといったことも全部明らかになってくる。

ヒトの遺伝子をハエに入れたら働くかとか、そういうようなことも実験的には簡単にできる。ハエをヒトに入れることはできない。これは技術的にできないわけではなく、倫理的にしないということです。そういう方法を使いますと、脳とか発生とか遺伝病といったものを非常に詳しく理解することができるようになったということが、二重螺旋からの数十年かかった進歩です。

その時代も、結局この三角形で考えてみると、生命の複雑なものを分解して、クローニングして遺伝子を決めていく。前の絵ではここがタンパクでしたが、タンパクを決めていこうというのは非常に大変な作業で、一つひとつのタンパク質は違う性質を持っているので、一つひとつを相手にして研究しなければならない。DNAで研究する特徴は、DNAというのが割合単純な分子なので、何の遺伝子だろうとDNA、同じ技術で研究できるということで、クローニングする。遺伝子導入ができることによって、情報システムの方向へなんとか流れるようになった。しかし、なかなかここから向こうへ行くというのは難しい。近現代はこういう時代になったわけです。

ですから分解するという方向はいい。しかし総合というのは、こう回るといっただけけれども、なかなかうまくいかないということが繰り返し起こってきたわけです。とどのつまりは、あま

りにもここが大きくなって、分子のカatalogになってしまった。これが現代です。

分子生物学会という巨大な学会がありますが、最近私はほとんど行かなくなりました。分子生物学会へ行って、あなたのご専門はというと、転写因子の何たらの専門ですというような、わけのわからないことになってしまいます。専門というのはそういうものではないだろうと思うのですが、分子ごとに専門家がいるというような状況が起こってきています。これはまさに昔の生物学を彷彿とさせる。チョウの専門家というような時代、いわば博物学ではないか。

生物はせっかくDNAで統一論を進めてきて、本当に統一されたと思ったのだけれども、進歩主義で詰めていったら、また博物学になった。ある意味で弁証法的な進歩をしたとも言えますが、ここで困ったということになった。これを何とかしようというと、当然これは情報としての理解ということになります。

そうしているうちに大革命の3番目が訪れて、ゲノム解読の時代になりました。これはまさに現代ですが、モデル生物の全ゲノムを解読する。モデルの中にはヒトも含まれています。ヒトの解読ということが世間的には一番興味がありますが、もちろん大腸菌から始まって、ショウジョウバエ、線虫もやって、マウスもずいぶん進んでいますし、ヒトは全解読が行われて、個人別の解読も二、三の例について行われています。シーケンサーというようなものがどんどん進歩して、そのうち一晩で一人のヒトのゲノムが解読できるという時代が来ることになります。

こうなりますと、比較ゲノムという分野が進歩してきます。生命進化というものが、DNAの進化として語られる。これは高畑先生のご専門のところになると思いますが、この技術が非常に大きく貢献をして、いままで何となくかたちとかそういうことだけでよくわからないというイメージだったものが、非常にはっきりと議論できるようになった。また遺伝子が全部わかってしまっていますので、理想的にはそこで作られる生体の高分子も全部わかったということになって、その相互作用が全部わかる。そういう時代になります。

これはタンパクの話ですから大変な話で、それがネットワークになっていて、どういう相互作用を起こしているか。これを個別的に研究するというのは、天文学的な数になりますから不可能なので、ある病気のあるときにはこの遺伝子とこの遺伝子がどうなるというようなかたちでの、ネットワークを束にして理解をすることが現在行われています。サイエンスとしては、生命戦略の本質が理解できるようになるということだと思えます。社会的な応用としては、第一には医療や健康への応用ができる。こういう時代が訪れたというのが現代で、まさにわれわれはこの真ただ中にいるわけです。

先ほど少し言いましたが、生命科学というのはどういうふうに進歩してきたかと振り返ってみると、博物学的な記載の学問であった時代がずっと続いていて、ある意味で生物学のおもしろさというのはここにあった。ところが遺伝学が発展して、DNAが出てきて統一論になった。普遍的、統一的な生命の理解というので、生物学者の総転移が起こったわけです。生物学の中で多彩な多様性を楽しむ学者というものが統一論的な、統一理解というものを楽しむという人たちに取って代わられたということが起こったわけです。

