

物理学の目でみる日頃のできごと

小田 垣 孝

(九州大学大学院教授)

刑政 教養講座連載(一) 一〜二 二)

第一話 覆水盆に返らず

第一一二卷第十二号 九二頁〜九四頁

第二話 世の中は狭い

第一一三卷第一号 一〇八頁〜一一頁

第三話 大は小を兼ねる

第一一三卷第二号 九八頁〜一頁

第四話 悪事千里を走る

第一一三卷第三号 一一四頁〜一一六頁

第五話 ざるに水

第一一三卷第四号 一六頁〜一八頁

物理学の目でみる口頃のどきどき

小田垣 孝

(九州大学大学院教授)

第一話 覆水盆に返らず

振り返った拍子に、腕に当たったコップがひっくり返り、飲み物を全てテーブルの上にこぼしてしまったという経験は多くの方がお持ちのことと思います。こぼれた飲み物は元に戻せないで嘆かれるのは必定です。特につがれていた飲み物がコニヤックや越後の銘酒のような貴重なものであれば、その失敗はいつまでも覚えておられることでしょう。古よりこのことはよく知られていたようにして、「覆水盆に返らず」ということわざになっています。^(注)このことわざは、一度起ってしまったことは自然には元に戻らないことを端的に表しています。似かよった内容を表す「落花枝に帰らず」「や」破鏡再び照らす」ということわざもよく用いられます。

これらのことわざは、自然現象の一種の方向性を表しているものとも見なすことができますので、私たちは知らず知らずその方向性を認めているものと思われれます。実際、映画を見ているときに、テーブルにこぼれていた水が独りでに倒れたコップに入り、さらにコップが立ち上がるようなシーンがあれば、誰もこれはフィルムを逆回しているのだと思われることでしょう。アラジンの魔法のランプの威力も、空気中に流れ出していた煙がまじないによってランプに吸い込まれるからこそ想像されるのです。

「臭い物にふたをする」ということもよく言われますが、容器の中の匂いは、ふたがないと自然に流れ出てしまうので、それが流れでないようにするためにはふたをしておく必要があるということです。から用いられる比喻です。

話は変わりますが、サッカーのtotoがいよいよ販売され、すでに何人もの一億円の賞金を当てた人もおられるようです。宝くじは、江戸時代からあった(明治時代から昭和十年代終盤までは禁止されていた)ものですが、庶民のささやかな夢ということができるといえます。さて、宝くじ売り場に行くと同じ組の11111111と1471153の二枚しか残っていなかったとしましょう。どちらかをかうとした場合、間違いなく誰もが後者の方を買われることでは

う。よっぽどへそ曲がりの人でない限り、その様になると思います。そして、

「どっちの方が当たりやすいですか」

と尋ねますと、必ず

「こちらの方が当たりやすいそうだから」

という答が返ってきます。

宝くじは、どの番号も全く同じ確率で当たるはず（あるいは当たらないはず）であることは誰もがご存知なのですが、一二三三三三三三という番号はまず当たらないと思う人ばかりです。それは、一二三三三三三三のような規則的な数字が当たったためしがないし、またたために決められるはずの当選番号がそんな規則的なものになるはずがないと信じられるからです。全く同じ確率で当たるはずの数字の組み合わせでも、たまたま数字の方が当たりそうに思うのはなぜでしょうか。

これは私たちが、数字の並び方に一見して分かるような特徴があるかないかを見て取り、それによって数字を区別していることによっています。宝くじは、一つの組について十萬種類、百の組を考えますと一千万種類の番号があります。それらの番号を、一二三三三三三三のようなすぐ分かる特徴のあるものと一見して特徴のない番号に分けますと、圧倒的に後者の方が沢山あります。実は、一見規則性がないと思っても、例えば四の次が七で、七の次が一でその後が五などと指定しても良いわけですが、多くの条件を用いて指定されるような数は普通は特徴があるとは言われません。さて、宝くじのあたり番号は、可能な番号の中から全くでたらめに選ばれるように工夫されています。その番号には、特徴のない数字の組が圧倒的に多いわけですから、あたり番号は常に特徴のない数字の組から出るように見えるわけです。これが、私たちがいつも「規則的な番号は当たるはずがない」と思っている根拠です。宝くじの番号の各桁の数字を詳しく指定するというのは、いわば数字の組を微視的に見るということになります。一方、数字の全体の特徴で区別するというのはその数を巨視的に見ると言って良いでしょう。そして、いくつかある巨視的な状態の中でどれが出現しやすいかは、その巨視的な状態の中にある微視的な状態の数によっています。つまり、微視的な状態をもっとも沢山含む巨視的な状態が最も出現しやすいというのが自然法則であると言つてことができます。

