

<NHK アカデミア 第10回 <生物学者 福岡伸一>

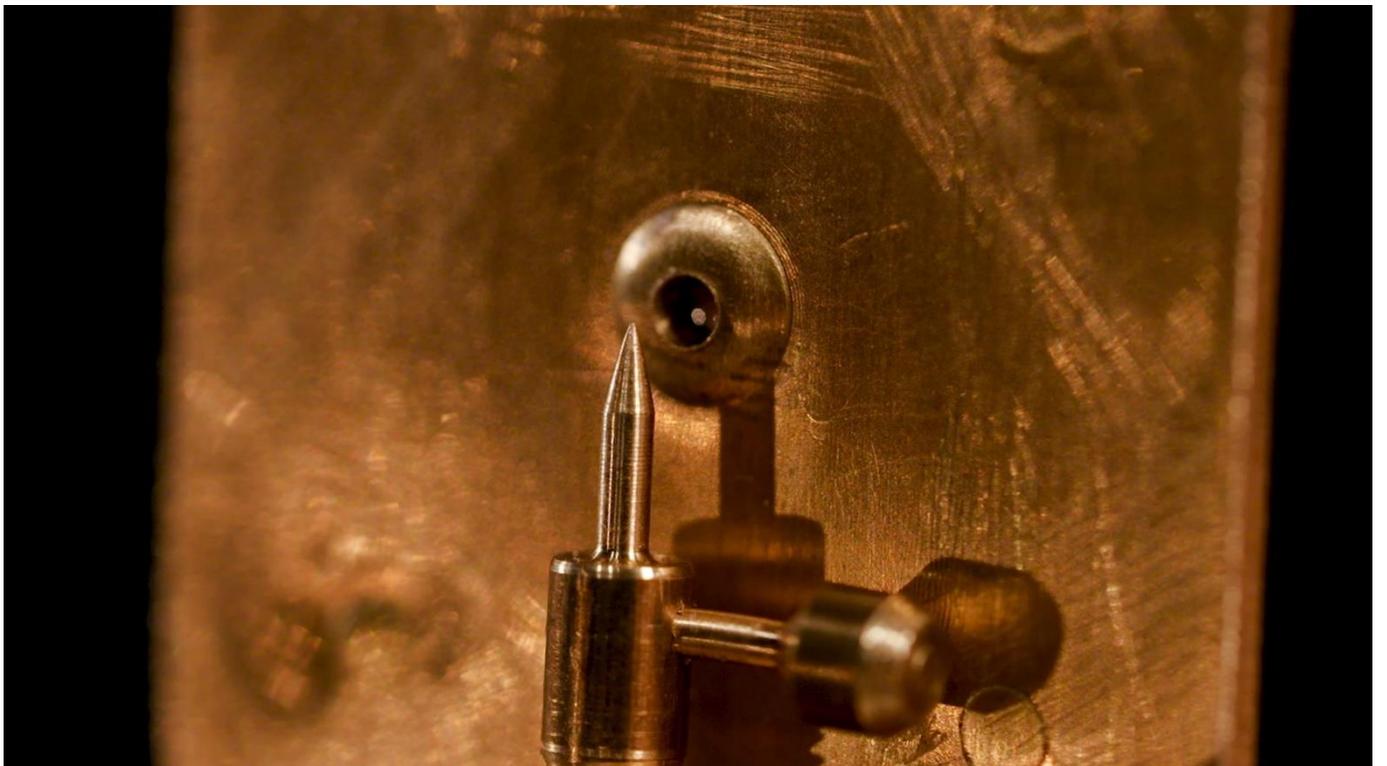


皆さん、こんにちは、生物学者の福岡伸一と申します。今日は皆さんとお話しできて大変光栄に存じます。今日は、ずばり「生命とは何か？」ということについて考えていきたいと思えます。

ここでちょっと皆さんに見ていただきたいものがあります。私の原点とも言えるものでして、私に非常に大きな影響を与えてくれたものなんです。金属製の“靴べら”のように見えますけれども、いまから350年ぐらい前にオランダで手作りされた「顕微鏡」なんです。



いまの顕微鏡とは似ても似つかない形をしていますけれども、非常に高度な技術で磨き抜かれたレンズがはめ込まれておりまして、サンプルをこの針先にのせて近めで見ますと、300倍くらいの倍率でミクロの世界が見えたというものなんです。





## 顕微鏡で見たダニ

この顕微鏡を作った人はアマチュアの好奇心に満ちたおじさんで、アントニ・レーウェンフックさんという人でした。何かを見たい。知りたい。あるいは一つのことがとても好き。これが科学の原動力になっているわけですね。皆さんも何か一つ好きなことがあって、その好きなことをずっとずっと好きでい続けることができれば、すごい発見ができるはずなんです。



今日は、私のキーワードとして「動的平衡(どうてきへいこう)」ということについてお話ししたいと思います。ちょっと難しく聞こえる四文字熟語ですが、生命の見方、生きるということがどういうことかというのを、この動的平衡の視点から語ってみたいと思います。

「動的平衡」というのは、古くて新しい考え方で「動的(Dynamic)」つまりいつも動いているながら「平衡(Equilibrium)」。この平衡はパラレルという意味ではなくて、バランスを取っているという意味の平衡ですけれども、動的平衡は絶えず動きながら絶えずバランスを取り直している、そういう状態を指す言葉です。これが、生きていることのいちばん中心にあるというふうに私は考えています。この動的平衡という視点から見ることは、私たちが生きていることあるいは自然、健康問題や環境問題、そういったことにも発展できるコンセプトだというふうに私は思っております。

### <福岡ハカセができるまで>



ではまず私の出発点になった私自身の少年時代の体験からお話ししてみたいと思います。少年時代の私は、虫が大好きな“昆虫少年”でした。当時はまだ“オタク”という言葉はありませんでしたが、“虫オタク”で、チョウの卵とか幼虫とか蛹(さなぎ)を捕ってきて、それを一生懸命育てて、チョウになるのを待っていたんです。いつも虫ばかりを追いかけて、どちらかというとな向的な少年だったんです。そんな少年を見て、両親が心配したのか、ある日こんなものを買ってくれました。



## 顕微鏡

「顕微鏡」です。友達がいない少年に、どうして両親が顕微鏡を買ってくれたかと言いますと、「顕微鏡を使って友達を呼んできて、もっとコミュニケーションしなさい。顕微鏡を材料にして自慢したり、いろいろなものをみんなで見たりして、もっと友達を増やしなさい」。そういう意味だったと思うんですね。ところが、この顕微鏡でチョウとか虫を見ると、ものすごく微小な世界が見えてきて、チョウの羽は絵の具で色が塗っているのと違って、1枚1枚マイクロなモザイクタイルみたいなものが敷き詰められてできているんです。私はその顕微鏡のレンズの底に「広大なマイクロコスモスが広がっている」というのに気がついて、両親の期待とは裏腹にますます友達が要らない孤独な少年になって、レンズの中に吸い込まれてしまっていたんです。



顕微鏡で見た チョウの羽

“オタクの心”というのはどういうことかと言うと、すてきなもの、すばらしいもの、好きなことがあると、その源流をたどりたくなってしまう。そういうのが“オタクの心”なんですね。いつ・どこの・誰が・どのようにして、この「顕微鏡」というものを見つけたのか。作ったのか。私はその源流をたどりたくなりました。

その源流が、先ほどお見せしたレーウェンフックという人が作った顕微鏡です。いまから350年も前、日本の歴史でいうと江戸時代が幕を開けて間もないころに、デルフトというオランダの小さな町で生まれたアントニ・レーウェンフックという人が手作りで作ったのが、先ほどの顕微鏡なんです。



このレーウェンフックさんというのは非常に面白い人で、学歴もないし、町の普通の毛織物商人の息子として生まれて、多分、毛織物商を継いでいたと思うんです。ただとても好奇心が旺盛で、いろんなことが知りたかった物好き、アマチュアの科学者だったんです。そして手作りで金属を合わせて、その間にガラス・・・これも彼らが手作りしたはずですけども、ガラスから非常にきれいな結晶を取り出して、それを磨いてレンズにして金属板にはめて近めで観察するという彼独自の顕微鏡を作ったわけですね。