けっこうここは大変な時代だったと思います。私自身もDNAの遺伝子導入とかそういうことが起こるのは、まさにわれわれが研究している半ばで起こったのですが、そのときに自分がそっちのほうへ行くべきなのか、そうでないのかという判断は決して容易ではありませんでした。結局、そちらのほうへ行かなければ不思議と言ってはやっている人に失礼ですが、進歩についていけないという流れがありました。

別の言葉で言いますと、生物学者には二種類あって、一つは虫好きで、昆虫少年から生物学者になった人たちです。もう一つはラジオ少年で、ラジオを組み立てるとか、そういうことが好きだった人たちです。メカニズムが好きの人と、バラエティーが好きの人というのがいるわけです。それが移行した。僕などはラジオ少年で、花というとチューリップしか知らない。幼稚園のときに「いつもおまえはチューリップの絵しか描かない」と悪口を言われたのですが、ほかに花があるということがよくわからなかった。ですけれどもラジオを組み立てるとかいうようなことが大好きだったわけで、そういう人たちがこっちを進めたわけです。

でも、この人たちが散々進めて、行き着いた先はゲノム学で、これが結局は博物学であったということになります。そうすると、分子カタログをもう1回統一しなければいけないのですが、何があるのか。DNAはもう使ってしまったというので、いま考えられているのは情報的な理解、バイオインフォマティクスといったかたちで、生命の中でたくさんの分子が相互作用している。そこはどうなっているのかというのを、その構造を解くということができれば、博物学からもう1段上の統一論に行けるのではないか。2053年ごろにはそういう時代が来るのではないかという予言です。

バイオインフォマティクスはわれわれの機構法人でも統合データベースとしていますが、統合データベースというかたちでたくさんのデータベースを一気に横断的に見るということができるような技術開発をすることによって、生命の複雑な系の本質を情報のほうをなんとか回って理解する。そういう時代がまさに現代です。

この話を聞いていておわかりのように、つかえつかえですが、なんとか回っているので

すが、逆回りはほとんどない。これがおかしいというのが僕の主張です。情報システム研究機構はこっちもやろうと盛んに言っているのですが、みんなキツネにつままれたような顔をして、何だかわけがわからないと言われます。僕自身もわかっているわけではないので、わかっているならば自分でやるわけですからわかっているのかもしれませんが、こういうふうには構造を考えると、どうしてもこっち回りが必要です。

そんなものと言うけれども、メンデルがあったではないか。ダーウィンがあったではないか。なぜ現代、これができないのかというのを皆さんにぜひ考えてもらいたいと言ってみんなを煙に巻いていて、それがご好評で機構長を務めているということです。みんなわけがわからないことは好きなのですが、好きだけでは困るので、解いていただかなければいけないので、どうなるかわかりません。

理論生物学という言葉があります。総研大にも理論的な方はおられるので、あまり悪口を言うともまずいのですが、理論生物学というので、いままであまりインパクトを与えたことはない。しかし重要なことは、近未来に本当の理論生物学が起こる。これがこう回転するということがあるのではないか。これは自由自在に回転する。そういう時代が来る。そうなったときには、理論生物学というのは本当に成り立つ。

でも、これはどうしても複雑なものを素の過程に分けて、それをカタログにして、その構造を明らかにするという事なので、やはりデータ処理というイメージが強くあります。データ処理的である。われわれのところには情報学と統計数理とあって、まさに数学の専門家もいますが、情報というのはそういうものではないでしょうと言います。データ処理をするのが統計学なのか。統計学にはそういう利点がありますが、統計の本質は情報を処理することではなくて、情報の構造を一気に明らかにすることだと思いますが、それをなんとかやって、これを回してほしいということを申し上げます。