物理学の方では、この自然法則のことを「エントロピー増大の法則」という法則で表しています。ある系の巨視的に指定された状態のエントロピーは、その巨視的な状態の中で系が取るこ

とのできる微視的な状態の数が多くなればなるほど大きくなる量として定義されます。(正確には、微視的な状態の数の対数に比例するように定義されます。)そして、「エントロピー増大の法則」は、自然界では常にエントロピーが増大する方向に変化が起こるということを主張するものです。あるいは、不規則なものほどエントロピーは大きくなりますので、「自然現象は常に不規則性が増す方向に進む」と言ってもよいでしょう。自然現象は、外から何らかの操作をしない限り、逆の方向には進まないのです。上で述べました覆水盆に返らずの例も宝くじの例もこの法則を表しているものと見ることができます。

私たちは、経験的に自然界で起こるこの方向性を知っています。しかも、時間の経過とともにエントロピーの増える方向に変化が起こると信じています。しかし、時間の進む方向をどのように定義すればよいかは自明な事ではありません。ホーキング博士の考え^(注1)によりますと、時間の進む方向として三つの方向を考えることができます。一つは、エントロピーの増加していく方向すなわち不規則性が増す方向です。これは熱力学的な時間の方向です。第二のもの、私たちの心理的なものです。私たちは、常に過去をある順序に従って覚えており、それが時間の向きを定めます。最後に、宇宙が膨張していく方向として定義される時間の矢印が存在します。心理的な時間の方向、熱力学的な時間の方向は、上で見ましたように一致していると考えてよいでしょう。宇宙論的な時間の方向は、私たちがこの世に存在できる事を保証するものであると考える事ができ、結局これらの三つの時間の方向は全て一致するものと考えられています。

(注1) 中国の周の時代、呂尚という人は、本ばかり読んでいたので妻から愛想を尽かされ、離縁されました。後に呂尚が出世したのを聞き、元の妻が復縁を求めましたが、呂尚は盆の水をひっくり返して、「この水を元に戻せたら再婚してもよい」と言ったという故事によります。

(注1) S. W. Hawking "A Brief History of Time" (Bantam Books, New York, 1988).

物理学の目でみる口頃のじぎじ

小田垣 孝

(九州大学大学院教授)

第二話 世の中は狭い

パーティーなどに出かけて、全く知らない人と知り合いになるのもまた楽しいものです。初めて出会った人との会話を弾ませるのは難しいものですが、そのようなときに会話のきっかけを与えてくれるのが共通の知人を探すということなのです。

「どちらの大学のご出身ですか。」

「K大です。」

「ほう、それはすばらしい。何学部におられたのですか。」

「S学部です。」

「お見かけからして一九八十年頃のご卒業ですか。」

「いえ一九六八年です。」

「お若く見えますね。S学部といえば、確かXX先生がおられたではありませんか。」

「ええ、先生の講義を聴きました。XX先生をご存知ですか。」

「実は、私の知人が先生の近くに住んでおりましてね。知人のところに行った折りに、よく先生にもお会いしまして、いろいろと話をさせてもらっております。」

「へえー、そうですね。私も先生とは時々お目に掛かって、今もいろいろ教えていただいております。」

「そうですね。世の中は狭いですね。」

「そうですね。本当に世の中って狭いもんですね。」

「・・・」

「このような会話はよく見かけるものです。それぞれの人の世界の広がりの中で、何らかの共通のものを見つけ出し、「世の中は狭いですね」という結論に落ち着くわけです。本当のところはむしろ逆で、「世の中は狭い」といえるような共通の知人や共に行ったことのある外国などを探すように会話が進められているのかもしれない。外国でもこのことは共通しているよ