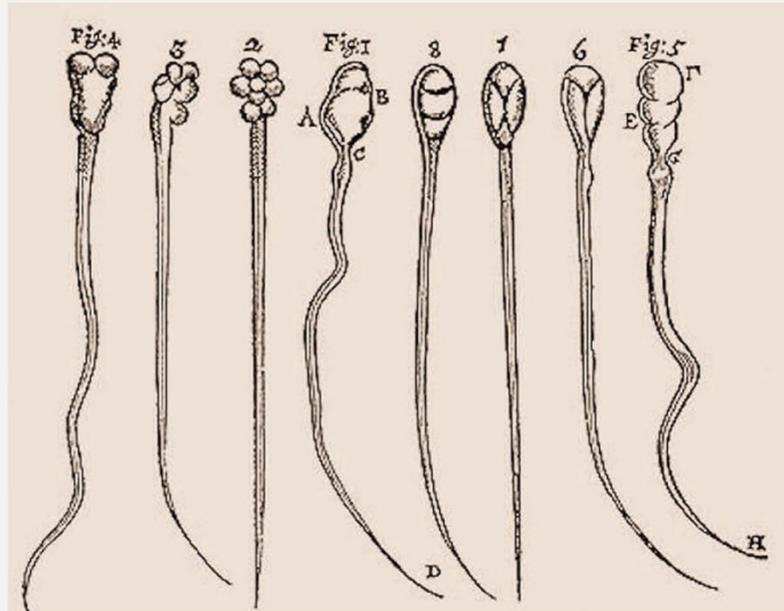


この顕微鏡は、いまの顕微鏡とほぼ同じぐらいの倍率、300倍ぐらいの倍率を実現していました。300倍の倍率があると、目に見えないものが次々と見えてきます。例えばレーウェンフックは何を見つけたかという、デルフトの町を流れている運河の水をくんできて、顕微鏡でのぞいてみました。すると、肉眼では透明にしか見えない水の中に、無数の色とりどりの、形も違う、小さな小さな「生命体」が泳いだり、遊んだりしていたわけですね。つまり目に見えないこの世界に、生命体が満ちあふれているということを彼は見て、それを次々とスケッチして記録に残していきました。いまの言葉で言うと「微生物」を発見したわけですね。人類史上初めてミクロの世界の微生物を発見しました。

それから彼は、我々の体が“小部屋”からできているということ、これは「細胞」の発見ということになります。

さらにはオタマジャクシとか魚の透明なヒレのようなものを顕微鏡で拡大して、そこに毛細血管が流れていて、赤いツブツブや白いツブツブが絶えず流れていることに気がついたんですね。これは「赤血球」「白血球」の発見ということです。

さらには、彼はさまざまな動物の「精子」を発見しました。そしてこれが生命の“種”になっているということまで彼は見つけた。生物学史上非常に重大な発見を次々と成したんです。



しかもアマチュアの普通の町のおじさんがこういう発見を成したということで、レーウェンフックはたちまち、私にとって“ヒーロー”になってしまっ「自分もこんなふうになりたい。何か新しいことを発見する人になりたい」「生物学を勉強して研究者になりたい」と思ったのが、小学校5年生ぐらいのことでした。

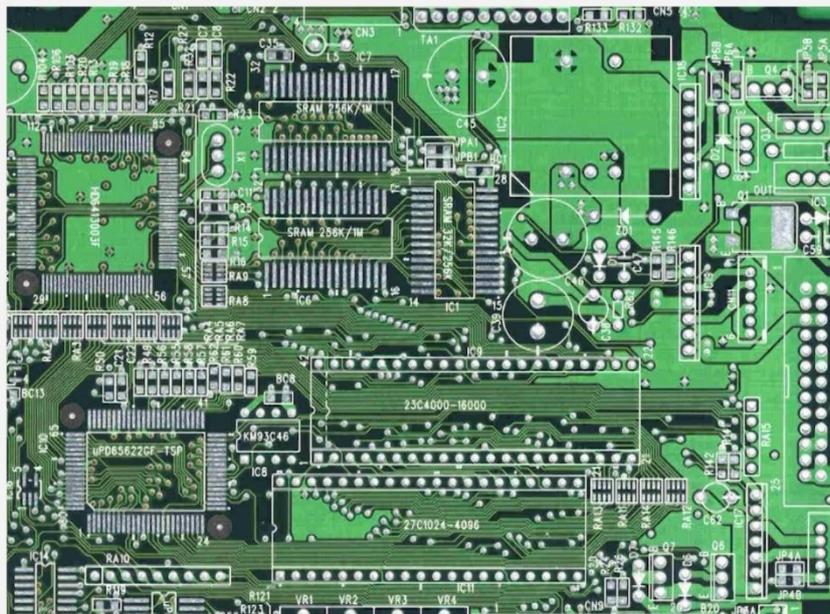
私は生命というのが、一体どうしてこんなに精妙にできているんだろう。「生命とは何か」ということを考えたわけなんです。この生命とは何かという問いは少年の素朴な問いであると同時に、科学の問いでもあるし、哲学の問いでもあるし、文学の問いでもあるし、芸術の問いでもあるわけですね。人間にとって本質的な根源的な問いでもあるわけなんです。

### <生命は“流れ”という発見>

虫が大好きな昆虫少年が、そのまま昆虫学者になりたいと思って大学に入ったんですけども、大学に入ってみるとちょうど世界中で「分子生物学」というマイクロな世界を究明する科学が幕を開けた時代で、「もう虫を追いかけている時代じゃないよ」ということになって、細胞の中のマイクロな部品、遺伝子であるとか、タンパク質であるとか、そういう世界に入って生命を統一的に理解する。そういう時代が幕を開けたときでした。



私も1も2もなく、その熱気の中にほだされて、ミクロな世界「分子生物学」の世界に入っていました。私が大学に入ったのは1980年前後のことでして、生命を機械としてみなす「機械論」というのが分子生物学の非常に大きなコンセプトになっていました。ですから、われわれ分子生物学者が細胞を見ると、コンピューターの中の基板のようにミクロの部品が並んでいる。そういうふうに見えるわけですね。



理科系の研究者というのは一人前になるのにすごく時間がかかりまして、まず理系の学部で4年行かなければいけません。それから大学院というのに進学して、大学院は大体5年ぐらいかかります。そこでようやく博士号というのを取るんですけども、博士号というのは一種の“運転免許証”みたいなもので、それを取るとよ

うやく路上に出られるわけなんです。でも、まだ一人前の研究者になれないので「ポスドク(博士研究員)」という立場で研究修業をしなければなりません。

当時、日本ではポスドクをする制度がほとんどなかったので、私は世界中の大学に「ポスドク修業をさせてください」という手紙を書きました。ポスドクというのはポストドクトラルフェローの略で、博士号を取ったあとの新米研究者をトレーニングしてくれる、そういう場所なんです。私はたくさん手紙を書いて、ほとんどの手紙が却下されてしまったんですけども、一つだけ「来てもいいよ」と言ってくれたところがありました。ニューヨークにあるロックフェラー大学というところです。私はニューヨークで勉強できるということで、喜び勇んで行ったわけですね。1980年代の終わりごろのことでした。

