

カオスで再現する自然現象

【話し手】柳田達雄 北海道大学電子科学研究所助手

【聞き手】遠藤慎一 作家・サイエンスライター

学部生時代、決定論であるはずの力学でも予測できない現象があることに衝撃を受けた。総研大に入ってさまざまな分野の人々と出会いながら、その「カオス」と呼ばれる現象を研究するうちに、柳田さんの関心は気象から蝶の飛び方、そして地形学にまで広がっていった。

柳田さんのホームページ*には、ちょっと独特の雰囲気がある。研究者がつくったという感じは、あまりしない。絵文字のようなものが彫られた真っ黒い壁紙。緑色っぽいタイトル画像には、太いうねうねとした線で人物らしき形と「CHAOS」などの文字が描かれている。

下にスクロールしていくと研究項目が不思議な画像やアニメーションとともに挙げられており、URLをまちがえたわけではなさそうだとわかる。しかし、その項目は「沸騰」「粉体分離」「雲」「植物進化」「蝶の模型」「球面」「河川」といった具合で、一見何

の脈絡もない。

さらに下では研究項目とまったく同じフォーマットで自分の趣味を紹介している。それも「フリークライミング」「釣り」「サーフィン」「車」「バイク」「スキー」「ハーモニカ」「カメラ」など多岐にわたる。「いったい何者だろう」と好奇心を抱かざるをえないページだ。

カオスとの出会い

脈絡のなさそうな研究項目の背景を貫いているのは「力学系」「カオス」「シミュレーション」といったキーワードである。

日本大学の学部生で解析力学を

勉強していたころ、力学というのは「例えば物を投げると放物運動でどこにぶつかるかわかるように、初期条件を決めると未来永劫どうなるか決まって」おり「方程式を手で解いて、軌道を全部、過去から未来まで求める」ことができるものだと思っていた。

しかし、ある日たまたま代講に立った島田一平先生（現在、量子科学研究所専任講師）がカオスの話をした。それは決定論的な力学で表されるにもかかわらず、初期条件のちょっとしたちがいが誤差によって、まったく予測できないふるまいをする現象だという。「決まっているのに決められないという摩

訶不思議な」話で、柳田さんは「おっ」と思った。そこで家に帰り、さっそくパソコンで簡単なカオスのシミュレーションをしてみたところ、非常に面白い。「ほとんど生理的に心惹かれた」という。

そこで同じ大学の修士課程に進むと、ローレンツ方程式の統計力学的な性質を研究した。1963年にカオスという現象あるいは概念が見いだされるきっかけとなった方程式で、もともとは大気の大気熱対流を非常に簡略化したモデル（数学的な表現）である。変数が3つしかないにもかかわらず、初期値の差が5000分の1程度でも結果が大きくちがってくるのがわかり、物理学者や数学者に大きな衝撃を与えた。

しかし研究をしていくうちに、柳田さんは少々、物足りなくなってくる。変数が3つなので扱いやすいのだが「気象の方程式と言いつつ簡略化しすぎていて、当時、リアリティを感じなかった。抽象的すぎると思った。それで、もう少し現実的な、より現象に近いものをやりたいと思っていた」という。

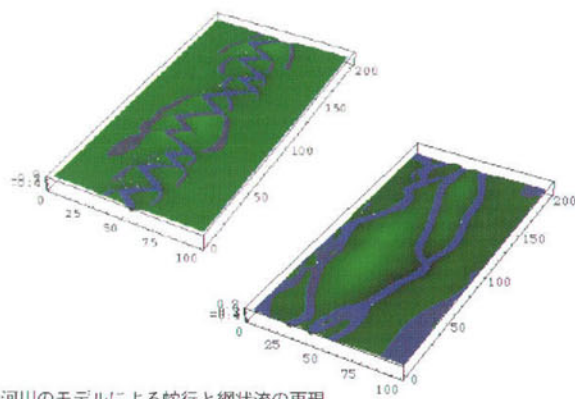
統計学とのギャップに悩む

総研大に入ると、「実際にデータを使うし複雑なものも扱うというので」統計数理研究所（統数研）で学ぶことにした。しかし、1年目は戸惑うことが多かった。「やはり統計というのは確率なんですよ。一方、僕がやってきたのは

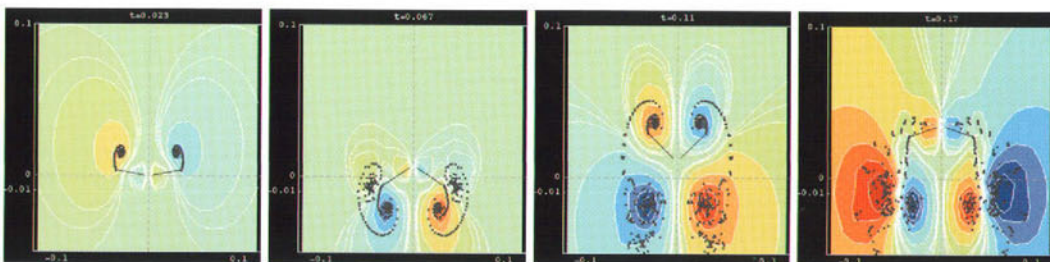
* http://aurora.es.hokudai.ac.jp/yanagita/index_j.html