でして、共通の知人があつたりすると「It's a small world.」といふうちに言われます。

ここで注目しておきたいのは、「狭い世の中」の原因となった共通の知人から見れば、その人の知り合いの中の二人がパーティーで出会って、互いに知り合いになったということです。人と人のつながりは、他にも私たちの生活の中で極めて様々な働きをします。直接知らない人（Aさんとしましよう）に何か尋ねたいことやお願いしたいことがありますと、私たちは普通Aさんを知っていそうな人を探します。そして、その人にAさんを知っているかを尋ねます。もし知っているなら紹介をお願いします、知らないなら誰かAさんを知っている人を紹介してほしいと願います。普通は、二人ほどを介せば、目的の人に紹介してもらえようになります。あるいは、最大二人ほどを介して目的の人にたどり着けるような知り合いを探すと言つのが、実際に取られる行動であると言つた方が良いのかも知れません。

人と人とのつながりが生かされるもつとも典型的なものは、見合い結婚でしょう。花婿候補を知っている人と花嫁候補を知っている人が互いに話し合つて、二人を見合わせます。目出度く結婚が成立しますと、新郎・新婦の間は二人の人を介してつながつたことになります。

このような特徴をもつつながりの研究がここ数年大変盛んになってきています。^(注)つながりをもつ少し抽象的に考えて、多くの点を用意し、それらの点と点の間を線で結びます。線の数が増えますと互いにつながつた点の群れがだんだんと大きくなります。引かれた線の数が、点の対すべてを結ぶほど多くはなく、かつどの点も群れから外れていることがない程度には多いものとしましよう。このような系のつながり方を特徴づける量として、特性距離と群れ係数という量が大切な役割をします。

特性距離は次のように定義される量です。まず、任意に二つの点を選びます。その一つの点から出発して、つながりをたどつて他の点に行くことにします。このとき、道の取り方によって、通過しなければならぬつながりの数は、異なりますが、そのもつとも少ないものを考えます。そしていろいろな点の組み合わせについて平均した量が特性距離です。特性距離は、できるだけために線を引いた方が小さくなり、線の数が上で述べた程度るときは、特性距離は大体三から五の間になることが知られています。お見合いのときには、二人の人を介していましたから三つのつながりを通つたことになりましたが、これが特性距離を表しているといつてよいでしょう。

一方、群れ係数は上で述べた知り合い関係と関連した量です。一つの点を選び、それに直接

つながっている点を考えます。例えば、それらが五個あつたとしましょう。これらの五個の点の間には、最大十本の線を引くことができます。実際に引かれていた線の数が例えば六本であつたとき、その点の群れ係数を六十パーセントとします。この割合をすべての点について平均したものをその系の群れ係数と定義します。向い三軒両隣だけが知り合いであるというように、近くの点だけをつないだ系では、群れ係数が大きくなります。最初の例で、パーティーにおいて共通の知人を見つけたということを出して下さい。共通の知人の方から見れば、その人の知り合い二人が互いに知り合ったということになり、共通の知人の群れ係数が増えたこととなります。

特性距離が小さく、かつ群れ係数が大きいつながり方をもつ系は「小さな世界」と呼ばれています。このつながり方が「狭い世の中」に対応する点のつながり方なのです。

昨今携帯電話が出回り、多くの人が利用しています。携帯電話の広告では、「人生につながっている」「つながっているXXモード」などよくつながりが強調されています。携帯電話のつながりによる人と人とのつながりは、「小さな世界」を形成しているものと思います。数人を介せば直接知らない人にも連絡できます。また、一人の人の携帯電話に登録されている人どうしが、互いに携帯電話の番号を交換している割合はかなり大きいものと考えられます。

実際に「小さな世界」が確かめられたものは沢山あります。一つは、ハリウッドの映画俳優の共演関係です。つまり、映画で共演したことがある俳優につながりがあると見立て、ある俳優と共演したことがある俳優について、互いに共演したことがあるかを調べた記録があります。この結果、ハリウッドの俳優の群れ係数はかなり大きく、かつ特性距離は比較的短いことが知られています。

このような人と人とのつながりだけでなく、送電線のネットワークやコンピュータのネットワークなども「小さな世界」の構造をしていることが示されています。また、脳の中の神経のつながり方も「小さな世界」になっているのではないかと推察されています。

地球上のどの二人をとっても、最大わずか六人を介して互につながっているといわれています。それでもなお互いに理解できないことが多いのはどうしてでしょうか。

(註1) D. J. Watts, "Small Worlds" (Princeton University Press, Princeton, 1999).

