

理工学部物理学科／  
パターン形成物理学研究室



# 脇田 順一 准教授

パターン形成物理、統計物理

## 【プロフィール】

脇田順一(わきた じゅんいち)▷ 1968年、鹿児島県生まれ、東京育ち。中央大学理工学部物理学科卒業。同大学院理工学研究科物理学専攻博士課程後期課程修了。中央大学理工学部教育技術員、株式会社アドバンスリアルゴリズム&システムズ、株式会社シーエステクノロジー勤務を経て、中央大学理工学部教育技術員として、松下貢教授のフラクタル物理研究室に所属。2011年、中央大学理工学部物理学科准教授に着任。趣味は、カメラを片手にぶらっと旅をすること。

## 自然現象にも多く見られる「フラクタル」をはじめ、パターン形成と物理現象を研究する「パターン形成物理」は神秘の謎にも迫る学問分野

「ある部分を拡大しても、それがもとの形と同じように見える幾何学構造」を「フラクタル」と呼びます。海岸線の地形、木の枝の成長、金属葉の振る舞いから、株価の変動や交通渋滞など、社会現象にまでその「フラクタル構造」は見られるのです。しかし、なぜ「フラクタル構造を持つのか」に関しては、まだまだ謎が多く残されています。こうした身近な物理現象を研究していくのが「パターン形成物理学」であり、「統計物理学」です。脇田先生は「バクテリアのコロニー形成」というテーマで、このパターン形成の謎に迫っています。その研究にはどんな目的と面白さがあるのか、脇田先生にお話していただきましょう。

### 「パターン形成物理」「統計物理学」が目指す研究の目的とは？

脇田先生が研究しているのは「統計物理学」という学問分野の中でも「パターン形成物理」というもの。具体的にはどのような内容の研究なのでしょう？

「私が中心に行っているのは、バクテリアが形成するコロニーの研究です。バクテリア単体はわずか数 $\mu\text{m}$ 程度と、光学顕微鏡がないと確認できない大きさですが、それが寒天培地上のように適度な栄養と水分のある環境では、増殖を繰り返すことによって差し渡し数センチ程度の肉眼で確認できる巨視的サイズのコロニーに成長します。しかもその構造は後ほど詳述する『フラクタル構造』を持つのです。

パターン形成物理の研究意図は大きく2つあります。1つには『身近な物理現象を解明する』というものです。物理学は素粒子物理のように小さなスケールを扱う分野から、宇宙物理のように大きなスケールを扱う分野まで、非常に広い範囲に及びますが、まだまだ私たちの身近なスケールの現象で解明できていないことは多々あります。

そこで身近なスケールの世界を分析することが1つ。そしてもうひとつは、自然現象や生命現象に見られる『フラクタル構造』の科学的な解明です」

### 物理現象、自然界や生命現象にも多い「フラクタル構造」の謎

脇田先生の研究内容を知る重要なキーワードに「フラクタル」という言葉があります。この「フラクタル」についてまずは説明していただきましょう。

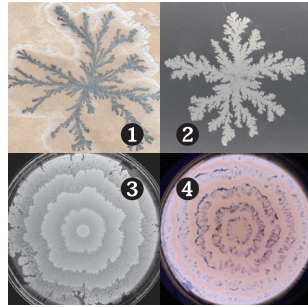
「フラクタルを手短かに言うと、『ある部分を拡大しても、それがもとの形と同じように見える幾何学構造』ということになります。フラクタル構造を持つ図形として有名なものに『コッホ曲線』というものがあります。インターネットなので検索すれば、すぐに絵が出てきますが、まるで雪の結晶のような図形になります。

コッホ曲線は幾何学図形ですが、物理現象や自然・生命現象にもフラクタル構造は多く見られるのです。

たとえば、『リアス式海岸』を思い浮かべるとよいでしょう。複雑に入り組んだ海岸線を縮尺の異なる地図で拡大してみても、同じように入り組んだ海岸線に見える。これもフラクタルの一例です。木の枝の成長における分かれ方もそうですし、私が研究しているバクテリアのコロニーなどにもフラクタル構造が見られる。その一方で、なぜそのような構造になるのか、はまだ謎が多いのです」

## 生物と非生物の間にも共通する パターン形成とは？

脇田先生が専門とする「パターン形成物理」では、ある種の幾何学構造を作り出す物理現象を研究します。「フラクタル」は、中でも「多様性」と「普遍性」が潜む神秘的なパターンの1つなのだそう。