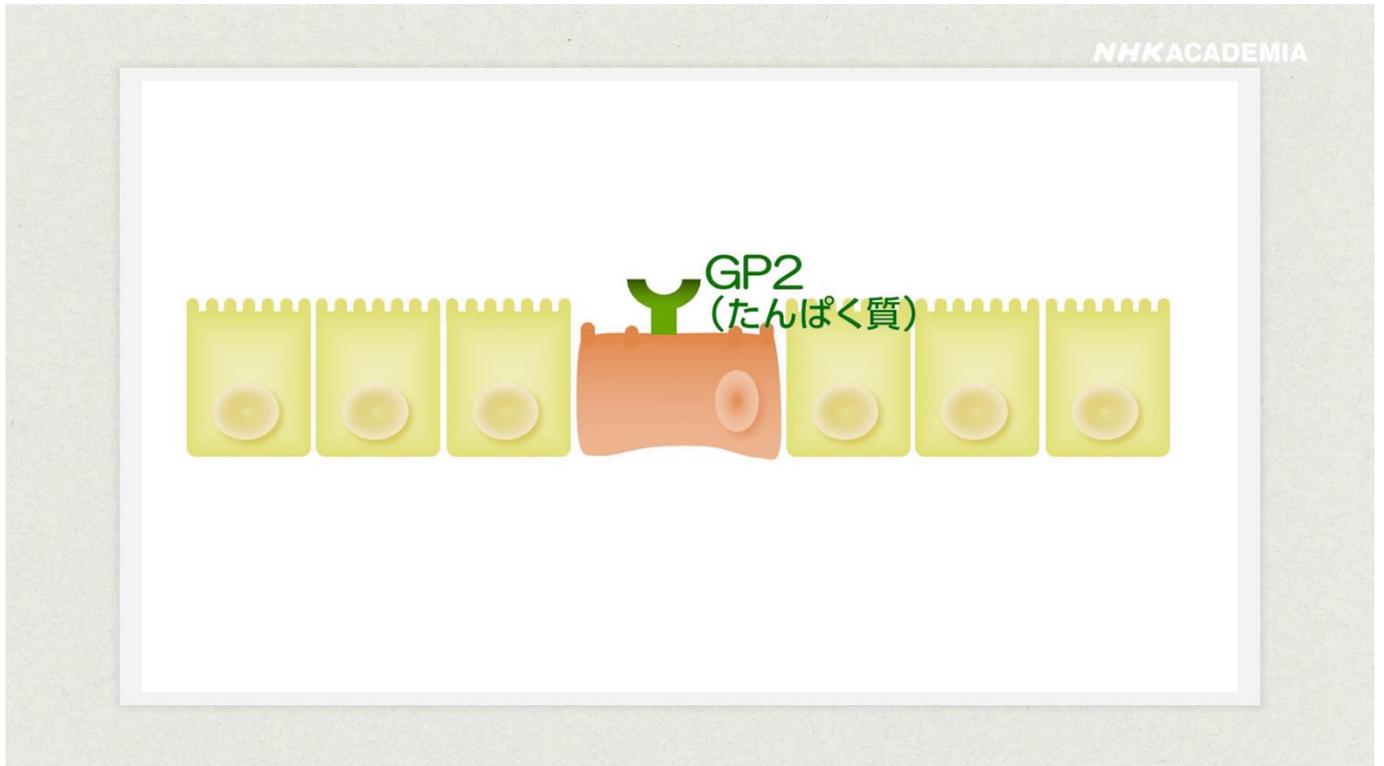
ところがポスドクというのは、言ってみれば“研究のよう兵”というか、ボスのもとでボロ雑巾のようになって働かないといけないわけですね。とにかく研究の大きなプロジェクトに組み込まれて、その“兵隊”となって朝から晩まで働かないといけないわけです。いまの言葉で言うと、“ブラック企業”に入ったようなものなんですね。もちろん給料はもらえるんですけども最低賃金ぎりぎり、ニューヨークみたいところで生活すると、ぼろアパートに住んでいたんですけども、給料のほとんどは家賃になってしまって、それからデータをとにかく出さなきゃいけないという精神的なプレッシャーもあるし、英語がちゃんと話せないというようなストレスもあって、精神的な余裕も経済的な余裕もないような状況で、一生懸命研究にまい進していたわけです。

いまにして思うと、それはある意味で“人生最良の時間”でした。つまり自分の好きなことを、一切ほかの雑用を考へることなく、研究だけをやっていればいい。そういう時間というのは、その前にもそのあとにも得ることができなかつたので、とても苦しい時間を過ごしましたがけれども、いまから考へるとある意味で幸福な時代だったわけなんです。



私は分子生物学者として研究修行を積んでようやく一人前の研究者となって、自分の研究をする立場になっていきました。私はそんなに大発見を成したわけではないんですけども、小発見をいくつかいたしました。

その時代の小発見というのは何かと言うと「新しい遺伝子を見つけてくる」というのが発見だったんですね。私が見つけた遺伝子は「GP2」と名付けた遺伝子で、グリコプロテイン2型というものの略なんです。GP2というタンパク質は、細胞の表面にアンテナみたいに生えていて外界とやり取りをしている。そういうパーツ、分子、部品だということが分かりました。



この「GP2が一体何をしているか」。細胞の中の機能を非常に明確に言い当てるとというのが、分子生物学にとって次の目標になるわけですね。そこで私は機械論的な立場に立って、このGP2の役割を調べるという研究に乗り出したわけです。



そのときに使ったのが「GP2 遺伝子ノックアウトマウス」というものでした。ノックアウトマウスというのはどういうものかと言いますと、細胞の中に「細胞核」というものがあります。その細胞核の中には、細い糸が折りたたまれてしまわれています。それは「DNA」というものですね。GP2 遺伝子ノックアウトマウスというのは、全身の細胞から GP2 の遺伝子が消去されてしまっているマウスになります。消去されているということ「ノックアウト」と呼んでいるわけなんですけれども、この GP2 遺伝子ノックアウトマウスは、GP2 という大事な部品を欠損したマウスになるわけです。機械なので、一つ部品がないということは当然何か故障が起きるはずなんです。携帯電話でも、コンピューターでも、ピンセットで何か部品の一つ引き抜いて捨てたら当然壊れますよね。その壊れ方が大事なわけです。進化の途中でずっと保存されてきた遺伝子なので、それは何か重要な役割をしているから保存されているわけです。そんな大事な遺伝子をなくしてしまったマウスは当然壊れるわけですね。その壊れ方を調べることによって「GP2 が一体何をしているか」というのを正確に言い当てる、これがノックアウトマウスという実験なわけです。

「ノックアウトマウスを作る」というのは実は非常に大変な作業でして、およそ3年の月日がかかりました。寝食を忘れて1段階1段階、このノックアウトマウスを作るための遺伝子操作を行ったわけですね。それから研究費がたくさんかかりました。こんな小さなマウス1匹を作るのに、このマウスの背中にはざっとポルシェの新車3台分ぐらいの研究費がかかっています。私はそれを東奔西走して集めてきて、何とかこのマウスを作り上げて「一体このマウスにどんな異常が起こるのか」というのを、固唾を飲んで見守っていたわけです。



マウスは生まれてきました。そして成長して元気に飼育箱の中を走り回っていたわけです。どこにも異常が見当たらないんです。そんなはずはない。一見正常に見えるけれども、どこかに異常が潜んでいるに違いない。だって、GP2 が無いから。ですので、この GP2 遺伝子ノックアウトマウスはどこかに異常が潜んでいるに違いないということで、いろんな測定や診断や検査を試してみました。ところが、どの値も健康の範囲内に入っていたわけですね。細胞の様子を顕微鏡で調べてみても、姿形も正常です。マウスの寿命は2年ぐらいしかないんですけれども、この2年間をずっと観察してみました。マウスの人生後半になっても、異常は現われません

でした。寿命が短くなっていることもありませんでした。それどころか GP2 遺伝子ノックアウトマウスは GP2 遺伝子ノックアウトマウスと正常に交尾をして、子孫をどんどん作っていきました。多大な研究費と時間をかけてノックアウトマウスを作ったのに、全く異常のデータが出てこない、結果が出てこないわけですね。これは実験上の大変な挫折というか落胆なわけです。私は非常に悩んで途方に暮れて、一体どういうふうにかたらいいんだらうということをお悩み続けたわけなんです。

そんなときに、私のある種の“転機”というか“パラダイムシフト”みたいなことが起きてきたわけです。それは「生命は機械ではない。生命は“流れ”だ」と言った人がいたんですね。これは哲学者の言葉というか、詩人の言葉のように聞こえますけれども、これを言ったのは、いまから 100 年ぐらい前に研究をしていたルドルフ・シェーンハイマーという研究者でした。



