



ゆらぎの魅力

「ゆらぎ」というと、分析化学では相対標準偏差だったり不確かさだったり、誤差論を連想します。学生にはあまり人気のない座学の一つで、学生実験の指導でも、実験結果の誤差の起因について議論しようとする、眉をひそめられてしまいます。企業の現場では、安全性の評価や製品保証のために、ゆらぎ、不確かさを厳密に定める仕事が会社の根本を支えるほど重要ですから、その意義は学生にも理解されます。しかし、教員として歯がゆさを感じるものがしばしばあります。私が生物物理学から分析化学の学問領域に進んだきっかけの一つは、このゆらぎの捉え方なので、この場を借りて少しだけ学生向けにゆらぎを話してみます。

生物物理学では、ゆらぎと生物との関係を真剣に議論しています。生物は物質でできているにもかかわらず、繰り返し増殖する、自ら動き回る、自分で修復する、といった生き物らしい高度な機能を発揮します。この事実は、私たちにとって猛烈に不思議でなりません。そこで、「生物がゆらぎを使っているマシンだからではないか」という仮説を生物物理学者は立てて、これを実証するために、多角的に生体物質や生物を分析したり計測したりしています。

マシンとは、様々なパーツを組み合わせて、パーツそのものでは実現できない高度な機能を発揮する仕組みです。パソコンや自動車は、膨大な種類と量のパーツで組み上がっています。ばね一つ、導線一本、半導体1個では、記憶作業を手伝ってくれたり長距離移動を可能とってくれたりしません。では、このマシンがゆらぎを持っているとどうなるでしょう。時間がたつにつれ、勝手にばね定数が変わったり、導線が抵抗を変えたり、半導体の中で不純物の量が変動したりすると、マシンはどんどん誤作動してしまいます。ですから、それぞれのパーツや組み立て方の検査には細心の注意を払う必要があります。できるだけ不確かさの小さなパーツが必要で、そして、その検査方法の不確かさがパーツの誤差や不確かさよりも小さくなければ、定量的に測ることができません。パーツが1.0 mgの重さとするなら、測定器は0.01 mgの精度で定量できなければなりません。この辺から分析化学での誤差論の話につながります。

生物がゆらぎを使ったマシンであるという仮説がたつ理由は、生物をマシンと見たときに、あまりに気まぐれなのに、それでいて高度な機能を発揮していることに私たちは気づくからです。虫の動きを不思議に感じませんか？ 6本の足を器用に動かしますが、ロボット昆虫のように規則正しく動かさなくても、転ばないで進むことができます。細胞も、遺伝子は等配分されるように分裂しますが、細胞質の成分やその量まで全く同じ娘細胞にはなりません。遺伝子さえも、細胞分裂時にDNA配列のコピーミスが起きています。しかし、生物は繰り返し増殖したり、自ら動き回ったり、自ら修復するという高度な機能を有しています。

このように、生物がゆらぎを使ったマシンであるとい

う仮説には多くの含蓄があるように思われます。ではこの仮説を実証するにはどうしたらよいのでしょうか。それには、生物のパーツや生物そのものが確かにゆらぎをもっていることを計測してみせることです。そんなことを考えて本稿を書いている矢先、緑色蛍光タンパク質 (Green Fluorescent Protein; GFP) に関する研究が2008年のノーベル化学賞の対象となりました。日本人の下村博士が受賞者となったことから大きな話題になりました。この蛍光タンパク質の生体計測への応用技術は、生物のもつゆらぎを生きたまま測る研究を一気に拓いてくれました。分析対象のタンパク質が細胞中に数十個程度と見積もられていれば、1分子の精度で定量的に測ればよく、GFPと遺伝子工学、および蛍光顕微鏡や検出器の性能向上によりこれが可能となりました。生物におけるゆらぎの計測・分析手法の開発はこれからも重要になると思われます。なぜなら、生物物理学の観点のみならず、細胞や生物のゆらぎを知ることで初めてヒトは、細胞治療、テーラーメイド医療や臓器再生技術の実現に近づくことができるからです。

ゆらぎは、大学の化学の講義では、統計として邪魔者扱いされがちで目立たないですが、このように生物のゆらぎを考えると、非常に重要な意味をもってくると思いませんか？ 統計学、統計力学を遠くに感じる化学の学生が最近多いと聞きます。日本の生物物理学の祖の一人である大沢文夫先生は、「統計力学は実際に手でやってみて感じる学問」と主張されています。例えば、30個の飴玉があって、6人に1~6の番号を割り振り、サイコロをふって出た目の人が飴玉をもらうという分配のゲームをしてみましょう。等確率に配られますから、1人当たり4, 5, 6個に分配されますよね (ガウス分布に近くなる)。ではその後、その6人どうして、サイコロをふって出た目の人が飴玉1個を出して、次に出たサイコロの目の人に渡すというやりとりゲームをしてみてください。等確率にやりとりされるのだから、やはり1人当たり4, 5, 6個が維持されると予想しませんか？ でも実際は違うのです。ぜひやってみましょう (やりとりを20回続けているあたりで、ある人の飴玉は0個近くになる!)。何故？と感じることが、統計学や統計力学が「実験の学問」である妙味ではないでしょうか。ゆらぎも実は不思議で一杯なのです。

本題に戻ると、生物のゆらぎを測る分析機器や分析の方法論は、生物のゆらぎよりも小さなゆらぎの範疇を維持するものでなければなりません。生物のもつゆらぎを、化学や物理や数理を駆使して、それよりも小さなゆらぎの分析機器で測ることが、生命科学の進展にとって非常に重要である、ということが私の話でした。

次の執筆者には、小熊幸一先生を通じて今年初めてお会いしたばかりですが、気さくに仲良くしてくださっているリム・リーワ先生 (岐阜大学工学部) に快諾していただきました。乞うご期待！

[千葉大学大学院工学研究科共生応用化学専攻 豊田太郎]