これは適切な例かどうかわかりませんが、生物の研究を散々してきて感じるのは、生物というのは非決定性の側面は確かにあります。決定論ではなかなか行かない。しかし、われわれが持っている技術は決定論です。遺伝子というのは、まさに決定論の象徴です。塩基配列が決まると、それでアミノ酸のコードが決まって、アミノ酸コードが決まるとタンパク質の構造が決まります。アミノ酸の配列が決まれば、3次構造が決まる。3次構造が決まれば、酵素の活性が決まる。酵素の活性が決まれば相互作用が決まる。そしてエネルギーが決まる。何もかも決定論的に行くというので押し詰めていっています。

でも、それでは行かない部分があります。例えば、ほんやりと生物は非決定的だと言っている

ても科学にならないので、科学になる場所は何かと探すと、例えば言語というものがあります。能力は先天的です。チンパンジーに言語を教えられてというのが大きく話題になっていますが、あの内容は人間の言語に比べれば抽象度はおそろしく低いもので、決して人間の言語と比べられるようなものではないと思いますが、人間にはその能力が先天的に備わっている。

しかし内容は後天的です。日本語をしゃべるか、英語をしゃべるか、スワヒリ語をしゃべるか、これは全部後天的に決まる。何でもいい。実は何でもいいのではないのですが、言語という構造を持っているものならば、何でも受け入れられる器を持っている。これは遺伝子が決めているということは明らかというか、納得しない人も多いのですが、遺伝子が決める以外にはないでしょう。実際に失語症とか、遺伝子的な欠陥でこの能力に問題が生じるということもだんだんわかってきています。

そうするとこっちはいったい何か。それを私は脳言語と読んでいます。脳にはすでに脳言語というものがあります。脳言語をコードしているのは遺伝子である。脳言語はホモサピエンス全部に共通です。しかし脳言語というのは表には出せない。表に出てくるのは日本語とか英語といったあらゆる言語ですが、これを脳言語に翻訳する能力というのがもう一つあります。回路が決まって、その回路を使って翻訳をできるようになっている。

ですからここを明らかにしなければいけないのですが、単純に分子を集めてきて何とかするとか、そういう話とは違う。それはいくらやってもたぶんどけないと思いますが、こちら側を明らかにするというようなことが本当は言語学の大きな課題です。

そう思って見ると、遺伝子でとことん決定論で押していった先でこれをどうやるのかという大きな問題があります。でもこれは決定論である。実はここも決定論で押し詰めていくのではないかと思っていますが、そこにはしかし決定論だけでものごとを進めるときのトリックを使わなければいけません。そのトリックを使った例があります。

それは物理学です。物理学というのはニュートンの力学が象徴していますが、決定論です。決定論のくせに非決定的なことまで言うわけです。どこに秘密があるのかと思うと、量子力学とかああいうところで確率とかを導入して、非決定的なものをなんとかうまく強引に決定論で記載したというのが物理学だと思いますが、生物学も同じ道をたどっているのではないか。

しかしそれをやるのは先ほどの例で言うと逆回転というもので、こっちはフリーに回るようになる。こういう時代が訪れると、理論生物学の第2ステージというものが来る。これが2053年であるというのが私の主張です。そのころ私は生きていられないかもしれませんが、こういう時代が来る。こうなったときには、実は生物学だけの問題ではない。



結局、生命とか物理、化学、分子、エネルギー、情報、システムといったものをごちゃ混ぜにして、ガラガラと回せるような時代、そういう時代が来るのではないか。このときに科学というものが変質する。いまの科学とは違うものに発展する。もしこれがなければ、2050年ごろには科学は終わるということではないか。終わらせないためには、これをガラガラと回して、しかも応用が非常に重要になります。人間の福祉に役に立つということがこういう中から出てくる。

いまもその片鱗はあります。例えば医療なんかで応用していくと、何が起こるかという、偉いお医者さんがたくさんおられるのに何ですが、医療費が高騰するのです。科学の結果として医療費が高騰して、医療が崩壊する。しかし、それを何とかするということが起こらないと、科学は先がないのではないかと思いますので、そういう意味での応用です。こういうものが来るのではないか。