このルドルフ・シェーンハイマーさんというのは、いまではすっかり忘れ去られてしまった科学者なんですね。教科書に出てきませんし、ノーベル賞を取ったわけでもない。彼の業績というか仕事も図書館の隅にほこりをかぶって、誰にも顧みられない人になってしまっているわけなんですけれども、私はこのシェーンハイマーの仕事にもう一度光を当てて、彼を再評価すべきだと思っています。そして彼が行った研究から、機械論的に見る生命観に傾き過ぎた現在の生命の見方というのを、もう一度転換して新しい見方で生命を見てみる。そうすると生命の見方が変わって見えるし、なぜ GP2 ノックアウトマウスが、GP2 がなくてもないなりに生命としてやっていけるのか。一つ部品がなくても何とかそれを乗り越えて、新しい状態を作っていける。そこに生命の本質がある。そう考えられるのではないかというふうに生命を捉え直すきっかけをシェーンハイマーは与えてくれたわけなんです。

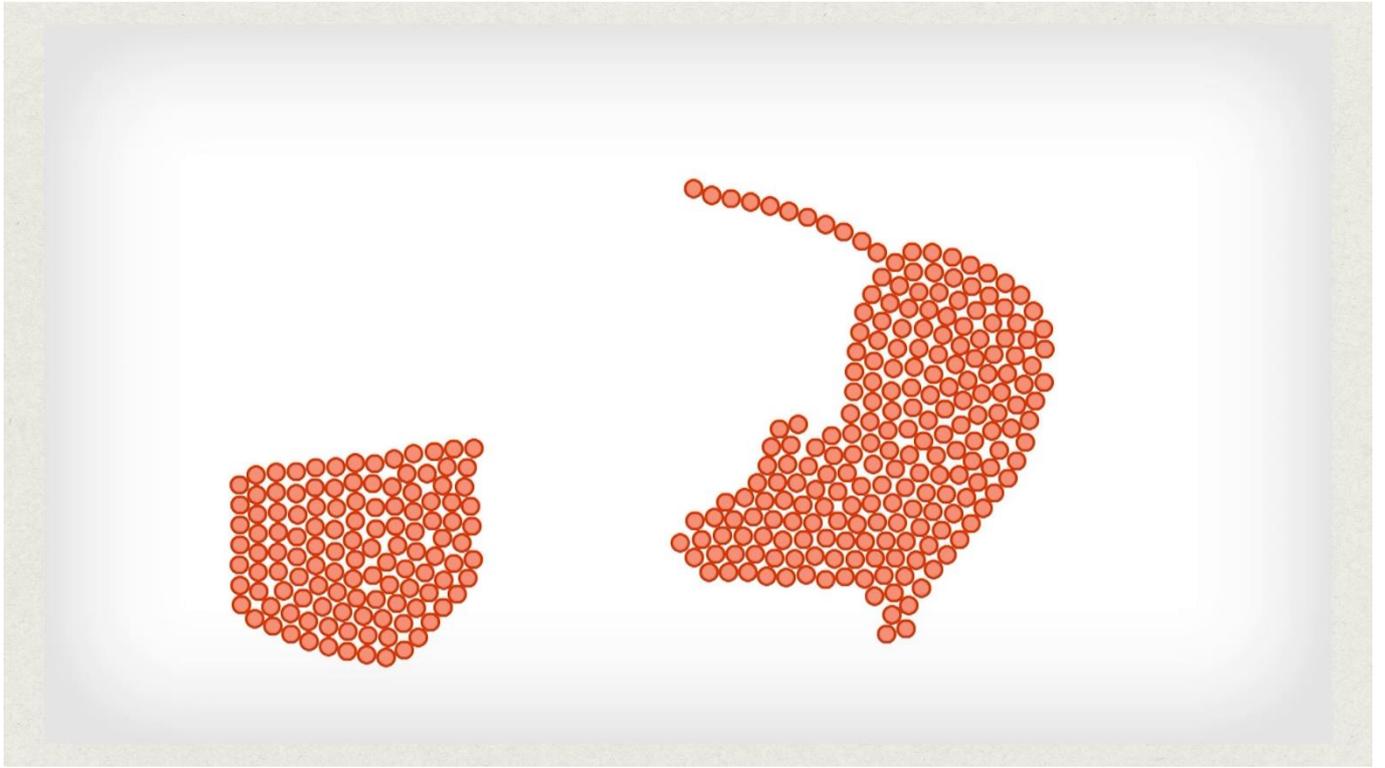
私たち動物は、ネズミだろうが、人間だろうが、鳥だろうが、あらゆる動物が毎日食べ物を食べ続けなければいけないわけですね。この「食べ物を食べ続けなければいけないというのは、生命にとって一体どんな意味があるのか」というのが、シェーンハイマーの問いだったわけです。

シェーンハイマーが生きた 100 年ぐらい前の 20 世紀初頭の時代は、既に生物学は機械論的な考えが主流になっていて、あらゆる生命現象は機械のアナロジーとして捉え直せるというふうにみんな思っていました。つまり食べ物を食べるというの、自動車とガソリンの関係に置き換えられると、みんなが思っていたわけですね。

生物もエネルギーを必要とするわけです。動くためには運動エネルギーが要るし、体温を維持するためにも熱エネルギーが要る。それが食べ物という燃料なわけですね。だから、食べ物を体の中に入ると、ガソリンみたいに爆発的には燃えませんが、ゆっくり「燃焼」されるわけです。燃焼っていうのは「酸化」されるということです。酸素が結びつくと、そこから熱エネルギーが出る。その熱エネルギーは体温になったり、運動のエネルギーになったり、代謝のエネルギーになって使われる。使われると消えてしまいますので、燃えかすは「二酸化炭素」や「水」になって体から排出されて、また新たなエネルギーが必要なので、また食べ物を食べる。みんな、食べるということを自動車とガソリンのアナロジーとして捉えていたわけなんです。

シェーンハイマーは食べたものが全部燃やされて、それが燃えかすになるというインプットとアウトプットがきちんと見極められないと、そういうことを言うことができないというふうに考えたわけです。だから食べ物が入ってきて、それが燃やされて出ていく。そのプロセスで IN と OUT が合うかどうかを調べたいというふうに考えたわけですね。





ネズミにしろ、人間にしろ、鳥にしろ、生物は究極的には「粒子の塊」だということが、もう既に分かっていました。この粒子は原子の集まりなわけです。食べ物の方はどうかというと、食べ物も植物性のものにせよ動物性のものにせよ、他の生物の体の一部をもらってきたものが食べ物ですから、これまた粒子の集まりなわけですね。

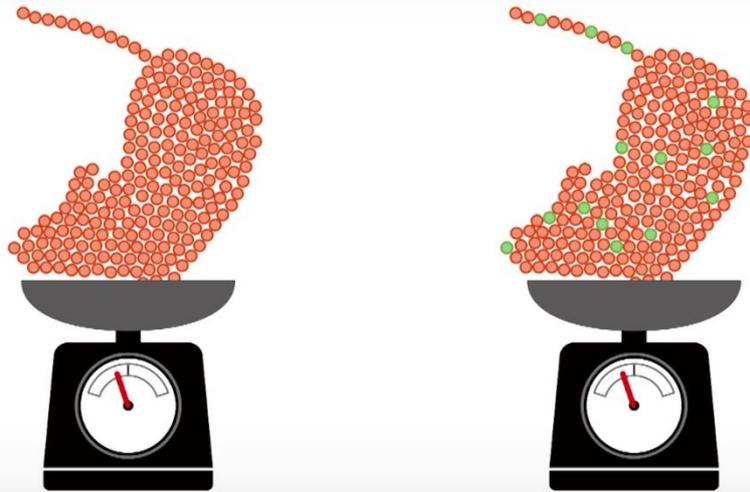


そして彼は標識した食べ物を、ネズミに食べさせてみました。すると非常に不思議なことが起きていることが分かったんです。食べた原子はネズミの体の中に散らばって行って、尻尾の先から頭の中、骨の中、あらゆる臓器の中に散らばって、ネズミの中に溶け込んで行ってしまったんですね。つまり、ガソリンと自動車の関係