物理学の目でみる日頃のできごと

小田垣 孝

(九州大学大学院教授)

第三話 大は小を兼ねる

イタリア時間六月二十四日午後九時五十分、JAL四一八便は高鳴るエンジン音とともに離陸し、夕日が沈んで間もないミラノの空を日本へ向けて飛び立ちました。機体はボーイング七四七、席は満席です。およそ二百トンの重量をその翼で支えて、旅客機は夕暮れの迫る空を駆け上がっていきました。飛行機に乗ってこの文章を書いています私自身、これほどの重量のものがどうして空を飛べるのだろうかといつも不思議に思っています。実際、翼を揺らしながら緩やかな角度で上昇していくジャンボ機を見ますと、誰しもこんな重いものがよく空を飛べるなあと思議に思われることと思います。

一方、子供の頃には折り紙の飛行機をつくり、運動場などでよく飛ばして遊んだものです。この小さな紙飛行機の投げ出された後の軌跡が小石のものとは異なっていますので、紙飛行機も確かに空気から揚力を受けていることが想像できます。

ジャンボ旅客機と紙飛行機が空気から揚力を受けるのは全く同じ原理に基づいています。飛行機が空気中を飛びますと、その翼の上側を流れる空気の速さが下側の空気の流れる速さより速くなり、翼の上側の圧力が減ります。この翼の上側と下側の圧力差から揚力が生じます。揚力の大きさは、およそ翼の大きさと飛行速度の二乗に比例することが知られています。つまり、翼面積が二倍になれば揚力は二倍になり、飛行速度が二倍になりますと揚力は四倍になるわけです。また、揚力はこれ以外に翼の形状にもよります。フラップは、翼の前縁や後縁につけられた揚力を増す装置です。ジャンボ旅客機は幅がおよそ六十メートルあり、時速三百キロメートルで数百トンの揚力が出るようになっています。確かに離陸速度では最大離陸重量以上の揚力があり、乗客は安心してよいのです。

紙飛行機を飛ばすとき、その速さは毎秒数メートル位です。A4のコピー紙を折って作った紙飛行機の翼の面積はおよそ百三十平方センチメートル、重さはおよそ五グラムです。このとき得られる揚力は数グラムですので、紙飛行機の運動に影響を与えるのに十分なものであるこ

とが分かります。

物理学の法則は、このように大きさの違うものにも同じように適用される場合がほとんどです。逆に言いますと、それ程大きさの違うものにも適用できるからこそ、物理学の法則と認められていると言っても良いのかも知れません。大きなものから小さなものまで普遍的に成り立つ法則を見つけることこそが物理学の目標です。

物理学の法則で最もよく知られた法則の一つは、地球上で投げたボールがどのような軌跡を描くかを完全に予測するニュートンの法則です。この法則は、ボールの運動だけでなく、地球の周りを回る人工衛星の運動、太陽の周りを回る地球の運動や七十六年ごとに太陽に近づくハレー彗星の運動も正しく表すことができます。しかし、注意しておかなければならないのは、ニュートンの法則は必ずしも万能ではないことです。実際、ニュートンの法則は原子や分子のミクロな世界の性質を表すのには不十分であることが知られています。