私は本当はこういう時代に生きたかったというので、私は50年早く生まれすぎた。先ほどもちょっと言いましたが、生物学が嫌いなのに、実は先輩にだまされたのですが、「これからの医学では生物は要りません。これからの医学は物理と化学と計算機だ」と言われて医学部に行きました。ENIACという時代ですから、それはすごい達見だったと思います。でもいまはある意味でそれは常識です。

医師免許をやったのに医学に行って、電気生理から脳に興味を持って、脳をやろうと思ったら、遺伝学が進んでいるから遺伝子から解こうと思ってやり始めたらいばらの道で、就職口がなくて、理学部物理に就職した。そして、生物物理と言って威張っていたら遺伝研に行かされて、法人化で情報システム研究機構というわけです。先ほどお話しした流れをちゃんとたどっているというのが私の後付けの主張です。

でも結果的には正しかったと思っています。医学部に行って医師として何の役にも立ちませんでしたが、あそこで習った泥沼のような中で科学をするというのは、まさにいまやっているようなことだったわけで、それは役に立っている。何といても、ハエを見たときに、このハエはおかしいのではないかと思うという診断能力は医学部で養われました。医学部へ行くと内科診断学というのがありますが、そこで勉強したことがもろに役に立った。このハエは何かおかしいというようなことを言って突然変異を取ったわけですから、まさに役に立ちました。

基礎医学のほうも、電気生理をやっていて、脳には電気生理が必要だろうと思ったのですが、結局、電気生理を使った仕事はほんの少ししかしませんでした。そのおかげで遺伝学のほうへ行けました。しかし、決定論で押し、押しという感じで来た。そういうふうにしてまさに決

定論で押せないところをどうするかというのが、情報システム研究機構というもので、このはちゃめちゃ人生は何だったのかということですが、理屈をつけて考えれば、いまお話ししたようなことで、先ほどの三角形の逆回転をうまくやれるようにすることが次の時代に役に立つのではないかと思っています。以上でお話を終わらせていただきます。(拍手)

[廣 田] どうもありがとうございました。大変おもしろいお話を伺わせていただきました。20分ほど討論の時間がありますので、どうぞご発言ください。この会の非常にいい点は、ご講演は非常にレベルの高いご講演ですが、専門とかそういうようなことはここでは問題にしなくて、何でもむしろ関係のない分野からの率直なご意見は非常に意義があるだろうということですので、ぜひ率直なご質問、ご意見をお願いします。

### 堀田凱樹氏の講演についての討議

[井 村] 私も堀田先生と同じ医学部の出身です。医学部に入りますと、まず骨の名前を覚えさせられます。名前だけならいいのですが、そこに開いている穴から溝まで、全部ラテン語で覚えなさいといけなさい。あれで医者というのはおもしろくなくなるのだと思いますが、そういう中で堀田先生のようなユニークな方が生まれたというのは非決定論でないと説明できないのではないかと思っています。

私は臨床の医者でゲノム解読に非常に大きな期待を持ってきました。いろいろなまだわからない病気の原因が、ゲノムに基づいてわかるのではないだろうかという期待を持っていたわけですが、それが意外にわからないのです。例えば、いま日本人の10%がかかる2型糖尿病についても、いまのところまったく原因はわかりません。もちろん2型糖尿病に関連のある遺伝子は現在18見つかっています。しかし、それがどうやって病気につながるかということになると、まだ不明です。

そこで先生が最後におっしゃったことが私は非常に重要になってくるのではないだろうかと思います。私どもはある遺伝子のセットを持って生まれてくるわけですが、その遺伝子のセットは個人によって少しずつ違う。それが種として環境の変化に適應できるようにする仕組みであると思います。例えば90%死んでも10%が生き残れば、その種は絶滅しないわけですから、そういう遺伝子の多様性に加えて、環境因子の影響によってさらにしたたかに生き残る仕組みを持っているのではないかと思います。