▲1の金属葉と2の *Bacillus subtilis* が、共通の枝分かれパターンを見せている。また、3の *Bacillus subtilis* と4の別のバクテリア(大腸菌)でも、共通した同心円状のパターンを形成している。

「私は現在、バクテリアのコロニー研究を中心にしていますが、研究室ではこれまでに結晶の成長や、『金属葉』なども研究してきました。『金属葉』とは、硫酸亜鉛などの電解質溶液中に細い棒状の陰極をセットし、周りのリング状の陽極との間に直流電圧を加えると、金属亜鉛が陰極の先端から周りに向かって2次元的に成長することによって形成される、植物の葉に似たフラクタル的な特徴をもつパターンのことをいいます。

バクテリアでは、納豆菌の仲間として知られている枯草菌(*Bacillus subtilis*) を寒天培地上で培養すると、環境条件によってコロニーの形がいろいろ変わって、あるときは複雑に枝分かれしたフラクタル構造のパターンに成長し、あるときはぼつとした丸い形に成長し、あるときには周期的な同心円状のパターンに成長したりします。

同じ種類の菌でも環境を変えると、コロニーの形が様々に変わるのが見られる一方で、まったく個性が違う菌を使って実験すると、種類が異なるのでちょっと見え方は違うんですけど、同心円状のコロニーという点では共通性が見られたりする。つまり、多様性と普遍性が共存している、というところが非常に面白いと思っています。

さらに興味深いことは、金属葉の実験に見られるフラクタル的なパターンがバクテリア・コロニーにも見られるところです。生物系か非生物系かに係わらず、パターン形成過程のダイナミクス(動力学)は、同じだろうということが実験と数値計算を通してわかってきています。

フラクタルというのは、このように生態系、物理系の現象に見られるだけでなく、たとえば、株価の変動や交通渋滞といった社会現象にも見られる普遍的な構造なのです。

どうしてフラクタル構造をとるのかという謎は、まだ多く残っていますが、それだけに研究する面白さがあるわけです」

## バクテリアのコロニー形成に おける物理学的アプローチとは？

それにしてもコロニー研究とはいえ、観察対象がバクテリアであると、生物学の領域にも思えますが？

「それがこの研究の面白さでもあり、難しさでもあるわけです。観察する対象は生物ですが、目的はその生物が見せる集団的な振る舞いにあります。その意味では観察していて発見することも、物理学的発見と生物学的な発見が共にあって楽しいですよ。

たとえば、少量のバクテリアであっても、培養しているとやがて肉眼で見られるほどの大きさのコロニーになります。差し渡し5cm くらい大きさのコロニーについて菌数を単純に見積もると、80億匹弱ぐらいの菌がそこにはいることになるので、数だけで言うと地球上の人口を超えてしまうくらいの数のバクテリア集団の振る舞いを見ていることになります。顕微鏡を使って成長中のコロニーを観察すると、1匹1匹の振る舞いは複雑でとても規則性があるようには見えませんが、今度はこれだけの数の集団として遠くから見ると、そこにはコロニー・パターンとしての規則性が見えてきます。実は寒天濃度と栄養濃度の2つをパラメーターにして、バクテリアが住んでいる環境を変えることでコロニー・パターンの変化が引き起こされるのです。

そしてその結果、ある環境条件下でフラクタル的な特徴をもつコロニー・パターンが出来上がっているわけです」

こうした現象にアプローチをする場合、生物学的な見方と物理学的な見方ではどう違うのでしょうか？

「生物学的な見方では、たとえばバクテリアが出す分泌物に着目して、お互いに情報交換をすることによってコロニーが形成されているのではないかと、というようなアプローチがされますが、物理学的な見方では、コロニー形成を反応拡散系の動力学的なモデルとしてできるだけ単純に考えるようなアプローチをとります。ランダムウォークをしながら増殖を繰り返す、というようなシンプルなモデルをベースに実験観察とモデル・シミュレーションを比較しながら研究していくわけです。一見複雑な現象の中にも規則性や普遍性があることを見出すことが出来たとき、パターン形成物理の研究をとっても面白く感じます」



▲バクテリア1匹1匹の振る舞いやコロニーの成長の様子を観察・撮影する。

## Message ~受験生に向けて~

あこがれや目標を持つことは、とても大切だと思います。そして、それに向かって努力するプロセスが大事なのです。私が行っている研究活動にも、同じようなことが言えます。自分が目標に近づいているのかわからなくて、つらいことがあるかもしれません。でも、あとから振り返ってみると、案外そうでもないものです。近い目標と少し遠い目標、その先の夢などを、漠然と構わないので思い描くとよいと思います。