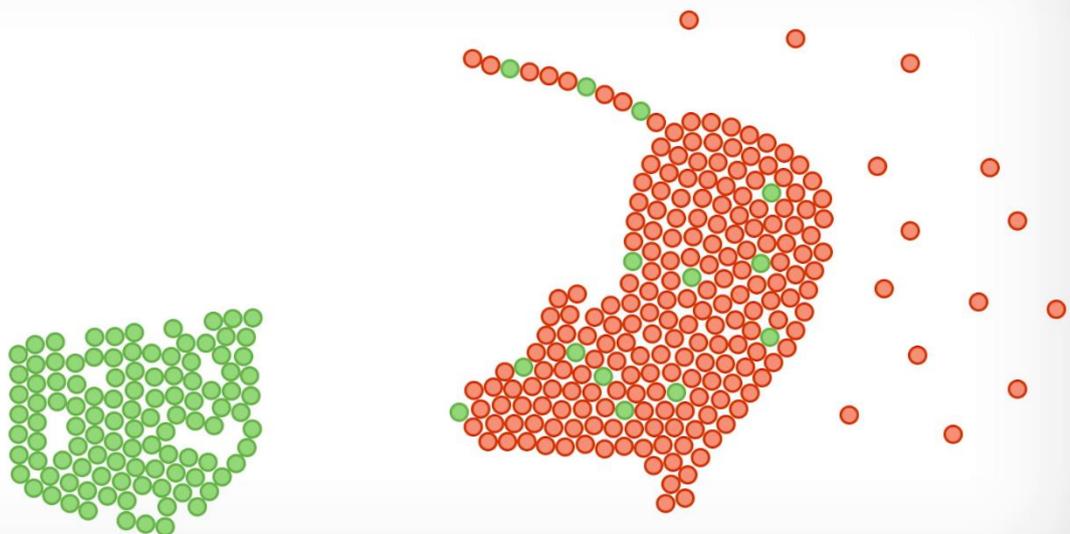
で言うと、ガソリンを自動車に注ぎ込んだら、ガソリンの成分が車の中に散らばって行って、タイヤの一部になったり、ガラスの一部になったり、エンジンのネジの一部になり代わってしまっている。車の中ではそんなことは起きないわけですね。ところが、生物の中では食べた食べ物の原子や分子は散らばって、ネズミの体の中のいろんなところに入り込んで、そのネズミの一部になってしまったわけなんです。



シェーンハイマーはこの実験をもちろん非常に厳密に行っていて、まず実験前のネズミの体重を正確に測っていました。それから、このネズミはもう大人になったネズミなので成長期ではないんですけども、食べ物を食べると「標識した粒子」が体の中に増えていきますよね。標識した粒子が増えていくと、当然その分が体重として増えるはずですけども、この実験をずっとやっても体重は 1 グラムも変化しなかったんですね。



またシェーンハイマーは、このネズミを完全に閉鎖した空間に入れて、ネズミから出てくる全てのものを収集して「どこに標識が行くか」を調べていきました。ふんや尿はもちろん、体から落ちてくる毛なども集めたし、それから呼吸ですね、息の中にどれぐらい二酸化炭素が排出されるかということも全部調べて、食べた食べ物の原子がどうなるかを調べたんです。でも体重は全く変わってなかったわけです。



この結果をシェーンハンマーはどういうふうに解釈したか。ここが彼のすばらしいところだったんですけども、体重が増えないのは「目に見えない形で、もう一つ別のプロセスが動いている」と。それは何かというと、「ネズミを形づくっていた分子や原子が分解されたり、燃焼されたりして、体の外へ捨てられた」という

ことです。つまり生物にとって食べ物を食べるというのは、ガソリンを補給するということとは全く違って、「自分自身の体を入れ替えている。食べ物の原子や分子と入れ替えている」。我々の体の中というのは、絶えず「分解」と「合成」がぐるぐる回っていて、その“流れ”を止めないために食べ物を食べ続けているんだ。そういう非常にダイナミックな状態であるということを、アイソトープ(同位体)を使って初めて見せてくれたのがシェーンハイマーの実験なわけです。

皆さん自分の体の中で、例えば爪が生え変わるとか、髪の毛が伸びてカットすればまた伸びるとか、お風呂に入ると皮膚が落ちるとか…そういう感じで自分の体が交換されているというのは実感できる部分がありますが、実は全身のあらゆるところがものすごい速度で入れ替わっているんです。自分の体の中でいちばん早く入れ替わっているのはどこだと思いますか？それは「消化管の細胞」なんですね。消化管の細胞は大体2~3日で全部入れ替わっています。どんどん捨てられているんですけども、どんどん作り直されているんですね。食べ物の原子や分子から作り直されています。他の臓器も早い遅いはあっても、すごい速度で作り替えられていて、数日から数週間、数か月のうちに入れ替わってしまっています。ですから、「昨日の私」と「今日の私」は、その間に食べたものと入れ替わっているわけです。1年前の私と今日の私を比べてみると、物質レベルではほとんど全てが入れ替わっていると言っても過言ではないぐらい入れ替わっているんです。骨とか歯みたいにカチっとして見えるところも、内部は入れ替わっています。決まって交わす会話で「大変お久しぶりですね。〇〇さん全然お変わりありませんね」と言いますが、実はそれは生物学的には間違っているんですね。1年も会ってないと、その人は物質レベルではすっかり入れ替わっているんで「〇〇さん、お変わりありまくりですね」と言わないといけないぐらい、我々の体というのは絶えず入れ替わっているわけなんです。

シェーンハイマーはこのことを明らかにしてくれて、彼は英語で論文を書いているので、我々の体は動的な状態にある「ダイナミックステート(dynamic state)にある」というふうに書いています。

私はこの考え方をさらに発展させて、我々の体は動的な状態にある。絶えず入れ替わって絶えず作り替えられているんですが、同時に絶えず“バランス”を取り直しているわけですね。二度と同じバランスはないんですけど、あるバランスを取り直して、環境が変わればそれに適応したようにバランスを取り直し、何か部品が欠損すればその部品がないなりに新しい「平衡状態」を作り出すことができる。ですから動的な状態というよりも「動的な平衡」というふうに言い直した方が、より正確に生命のあり方を表現できるというふうに考えました。「生命とは『動的平衡』である」。そういう日本語を当てはめるのがいいのではないかとということで、動的平衡というキーワードで生命を捉え直そうと、ここから出発し直したわけです。



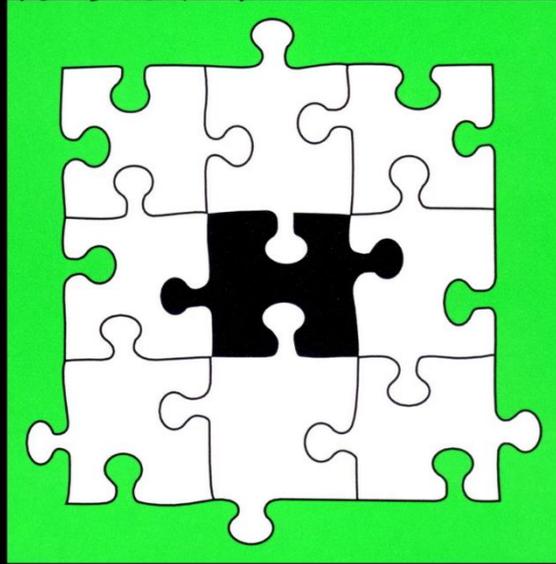
ということで、私たちが生きているというのを、ちょっとしたグラフィックで表現した絵がありますので、それを見てください。