例えばオランダの飢餓という有名な事実があります。第二次世界大戦の終わりに、オランダ

が極めて厳しい飢餓にさらされました。オランダの偉いところですが、そのときお腹の中にいた子供、生まれたばかりの子供からコーフォートを募って追跡調査をしました。そうすると統合失調症が多いということが20年くらい経ってわかりました。それから40年、50年経つと、肥満、糖尿病、心筋梗塞が多いというのがわかってきたわけです。

これは環境因子が、胎生期の一番最後の3分の1、サードトリメスターと言われる時期の胎児に働くようです。そこで何らかのプログラミングをして、もう一度環境適応しているのではないか。すなわちそのときに環境が貧しいと、貧しい状況に対応してプログラムされているから、そういう子供が豊かな環境になると適応できなくて糖尿病になるだろう。そういうことがだんだんわかってきています。

この生物の生き様のしたたかさというものを理解しないと、われわれは病気を完全に理解できたということにはならないと思っています。したがって、せっかく堀田先生がお話になるので反論したいと思ったのですが、その反論したいことを最後にうまく言われました。非決定論だ、まさにそのとおりで、環境因子の生物への影響、しかも生物がそれにしたたかに対応できる仕組みを持っている。そういうあたりをどうしてもやっていかなければいけないと考えています。

[堀 田] ありがとうございます。いま言われたことは、僕も本当にそうだと思うのですが、単に遺伝子の決定論でものごとが決まっていくというだけではなく、環境をどう取り入れているかということに対する考え方がいまはまだ十分にできていないと思います。いまある考え方では全然足りない。例えば環境は遺伝しない。環境で得られた効果は遺伝しないというのが通例で、遺伝すると言うとほろくそにやられる。

実際にそういう歴史的にいろいろな問題があったからそうなのですが、本当に絶対にならないのか。DNAとしてはないというのはいいのですが、DNAとしてではなく、環境の影響が世代を超えて伝わるというメカニズムは、いろいろなシステムになればありうるのです。そういうデータはないかと思って、ずいぶん文献を探したことがあります。これは非常に異端なことで、遺伝学研究所の所長がそんなことをするのは本当はまずいのですが、まじめに見ました。そうしたら、あることはあるのです。

けっこうまじめなもので、例えば血中のカルシウム濃度をずっと正常値ではないところに保つということを起こす。例えばそういう状態で妊娠をして胎児を出産するというようなことを何世代が繰り返すというようなことをすると、本当にカルシウムのレベルが変わるというデータがあります。これは本当にそうかもしれない。これはまじめなことで、ただ残念ながら十分

に追試をする人たちがいないので、絶対とは言えない。

しかし、それに象徴されるように、システムとして動いていますから、単にDNAだけが遺伝を司っているといういまの常識から漏れてしまうような側面というものが、実は病気とかそういうところには案外関係があるかもしれない。そこまで見ないと完結しないので、たぶんゲノム医学とかと言っているだけではだめではないかということで、私もまったくそういうふうに思っています。

[井 村] いま申し上げたオランダの飢餓は動物実験で多くの人が再現しています。その一部は少なくとも3世代くらいまでは伝わるのです。少し専門的になりますが、これはimprinted geneのimprintingが完全に初期化されない。そういうことによるのではないだろうかと考えられます。だから後天的な因子がまったく次の世代に伝わらないということではないと考えてもよいかと思います。

[堀 田] 上皮小体というところを取ってしまうということをマウスでやります。子供のものを繰り返し取って、それを妊娠させて、また子供の上皮小体を取るというのを繰り返していると、やがて上皮小体を取らなくてもカルシウムの濃度が上皮小体を取ったごとくに変わる。そういうデータがあります。これはかなりやられていて、間違いないみたいです。

どこに何かのレベルをセットするかというようなことは遺伝子のバランスで決めているのだけれども、その設定が狂った状況で世代を超えていくというようなことを起こすと、案外といろいろなことが起こるのではないか。僕はそういうふうに思っています。それを遺伝と言っていいかどうかはわかりません。