雲の三次元モデルのシミュレーション



河川のモデルによる蛇行と網状流の再現



羽ばたき飛行のシミュレーション

力学で(カオスは)決定論なんだけどグチャグチャというのがよかった。でも、こっちは最初からサイコロを振っているんですよ。最初から(モデルに)確率が内在していて、確率の起源というのは問わない]

そうして悩んでいるうちに、東京大学の金子邦彦先生(現在、大学院総合文化研究科教授)に出会った。金子先生は力学系を使って、ローレンツ方程式などよりも少しリアリスティックに現象をモデル化しようとしていた。まさにその方向性を模索していた柳田さんは、金子先生が当時使っていた「結合格子写像(CML)」という手法で、沸騰という現象のシミュレーションを始める。身近な現象だが非常に複雑で、一種の時空カオスでもあり、流体方程式や熱力学を使っても、まともには計算できない。何らかの簡略化が必要だが、あまりやりすぎるとリアリティが失われる。

そこで指導教官の伊藤栄明先生に、「シミュレーションだけでなく実際に現象を見なければいけない」とアドバイスを受け、簡単な機器づくりからはじまって沸騰遷移現象をじっくり観測することができた。これは非常にいい経験となったという。

カオスで飛ぶ蝶

総研大を修了し北海道大学電子科学研究所の助手となって以降も、その方向性は変わらず、ホームページに挙げられているようなさまざまな現象のシミュレーションに取り組んできた。個々の現象の選び方は、人に勧められたり「一種の遊び心」であることが多いが、たいていカオスがどこかに絡んでいる。

例えば蝶のシミュレーション。これは金子先生からある日「柳田君、蝶はどうだ。ふらふらする。他のものはふらふらしていない。蝶はどう?」と言われた。「いや、蝶はどうって言われても」と思っ

たが、真面目な柳田さんは考えた。「カオスというのは決定論的なんだけれども揺らぎが大きいというか、でたために動くんですよ。一方、トンボのようなのはしっかり制御している。そういう、ふらふらしているのは、何かカオスをうまく利用して飛んでいるんじゃないかというイメージがあったんでしょ?」

そこで同じ研究室の飯間信さんという流体の専門家と一緒に研究しはじめた。使ったのは「渦糸法」という、流体の流れを小さな渦の集まりとして近似する方法。さらに簡略化のため三次元の翅を二次元の棒にし、柔らかさなどの生物学的なディテールも捨てた。つまりは2本のオールを持って流体中を前後対称に動かしたとき、ボートは進むかどうかというような問題に置き換えたのである。

そしてシミュレーションしてみると、面白いことがわかった。普通に考えれば棒を対称に動かしても、行きつ戻りつで進みそうにはない。確かに流体の粘性が大きい場合は、その通りである。しかし粘性が小さいと、棒を一度動かしたときにできる渦の「寿命」が長くなる。すると棒を次に動かしたときに、その渦を踏みつぶして片方へ動けるのだ。実際の蝶も渦をうまくキャッチして飛んでいるのかもしれない。

新分野を立ち上げる

柳田さんが現象をモデル化するときには、あまり抽象化しすぎないように注意するが、かといって気象分野で行われているほどリアルな大規模シミュレーションをしようとは考えない。つまりスーパーコンピュータを使って、それこそ「明日の午後3時の東京タワー上の風速は何メートル」というような量まで予測しようとするシミュレーションでは、モデルも複雑になりすぎて結局、何が起きているのか理解できないからだ。柳田さ



1965年、東京生まれ。総合研究大学院大学統計科学専攻修了。日本大学理工学部物理学科の卒業研究でカオスと出会い、その後、ずっとその分野を研究する。現在は北海道大学電子科学研究所助手。最近では映画のCG制作についても相談を受けているらしい。

人は自然現象を精密に模倣したいのではなく、シミュレーションを通して現象の本質を知りたいのである。それにはパソコンがあれば十分だ。

例えば河川のシミュレーションでは、川が蛇行する様子や、分岐して網目状になる様子などを再現している。このときに工学者であればダム建設などに役立つよう、泥がどう削れて流れ、堆積するかを定量的に予測しようとするかもしれない。しかし、そのための複雑なモデルで、何万年にもわたる地形的な変化を知ることには非常に困難だ。そこで定量的には粗いが、定性的な性質は保持するモデルを

上手に組んで使うことにした。

柳田さんは河川に限らずさまざまな地形がどうしてできるのかを、シミュレーションによって理解するという研究分野を立ち上げようとしている。すでに大阪府立大学や名古屋大学の研究者らと共同研究を始めたところだ。総研大で築いた人脈も役立つかもしれない。「私が扱っているのは非線形とか力学系というもので、特別この現象というわけではありません。そういう意味では、学際的な統計数で、あつかう自然・社会現象や応用分野がちがう人といっばい出会えたことは、よかった」と柳田さんは振り返っている。