※グラフィック映像（開始点 34 分 54 秒）とあわせてご覧ください。

環境から粒子が流れ込んできます。そして一瞬、よどみとなって集まったものが、私たちの体。でも私たちの体は「エントロピー増大の法則」に逆らって進むために、絶えず自分自身を壊しながらエントロピーを捨てていく。最後は寿命が来てエントロピー増大の法則に負けてしまうんですけども、また子孫を作るとか、他の生物に動的平衡を手渡すという形で、私たちはまた自分の中に秩序を作り直して、このエントロピーの流れの中を進んでいくわけです。ですから環境は絶えず私たちの体の中に入ってきて、またここから流れ出ている。これが動的平衡という考え方で、この考え方から非常に動的なものとして生命を捉え直してみると、生命のいろんな見方がよりビビットにダイナミックに見えてくる。そういうふうに考えています。

### <「壊しながら長く保つ」とは>

ではどうして、絶え間なく我々は作り替えられているのにもかかわらず、同一性がとれるのか。ここには一つ大事なポイントがありまして、これは「相補性(そうほせい)」という概念から説明することができます。



相補性というのは、ジグソーパズルのピースは互いに他を支えながらも、互いに他を律し合っている。そういうバランスによって作られていますよね。真ん中のピース(上図)が捨てられても、周りがある8つのピースが残っていると、真ん中の形と場所が記憶されるので、新しく作られたピースをそこにはめることができる。我々の体というのは、大きな1枚のジグソーパズルの壁画みたいなもので、絶えず同時多発的に「相補性」という関係性を保ちながら入れ替わることによって、全体として更新されながらも、全体の絵柄、ある種の同一性、あるいは記憶というものが保たれている。これは細胞と細胞の関係性、あるいは細胞の中のタンパク質とタンパク質の関係が、相補性によって絶えず入れ替わっても保たれるからというふうに説明できます。

もう一つは、「どうして私たちが生きるために、自分自身を絶えず壊しながら絶えず作り替えているのか」という疑問があります。それはできるだけ「長生き」するためです。これは非常に逆説的に聞こえるかもしれませんが。人間の発想だと、長くもたせるためには頑丈に作っておけば長もちすると思いますよね。ところがどんなに壮麗な建築物も、長い年月の間には駄目になってしまうわけです。壮麗なピラミッドも何千年かたつと砂粒に変わってしまいますよね。タワーマンションのようなぴかぴかの建物も、1000年2000年という単位になると当然廃虚になってしまうわけです。



生物は、人間の場合だったら 80 年ぐらい、女性だったら 90 年ぐらいの寿命を持っているわけですね。それぐらい長くもつためには「エントロピー」というものを捨て続けなければいけないわけなんです。これはちょっと難しい概念なんですけれども、宇宙の大原則として「エントロピー増大の法則(あらゆるものは秩序から無秩序へと変化する)」というのがあります。形あるものは必ず形がない方向にしか動かない。ピラミッドは風化するし、タワーマンションは崩れていくし、整理整頓しておいた机の上もちょっと油断すると書類が散らばったり、本が倒れてきたり、消しゴムのかすが散らばったりしますよね。

生命現象は最も秩序が高い状態ということが言えます。その秩序は、エントロピー増大の法則という宇宙の大原則によって、絶えず壊されよう壊されようとしているわけです。細胞膜だったら酸化されようとしているし、細胞の中のタンパク質だったら、分解されたり切断されたりしようとしているわけですね。

これに対してどう対抗していけばいいかというのが、生命が長もちするための非常に大事な課題だったわけです。頑丈にしっかり作っておいても、必ずエントロピー増大の法則に押し倒されてしまうわけですね。そこで生物は最初から非常に“ゆるゆる”“ヤワヤワ”に作っておいて、自ら率先して分解することによって、エントロピー増大の法則に先回りするように自分を分解することによって、エントロピー増大の法則に何とかあらがって、頑張っって形を作り直して生きているというふうに生命を捉え直すことができる。「動的平衡」の意味がここにあるというふうに考えています。



<GP2 はどんな働きをしている？>

恐竜さん(福島)「『GP2』は、どんな役割をしてきたんですか？」

福岡さん「『GP2』というのは、我々の消化管の中でアンテナみたいに外界の様子を探っているんですが、何を探っているかという、我々が腐りかけた食べ物を食べたりすると、その腐りかけた食べ物の中にサルモネラ菌という悪いばい菌が潜んでいることがあります。GP2 は、そのサルモネラ菌の尻尾を捕まえることができるということが分かってきました。尻尾を捕まえてどうするかというと、消化管の内側からサルモネラ菌をキャッチして、本当の意味の体の中に GP2 がサルモネラ菌を連れて入ります。そうすると『こんな悪者が外をウロウロしているから戦うための抗体を作りなさい』というふうに、我々の免疫細胞に情報を与えてくれる。そういう警察官みたいな役割をしているということが分かってきたんです」

<単細胞生物も動的平衡をしている？>

がわらさん(茨城)「大学4年生で、生物学を研究しています。単細胞の生物でも、動的平衡を感じられるような要素があるのか。福岡先生の感じられている単細胞の生物で動的平衡を感じるような要素があれば教えていただきたいです」

福岡さん「単細胞の生物も、生きていくために必死に動的平衡しているはずなんです。何か栄養素を与えたら、その栄養素を単細胞生物は取り込みますけれども、単細胞生物の中のタンパク質や DNA というのは常に作り替えられていて、食べ物の原子・分子と交換されて、古い分子や原子は排出されているはずなので、シェーンハイマーと同じように何か標識のついたアミノ酸とか糖とかを与えたら、それが一瞬細胞の中で細胞の要素になって、やがてまたそれが抜け出ていくという“流れ”が見えるはずなんです。単細胞生物の一生というのは、ある細胞ができてからその細胞が分裂するまでのわずかな時間ですけれども、細胞分裂をすることによってある意味で永遠に生きることができるというふうに考えることができます」

福岡さん「どんな単細胞生物を見ているんですか？」

がわらさん「私は葉緑体を持つ植物に近い単細胞の生物をふだんは見えています」

福岡さん「葉緑体を持っている単細胞生物っていうのは、『ゾウリムシ』の中にその葉緑体を持った単細胞生物が入り込んで共生関係を作って、ミドリゾウリムシというのを作って、光がなくなるとまた葉緑体の生物が抜け出して元のゾウリムシになるみたいな、そういう面白い現象があって、それもまた生物の動的平衡の一種ですから、ぜひぜひ研究を続けていってください」

<人間社会にも「動的平衡」が必要？>

ぬまちゃん(大阪)「生命の話の中で、動的平衡ということが出てきたかと思うんですが、これは我々の人間社会にも同じようなことが考えられたりするのでしょうか。人間社会も壊していかないといずれエントロピーが増大してしまうというふうなことになるのかなという気もしたので、その場合、うまくいっているものをわざわざ壊さないといけないっていうことに対して、どういう意識を持ってふだん行動したり生活したりしたらいいのかというところを、先生のお考えをお聞きできたらというふうに思いました」

福岡さん「“私”を構成していた分子や原子は流れていて、同じ時代の人々が互いに、分子や原子を交換しているだけではなくて、歴史的にも絶えず炭素や窒素や水素や酸素は循環しています。昔の豊臣秀吉を構成していた原子や分子も、一部は我々のどこかに成り代わってまた抜け出ていくというのはいくらでもありえるわけですね。

それから、動的平衡の考え方が『人間の組織』にも適用できるんじゃないかということなんですけれども、それは非常に面白い考え方でそのとおりだと思います。例えば、大阪の方なんで・・・阪神タイガースのファンかどうか分かりませんが、大阪の人は阪神タイガースを応援していますよね。阪神タイガースを応援しているんですけれども、実はタイガースの中のメンバーというのは絶えず入れ替わっていて、昔掛布選手やバース選手がいたころの阪神タイガースのことをいまだに語る人がいますけれども、そういう人たちはもういないのに、みんな阪神タイガースを応援しているわけですよ。つまり、阪神タイガースという動的平衡をいつも応援していて、そこには新しい選手が入って古い選手が抜け出ていくけれども、ある種の同一性相補性が保たれて、いまでも阪神タイガースというものがあるわけですよ。