[柴 田] 決定論と非決定論のお話は、先ほどのお話でも大変興味深く聞いていて、かつ私の理解が及ばないところがあったのでお伺いしたいと思います。いま具体的な例として挙がっていたのは遺伝子の範囲内で決定的なのか、それとも環境もまたそこに影響するか。環境まで含んだ上で、全体をさらに決定論的にも理解できると思います。

そのときにお話の中で物理学を例にとっておっしゃっていましたが、非決定論的な要素も含んで決定論で説明してしまったとおっしゃったと思います。そのへんのところをもう少し教えていただきたいと思います。

[堀 田] 物理学の教授だったのに間違っただけで教えたらずいなのですが、要するに例えば物質は波でもあるし、粒子でもあるというようなことを言いますよね。物理学者は平気でそういうことを言うので、本当に実感としてわかっているのかということですが、必ずしもそうではないのです。そう考えると、よく理解できるからそう思っている。方程式としてきちんと量子力学

が定義されて、それはある意味で決定論ですが、その中に非決定的な要素がちゃんと入っていて、不確定性というようなことが起こってくる。

不確定性というと、文系の人は大喜びをして、「ほらみなさい。何も決まっていらないですよ」と言うような人もいるのですが、そうではないのです。不確定性というのは、決まっていらない範囲はこの範囲だけですよということを言っているのが不確定性理論です。ですから不等号なのです。不確定性であるということは、しかし決定論の中にいろいろな余地を残しているというかたちで物理はそれをしのいだのだと思います。

学問というのは違う体系の立て方もあるかもしれないと思うのだけれども、決定論で押すことが人間の脳の宿命です。脳というのは決定論しか理解できないものですから、決定論で押しながら、しかし非決定論のところを上手に取り込むというかたちで物理は成功している。生物も同じようなこともいま経験しているのではないかと思うということです。

[片 倉] ゆらぎとかファジーと言い出したのは物理学が最初ですよ。あれも決定論の中に入れるわけですか。

[堀 田] 単なるゆらぎというのは、それを非決定論だと言うのは言いすぎだと思うのですけれど、もちろん決定というものの中には幅がある。その幅の中でゆらいでいるというイメージですから、非決定論のほうを取り込もうとしている努力だと思います。タンパク質などの相互作用とかそういうことについても、もちろんいろいろな環境とか、そのときにたまたまチャンスで起こることとか、そういうことで非決定的なことがあるということはもちろん決定論のほうからもすぐにわかる。でも、それ以上のことがあるのではないかと思います。そこは2053年になってみないとわかりません。

[片 倉] それにちょっと関連して、少し乱暴な議論になるかもしれませんが……。先ほどちらっと、科学というものが終わりになるというような言葉をお話しになったのですが、その科学というのは分析的な西洋の学問の中から出てきた。医学で言えば、イブン・シーナ、アヴィセンナのときの博物学的というか、総合的な医学で、18世紀くらいまで続いて、『医学範典』などというのは、いまの西洋医学の教科書にもなったと聞いています。

そのへんからある種、これは病気か、病気ではないかという二つに分けながらやっていくというような科学で来た。その中にいま私たちが、先生も先ほどおっしゃった専門は何かと言われてたら困るというように、この専門もこの専門にも入らないというのが出てきて、総合研究大学院大学というような、総合というようなものが大学の中に入り込んできたのですが、うんと乱暴に言うと、いわゆる科学というものがつぶれてきて、その中に金科玉条のようにあった専

門というものもグラグラになってきた。

先生がおっしゃるはちゃめちゃというのは、むしろ総合的といいますか、その中には理論以外の……。私はラジオも好きだったし、虫も好きで、両方でしたが、理屈がこのごろ嫌いになってきたのです。理屈でそうわかるものではないというので、直感とか情で解する。私は情解というようなことを言い出しているのですが、理で解するというのもう一つ、情で解する。そういうようなものは、いまはめちゃくちゃで、文科系の人間に多い、いい加減なものだというように理解されがちですが、そのへんのところを先生はどのようにお考えなのですか。