大きなものと言えば、陸上で生活した最大の生物である草食恐竜があります。中でもティプロドクスは、全長が二十七メートル、重量はおよそ十五トンあったようです。その首の長さだけでも四・四メートル、その重さは一・三四トンもあったと想像されています。(注)これだけの重さを支えるために恐竜の首は特別なもので出来ていたのでしょうか。現在地球上に生息する動物と同様に、首の重量を支えているのが主として頸椎の後部にある後頸靭帯であったとしましょう。この靭帯は、現存する動物では弾力のあるタンパク質で出来ており、引つ張ると二倍くらい伸びるものです。ティプロドクスの首の重さがその付け根に及ぼす効果は、ちょうど二・二メートル(重心の位置)の棒の先に一・三四トンのおもりをつけたのと同じことです。首の断面を見ますと、靭帯は首の中心からおよそ四十センチメートルほど離れたところにありますので、靭帯には七トン(1.34×2.2/0.4)ほどの力がかかることとなります。靭帯の断面積はおよそ四百平方センチメートルとしますと、一平方センチあたり十七・五キログラムの力加わっていることとなります。この値は、鹿が首を垂れたときに後頸靭帯にかかる力一平方センチメートルあたり六キログラムよりおよそ三倍大きいものですが、頸椎のまわりの筋肉も首を支えていたものと考えられますので、恐竜の後頸靭帯と現存する小さな動物のそれとはほぼ同じもので出来ていたと考えて良いと思われています。

話は跳びますが、肉眼で見ても、虫眼鏡を通してみても同じような構造に見えるものがあります。つまり区別できるぎりぎりの大きさをいろいろと変化させても、同じように見える構造

をもつものです。例えば、木の枝を考えましょう。細かい枝が見えないような遠くから見ますと、大きな幹とそこから出る多くの太い枝が見えるだけです。近づいてその太い枝を見ますと、先ほどと同じようにそれより細い枝が沢山出ているのが分かります。さらにその枝を見るとまた小さな枝が出ています。私たちの体内の血管のつながり方や肺の中の気管支の分岐も同じような構造をしています。口から肺につながる気管は気管支に分かれ、気管支は肺門のところで葉気管支に分かれる、さらに葉気管支は区気管支に、区気管支は細気管支に、細気管支は呼吸細気管支へと分岐しています。このような直線的なものだけでなく、平面や立体的なものにもこのような構造をもつものがあります。例えば、リアス式の海岸や雲の形などはその典型的なものですし、流れる水の中にできる渦や高分子の構造にも見られることが知られています。見る尺度を変化させても、構造が変化しない性質は自己相似性と言われています。

このような構造をもつものはフラクタルと呼ばれていますが、自然界でよく見かけるものです。フラクタルは、フラクタル次元という量で特徴づけることが出来ます。例えば正方形の紙を考えましょう。辺の長さを二倍にしますと重さは九倍になります。辺の長さを九倍にしますとその重さは八十一倍になります。つまり重さは辺の長さの二乗に比例しているわけです。今辺を三倍にすると共にその九分の一を取り去って、質量が八倍にしかならないようにし、この操作を繰り返したとしましょう。このようにすると質量はもはや辺の長さの二乗には比例しなくなります。詳しい計算^(註1)によりすると、このときは質量は辺の長さのおよそ 1.89 乗に比例するようになります。この指数 1.89 のことをこの図形のフラクタル次元と呼びます。三次元のものであれば、普通のものの質量はその大きさ(長さ)の三乗に比例しますが、フラクタル構造をもつものは三より小さなべき乗に比例します。人間の身体がもしフラクタル構造をしていれば、バスタやヒップが一割増えても、体重は三割増えることはなく、女性の方の悩みも少しは和らげられるのかも知れません。

(註1) R. M. Alexander, "Dynamics of Dinosaurs and Other Extinct Giants", (Columbia University Press, New York, 1989) 「邦訳:『恐竜の力学』坂本憲一訳(地人書館、一九九一)】

(註2) $\log 8 / \log 3 \sim 1.89$ と計算された。

小田垣 孝

(九州大学大学院教授)

第四話 悪事千里を走る

「ね、ね、知ってる。XXが結婚するんだって。さっきテレビでやってたよ。」

「へえー、知らなかったわ。A子は知っているかな。電話してみようか。」

「もしもし、A子。XXが結婚するって知っている？」

「本当？ 全然知らなかったわ。」

「すごいでしょ。B子にも電話しておくね。」

「・・・」

というように、テレビで流されたニュースは口コミでどんどん広がっていきます。特に政治家の汚職や凶悪事件など悪いことは、瞬く間に日本中に伝わります。インターネットもテレビもラジオも新聞もなかった頃には、多くの情報が口伝に伝えられ、広がっていきました。そんな頃にも、悪い行いや評判はすぐに世間に知れ渡ったようでした。「悪事千里を走る」ということわざが知られています。「好事門を出です」と言われるように、よい行いはなかなか世間には広がらないようですが、悪事の伝わり方は驚くほどです。