あらゆる組織が絶えず人間が入って行って、そこから人間が出ていくので、動的平衡を持った組織体ということが出来ます。しかも、エントロピー増大の法則に抵抗するためには、絶えず代謝が起きている方が、より柔軟で強じんな組織だということが言えます。ただ、これを人間の組織に丸ごと当てはめることがなかなかできないのは、どんどん入れ替わらなければならないんじゃないかということになって、そんなに早く入れ替わる組織というのはなかなか作れませんよね。でも組織の中の役割分担があまりにも硬直的に限定されて、『この人の仕事はこれ』というように機能と要素があまりにも限定されている組織は、やっぱり動的平衡の観点からいうと柔軟性が低いので、そういう組織はさまざまな環境の変化に弱いというか、ぜい弱な組織だと言えます。できるだけ組織のメンバーの役割分担が可変的で、できれば少しずつ代謝していく組織が、より長生きできる組織になるというふうに言えるんじゃないかなと思います」

## <理系から文系へ転向！？いま研究者として目指すもの>



ここから先は、いまの自分と未来に向けてどうこの世界を捉えていけばいいかということについてお話してみたいと思います。

実は私は「文転(ぶんでん)」して今日にいるんですね。文転というのは「文が転ぶ」というふうに書いていて、もともと理科系の学部に進学したんですが、自分の将来をいろいろ悩んだり考えたりして、結局、理系から文系に学部を変えてしまった。そういうことが10年ぐらい前に起きました。

私はもともと理工学部というハードサイエンスをやる学部において、そこに研究室を持って毎日細胞をすり潰したり、ネズミを使って実験したりしていたんですけども、自分自身の研究のあり方をシフトチェンジしたわけなんです。これはどうしてなのかということをお話ししてみたいなと思うんです。

私は、最初は分子生物学者としてレーヴェンフックが最初に顕微鏡で生命を見たように、マイクロなレベルへマイクロなレベルへどんどん下がっていったわけですね。要素還元主義的に。我々は臓器からできていて、臓器はそれぞれ細胞からできていて、細胞はさらに小さなタンパク質部品からできていて、タンパク質は遺伝子というマイクロな設計図からできている。そして、設計図はゲノムという一つの情報単位で、そこに人間の場合だったら2万1000種類ぐらいのタンパク質の部品が書き込まれている。現在、ヒトゲノム計画というものが完成して、遺伝子ゲノムの端から端まで全部解読されてしまったので、私のGP2の発見も、そのゲノムのデータベースのほんの1行でしかないわけですけども、そういうふうにして我々人間は、生物をある意味で完全にマイクロなレベルまで全部切り分けて、全ての遺伝子の秘密を解き明かしたわけですね。

全ての遺伝子の情報が解き明かされて何が分かったかというと「遺伝子が全部分かって、生命のことは何も分からない」ということが分かったんです。つまり登場人物だけが分かっててもドラマが分からないのと同じよ

うに、遺伝子あるいはタンパク質というパーツが分かっても、それが何をしているか、その相互関係をもうちょっとふかんに全体的に見ないと問題が解けないというふうに私は思ったわけです。

2011年に皆さんも経験した東日本大震災というものがやってきました。これが私にとって非常に大きな転機を与えてくれてですね、そのときに私の研究室というのは研究ビルの7階にあったんですけども、かなり揺れまして相当ダメージを受けました。特に遺伝子ノックアウトマウスを飼っていた動物飼育室が大きな被害を受けて、実験動物のマウスは小さなケージというものに系統ごとに分けて、オスとメスも分けて飼育していたんですけども、地震が大揺れになってその実験ケージが全部飛び出してしまってネズミがみんな飛び出してきて、混じり合ってしまったんですね。ネズミは1匹1匹、ケージに分類しているから、どの系統のどのマウスかというのが分かるんですけども、飛び出してしまってもう完全なカオス状態になってしまって收拾がつかなくなりました。

ちょうどそのころに私も、この理系的な研究から少しシフトチェンジして、もうちょっと社会と文化あるいは科学と文化の問題を考えてみよう、哲学とか文化とかそういう文脈から生命を考えなきゃいけないと思っていたときだったので、それを一つのきっかけとして学部を変わって文転したわけです。

現在、科学を取り巻くさまざまな問題というのは、科学だけでは解けないわけですね。生命をめぐるテクノロジーというのは、どんどん進展しています。遺伝子組み換え技術によって、食品が遺伝子組み換え食品に変えられていますよね。でも遺伝子組み換え食品に対して、これは危険じゃないか、これは食べたくないと言う人もたくさんいるわけです。いくら遺伝子組み換え技術が安全だというふうに科学的に証明しても証明しきれないし、それを食べたくないと思っている人たちに対して、いくら科学的に安全だと言っても説得しきれない。それはなぜかという、科学にだけ答えがあるのではなくて、その外側の社会的あるいは文化的な文脈を考えないと答えがない問題というのはたくさんあるからです。

あるいは生殖医療の問題というのもあります。お母さんの血液を調べると、胎児のDNAが分かる出生前検診という技術がどんどん進展していて、妊娠の初期に胎児の遺伝子異常が分かるわけですね。遺伝子異常が分かっても、どんな子どもが生まれるかまでは分からないんですけども、遺伝子異常が起きたということを知らされたお母さんお父さんたちは非常に悩んで結局中絶を選ぶ、そういうケースが多いわけです。

つまり科学技術はどんどん進展しているにもかかわらず、その技術を使うべきか使わないべきか、あるいはその技術によってこれまで知りうるができなかったことを知ることができたときに、それに対してどう向き合っていくべきかということは、科学だけでは答えられない問題がたくさんあるわけですね。だから、科学と社会、科学と文化、科学と歴史、あるいは科学と芸術、そういうことを総合的に考えるためには、研究室に閉じこもっていただけでは答えがないなというふうに考えて、自分自身のライフチェンジをするという意味で、理科系の研究室を店じまいして文科系の研究者がいる場所に移って、その相互作用の中で生命を捉え直してみようとライフシフトをしたわけです。

皆さんも年齢を重ねていくと中年ぐらいのどこかで、自分の未来というものを少しギアチェンジするとき、あるいはパラダイムシフトするときというのが来ると思うんですね。そのときに長い人生の後半をどういうことを考えて生きていくかと考え直すということも大事なことなんじゃないかなというふうに思うわけです。

## <「利他」がこの世界を支えている>



さて、「動的平衡」の観点から生命を見ると、生命の見方というのはだいぶ違って見えます。つまり、生命を精密機械だと見ていたんですけれども、動的平衡で見ると、絶えずさまざまなものを環境からもらいつつ、絶えずさまざまなものを環境に返しているわけです。人間以外の生物は、一切ゴミを出さないんです。排せつ物も自分の体も、卵とか蛹(さなぎ)とか巣であっても、必ず他の生物に手渡せる形で排出・排せつ、あるいは手渡しているわけです。つまり常にパスを受けつつパスを返している。絶えず動的な平衡を受け取って、渡すということをしているわけなんです。この受け取って渡すということは、常に「他者の存在を考える」ということです。ね。「他者のために生きる」ということにもなります。

20世紀は「利己的遺伝子論」というのが、一世をふうびしました。つまり遺伝子というのは非常に「利己的(selfish)」で、自分が増えることだけを考えているというふうに思われていたんですが、それはやっぱり古い見方というか一面的な見方で、生命は利己的というよりは「利他的(altruistic)」なわけです。他のもののために生きるのが利他的です。例えば、植物は光合成をしているわけなんですけれども、光合成は自分のためだけにしているわけではないんです。植物がもし自分のためにしか光合成をしなかったら、他の動物が生きる余地は全くありません。でも植物は非常にたくさん光合成をして、惜しげもなく他の生物に、葉っぱとか実とか根っことか穀物を与えてくれています。それによって草食動物が生きることができて、昆虫が生きることができて、鳥が生きることができて、それを食べる他の生物が生きることができて、つまり、植物は非常に利他的にふるまってくれているわけです。これが地球を支えているわけで、他の動物生物も食う・食われるというような関係にあっても、自分の生命の一部もしくは全部を、誰かに手渡しつつ全体としてバランスが取れている動的平衡状態にあるわけです。つまり動的平衡というのは「生物が利他的である」ということも教えてくれているというふうに私は思っています。