[堀 田] 僕の頭は単純で、十分にお答えできないのですが、僕は科学がある意味で終わると言っているのは、科学だって別にそんなに長い歴史があるわけではなく、これが永遠に続くなどということはないと思います。どういうふうにして終わるのかというと、おもしろくなくなって終わるのだと思います。いまはおもしろいから、いろいろな有能な人が科学の分野に入ってくる。だから科学は続いているのですが、だんだんおもしろいものが減ってくるという可能性はある。

何が増えてきているかという、これは僕の科学論の別の論理で、土農工商説というのがあります。昔の科学は侍、貴族のものである。美しく、非常に美的で、論文なども完璧である。そういうものが尊ばれた時代です。ある意味で、ショウジョウバエとか線虫といったモデル生物の論文はそういうものです。

しかし、そこにマウスというものが出てきた。マウスは農民です。マウスの実験データというのは、われわれから見るとひどく汚く、不完全極まりない。どうしてこんなものが「セル」に出るのかと腹立たしいような論文がある。しかし、その論文のほうにインパクトがあるという時代です。これはまさに貴族階級が衰えて、農民が出てきた。

やがてテクノロジーが出てきた。テクノロジーでいろいろなものを解く。その先にあったのが商売です。現代の科学というのは、儲かる。それを研究すると何百億円の市場が開けるのですかというような話になる。そういうふうになってきました。これは明らかに衰えである。そこしかおもしろくないというようになってしまったら、その先はバブルの崩壊で終わることではないか。

それを救わなければいけないのですが、救えるものは何だろうかということの一つの考え方を示したつもりです。単にものとして明らかにしていくというだけではなく、その関係性とかそういうものもやっていく。そうすると文科系のセンスとかそういうものも、たぶん必要になってくる。そうやって救えるのかどうかさえわかりませんが、そうしない限り、応用だけが科

学の末路であるとなったら、本当に有能な人は入ってこないというようになって科学が終わる。そういうことです。お答えになっているかどうかわかりませんが。

[鴨 下] 最初に井村先生のような内科の偉い先生がお話になると、小児科は黙っておいたほうがいだろうと思うのですが、井村先生がおっしゃったことは、要するに言葉としては出なかったのですが、エピジェネティクスの問題ではないかと思います。これは私の小児科医としての昔からの持論で、いま環境の問題というと、皆さん自然環境、あるいは地球環境をおっしゃいますが、一番大事なのは、先生をおそばに置いて申しわけないのですが、子宮環境だと思います。去年の会で申し上げたのですが、赤ちゃんがお腹の中にいる間の栄養とか、そういったことがエピジェネティクス、遺伝子、DNAそのものの構造は変えないけれども、ファンクションをものすごく変える。

例えばやせ願望の女の子が妊娠して子供が生まれると、将来逆に糖尿病が多くなるとか、そういうデータがぼちぼち出ていますし、統合失調症、ADHDなども関係があるのではないかとされています。私は学術会議で去年、生殖補助医療、代理懐胎の問題をやらされて、いろいろ勉強したのですが、女性の卵巣が年を取るとミトコンドリアの機能がどんどん衰えていく。ですから赤ちゃんを産むには、なるべく早く産んだほうが良いということになります。

それで動物実験ですが、卵巣を若いうちに凍結して、年をとってから受精させるというようなことを人でもやろうとしている人がいますが、そういう非常に大事な問題がエピジェネティクスの世界でこれからわかってくるのではないか。それが一つです。

もう一つ、堀田先生は医学部から理学の物理へ行ったのですが、今後の医学教育は逆の流れがぜひ必要で、他学部の方が医者になっていただきたい。確か柴田先生も東大の理科I類にお入りになって、独文へ行かれて芥川賞まで取られたのですが、逆に文学部の倫理学とか法学とか経済学とか、そういったことを勉強した方が医者になっていただきたい。これも私が常々考えていることで、コメントでございます。

[戒 能] いま鴨下先生がおっしゃったことと関係すると思いますが、先ほど先生がおっしゃった遺伝情報の普遍性ということで、特に文科系の人間から見ると、普遍という言葉が引っかかります。つまり普遍ということが言えるためには、どこまで実証できるかという、その実証の問題があります。

社会科学とか人文科学の場合、実証というのは非常にアバウトというか、一定の、医学のほうで言えば疫学的な観点のようなもので、いくつかのサンプルからある程度の普遍性が出てくれば、それで実証できたというように許容されるとは思います。ナチュラサイエンスの場合、

普遍ということを弁証する際の実証というのはいったいどうなっているかに興味が非常にあります。ある科学者が宇宙を含めて、人間の細胞を含めて、ある普遍的な記号で全部できているということを言った場合、それは実証できないことであるということは十分承知である。

なぜ普遍というものがあるかということ、それは科学では説明できないので、それはたぶん神ではないかということの名前は忘れてしまったのですが、言った人がいます。そういうもの、つまり科学では完全に普遍というものについて最後まで説明できることは本当に可能なのかどうか。

そこに神と言うのはまずいかもしれませんが、証明できない何かはあるのではないかということが、ある意味では非常に重要なことです。すべてを説明できるということは、自然科学の立場から言うとそうかもしれませんが、人文社会のほうから言えば、むしろ説明できないものが何かあるというほうが、そういう意味では科学的ではないかと私は思いますが、そういう考え方に対して先生はどのようにお考えでしょうか。

[堀 田] 遺伝子、DNAの普遍性といったときに、例えば宇宙に行った。宇宙で新しい生物が見つかったときに、それはDNAを使っているかどうか。地上ではどんな生物でもDNA、RNAという核酸を遺伝子として基礎としているということは、いまのところ例外はありませんので、まず間違いないと思うのですが、宇宙へ行ったときにそうだろうかということは全然別の問題です。

これは実は非常に興味のあるところで、DNAに代わるような遺伝物質というものが設計できるだろうかということを、まさに科学の問題として考えるというようなことは非常におもしろいことです。しかし、なかなかいいものを考えることは難しい。でも例えばDNAが4塩基からなっているというのはユニバーサルローかということならば、そうではないかもしれないとも言えます。6塩基でなぜいけないか。6塩基の組み合わせで上手にDNAを作るような科学的な設計はありうるのではないか。これはたぶん化学の方が必死になってお考えになれば、そういう例はできると思います。2塩基ではどうか。

そういうようなことを考えれば、その自由度は宇宙へ行ったら同じアミノ酸を使っているとか、同じ塩基を使っているかというのは違うかもしれない。そういう意味では、そこは普遍ではない。しかしDNAのすばらしい点ですが、DNAというのは丈夫なのです。タンパク質というのは、実験をしているとすぐにわかりますが、非常に弱い。すぐに活性をなくしてしまいます。DNAは非常に丈夫で、物理学教室で物理学科の学生がいじっても壊れない。

丈夫で非常に単純なくせに、中には非対称性が山とある。しかし結晶する。結晶するという



意味では対称なのですが、その中には非対称性があるという非常におもしろい分子で、これを違う化学物質で設計しようということはいま考えても誰も思いつかないから、もしかしたら宇宙でもDNA、あるいは類似の核酸かなとみんな思っているのではないかと思います。

でもそれはわかりません。そこまで広げたら、普遍性はまったくわからないし、ましてやアミノ酸は同じ20種類かと言われたら、違うかもしれません。そういう意味では違いますが、生命というものの本質的な分子というのが同じようなものであるということは、それ以外は考えにくいのではないかという程度の理解しかありません。

[廣 田] どうもありがとうございました。堀田先生には大変おもしろいお話をしていただいたので、さっそく議論が沸騰しておりますが、私が我田引水を言いますと、2050年くらいにサイエンスが終わる。終わるときに、先生はおそらく次のものを求めておられると思いますので、「サイエンス＝進歩主義」と言うと語弊があると思いますが、先生も後継ぎをそれなりに求めておられるということだと思います。

それでは柴田先生、お願いいたします。