常に“流れ”の中にあって動的平衡状態を保っていて、絶えず何かをもらいつつ絶えず何かを渡しているという

「利他的」な行為が、生命本来のあり方です。我々も大きな流れの中の一部であって、自分の人生というのは、動的平衡がエントロピー増大の法則に負けてしまうのが老化と寿命ということなんですけれども、個体の生命は有限であっても動的平衡を絶えず手渡しているという意味では、生命は38億年という無限に近い長い旅路をずっと続けてきて、これからも続いていくわけですね。

今日は「動的平衡」という四文字熟語と、動的平衡というのは絶えず何かを環境からもらいつつ手渡している「利他的」な行為だということ。その中で人間だけが利己的になり過ぎているので、「威張るな人間」というのが、地球環境に対して人間が受け止めなければいけない教訓だと思いますし、今後解決していかなければいけない人間の責任でもあるというふうに思っています。



<これからのモノづくりはどうあるべき？>

タロイモさん(福島)「私は短大でデザインを学んでいます。これからのモノづくりの在り方とかを知りたいと思ったので、教えていただきたいです」

福岡さん「人間が作り出すモノというのは大体デザインにしろ、プロダクトにしろ、できるだけ長もちするようにサステナブルであるために、頑丈に壊れにくく作ろうとしがちです。ところがですね、人間以外の生物に目を向けてみると、人間以外の生物が作り出すプロダクトあるいは自然のデザインというのは、全てあらかじめ壊されることを予定して作っているんですね。壊れやすく作っているし、どこからでも壊せるように作っているわけなんです。ですから、未来のデザインの在り方、未来のプロダクトの在り方というのは、壊れることを含んで作る。そうするとリサイクルもしやすいし、壊すことも容易だし、またそれを他のものに転用することもできると思うんです。だから、建築も頑丈に作るというだけではなくて、あらかじめ壊すということを考えて作るプロダクト、考えてデザインするということが大事になってくるのではないかなと思います」

<好きなものがコロコロ変わっちゃう>

そうたさん(広島)「僕は好きなことがコロコロ変わっちゃうんですけど、変わらなくするにはどうすればいいですか？」

福岡さん「いや、そのままでいいと思います。好きなものがどんどん変わるっていうことは、それだけ動的平衡が速く回っているということなので、より生物的だし、どんどん好きなものが変わっていくと、本当に好きなものがそのうち見つかると思います。まだ若いので、次々と試してみることが大切なんじゃないかと思うんで、あまり変わらないことにこだわらなくてもいいと思います」

#### <研究を続けたいが経済面が不安>

なおさん(埼玉)「私はいま、アルツハイマー病の研究をしております、まだ大学院生なんですけど、やっていることが楽しくて面白くて今後も研究を続けていきたいのですが、お金の面がちょっと不安で、どのようにしてお金を稼いでいけばいいのかなっていうことをお聞きしたいです」

福岡さん「私もポストクのとき本当にギリギリの給料で、住む場所も食べるものも最低レベルでしたけれども、やっぱり自分が好きな研究をできる。それから、特に研究っていうのは新しいことを世界でいちばん最初に知ることができる立場にいるわけですね。ですから、私はあまり未来のことを心配せずに、何とかなるっていうふうに楽天的に考えて研究をしていました。そうするとすぐにではないですけども、何かチャンスはやってきて研究を続けられる可能性というのは出てくると思うんですね。日本だけじゃなくて、いまや世界中に研究のチャンネルがありますし、特に研究は世界のどこでもできます。英語がしゃべれなくても、科学の公用語は、英語じゃなくて、下手くそな英語が科学の共通語なんで、ぜひアルツハイマー病の研究をしてください」

#### <いまはどんな研究をしている？>

ヨッシーさん(大阪)「一点目は文転されたあとのことで、理系分野にいらっしゃったところは日々の研究生活というのは、実験をして分析をして論文を書かれてということになると思うんですけど、いまの研究生活というのはどういうことをふだんされているのかなというのが気になったことです。もう一点はすごくしょうもないんですけど、きのう友人と日本酒を飲んで、いますごく頭が痛くて、この『頭が痛い』っていうのも、やはり何かしら動的平衡があるんですか。というか何で頭痛いんだ、何かメリットがあったらうれしいなと思ったんですけど、もしご存じだったらお願いします」

福岡さん「まず第一点の質問で、いまどういうふうな方法で研究をしているのかということですけども、私自身はもう細胞をすり潰したり、ラットを解剖したり、自分の手でやっているわけではないんですけども、他の理科系の研究者が行っている論文を読むことによって、研究の最前線を常にキャッチアップしようとしています。そして、その個々の研究データをつなぎ合わせて動的平衡の観点から生命というのをできるだけ大きな形で捉え直そうとしています。それは論文の形にしてアウトプットを出しますし、あるいは私自身、本を書くという方法でアウトプットを出そうとしています。それからそこで分かったことを、文化とか、社会とか、経済とか、芸術というふうな他の分野とつなぎ合わせて、これも文章や本や講演とかですね、そういう形で社会的に発信していこうというのが、いまの私のスタイルです。

それから第二の質問ですけども、飲んで頭が痛くなることに何か意味があったらうれしいなということな

んですけども、多分意味があると思います。生命現象というのは動的平衡なんで、必ず押せば押し返してくるし、しずめようとすれば浮かび上がろうとする。ある種の外的作用に対してリベンジしてくる、反応してくるというのは生命現象です。だからお酒を飲んで気持ちよくなるのと同時に、体の中にアルコールが入ってくるので、アルコールを分解するために代謝系が忙しくなるし、脳の血管組織もさまざまな代謝活動をしなきゃいけない。その頑張りが、ある種の痛みとなって体に表れているわけですよ。だから教訓は、あんまり飲み過ぎるなっていう SOS じゃないかなと思います」

ヨッシーさん「これ以上飲んだらあなた危ないですよっていうのを、僕の体が教えてくれているんですかね」

福岡さん「そうそう、そういうアラーム音というふうに思ったらいかがでしょうか。まあ飲むことは悪くないと思います」

<人間が排出するものも何かの役に立っている？>

りょうさん(東京)「今日のお話の中で、『動的平衡とは利他的である』というようなお話があって、すごく面白いなと思いました。その中で人間だけがゴミを出すというお話があったんですが、これは果たしてゴミなんだろうかというふうにもちょっと思っていて、何かの生物の役にたっているかもしれないなというふうにも思ってたんですが、人間はゴミを出しているのか、もしくはそれも何かの生物の役に立っているのか、先生はどういうふうにお考えなのか伺いたかったんですがいかがでしょうか」

福岡さん「人間が生物として排せつしているもの、呼吸中の呼気であるとか、尿とか大便とかは、巡り巡って他の生物の代謝を受けて、地球上の大きな生命循環、動的平衡に戻りますので、それはゴミではないと思います。ただ人間が作り出している人工的なもの、プラスチックであるとか、化石燃料を燃やし過ぎることによって増大している二酸化炭素、それから原子力発電の核廃棄物、そういったものは生命のサイクルに乗らないものあるいは乗りにくいもので、他の生物にとっても負担になるので、そういうものは“ゴミ”と呼んでもいいんじゃないかと思います。それはエントロピー増大をさらに推進してしまいますので、自ら出したゴミ、エントロピー増大の後始末をつけて、地球環境の循環、利他的な循環の中に戻していくというのが人間の責務で、それが環境問題の解決ということになるんじゃないかなと思っています」

りょうさん「よく分かりました。ありがとうございます」

福岡さん「今日はどうも、本当にありがとうございました」