地下鉄サリン事件の後、異臭には全ての人が神経をとがらせていたものと思います。そんな状況にあった一九九五年四月に横浜駅で異臭事件がありました。事件は多くの人が知るようになりますが、調査によりますとほとんどの人が事件のことを他の人から口伝に聞いて知ったということです。つまり、事件の情報は人から人へと口コミで伝わったと言つことです。もちろん事件はテレビでも放送されたわけですが、それを見た人よりも口コミで聞いた人の方が多かったと言つことです。

先日渋谷の街角に多くの人が立ち、同じ本を読むという方法による本の宣伝が行われました。それを見た人がその本を買い、その本を電車の中で読んだとします。たまたまその人の横に座った人が興味を持って、またその本を買うということも起こります。このようなことがどんどんと繰り返されると、その本はベストセラーとなるわけです。「このような宣伝法は、

口コミ宣伝法と呼んでもよいものです。口数の多い数人のおばさんに、商店街である商品の宣伝をしたら、商品によっては効果対費用において新聞広告やテレビ広告よりはるかに効率が良いことが知られています。

ところで、一人の人が平均何人の人に影響を及ぼすと、それが人づてに伝わって、どんどんと広がっていくのでしょうか。このようなつながりの問題を扱った理論⁽⁵⁾によりますと、およそ四・五人以上に一人の人から情報が流されることが繰り返されずと、遙か彼方までその情報が流れることが知られています。「悪事千里を走る」は、まさにこのことを表していると言っているでしょう。悪事がひどいものであればあるだけそれを聞いた人は、多くの人に知らせようとします。当然四・五人よりはるかに多くの人に「ね、ね、知ってる？」とその情報を伝えます。それを聞いた人も、また多くの人に「悪事」を伝え、これが繰り返されて、「走る」ように遠くまで伝わって行くわけです。

このことを利用した古代の軍事戦術があります。「反間の計」とよばれるもので、秦の始皇帝もよく用いたと言われています。これは、適地の中にスパイを送り込み、あらぬうわさを流して社会不安を引き起こし、そこに攻め込むという計略です。情報の伝達が入つてに限られていた時代のことですから、あらぬうわさの信憑性を確かめるすべもなく、人々は不安にかられて、少しの物音にもパニックになったものと想像されます。

日本においても同じようなことが起こったことを示す有名な話があります。一一八一年十月中旬富士川河口付近で平家と源氏が戦いました。平家遠征軍の総大将平維盛は西岸に陣を敷き、源氏の大将源頼朝は富士川近くまで兵を進めていました。戦いの主導権を握っていた甲斐源氏の一族の武田信義の軍が、二十日夜半平家の背後に進出しようとした。そのとき多数の水鳥が驚いて飛び立ち、その羽音を聞いた平家の武士達は、源氏の大軍が攻め込んだものと錯覚し、あわてふためいて逃げ帰ったということです。源氏側が「反間の計」を用いたかどうかは定かではありませんが、大軍が来るといううわさが平家の武士達の間流れ、浮き足立っていたものと思われまます。

同じようなことは、四半世紀ほど前の石油危機のときにも起こりました。誰もとなく言われ出した「石油が高くなるとトイレトペーパーがなくなる」といううわさが巷に流れ、日本人たちが狂奔したことはまだ覚えておられる方も多いことでしょう。現代では、マスコミによる報道が逆に人々の不安に油をそそぐといつこともあつたつたつた。朝日テレビのニュース

キャスターのダイオキシンに対する不用意な一言が、農家に多大の損害をもたらしたことは、まだ記憶に新しいところです。

街で見掛ける高校生や若い女性のファッションの変化の速さには驚かされます。ほとんどすべての高校生が着用していたルーズソックスが突然見られなくなったり、股上の浅いジーンズを着る若い女性が急に増えたりと、ファッションにはめまぐるしい変化が見られます。ファッションも、先に述べました「悪事千里を走る」と同じことです。数人のグループが、奇抜な衣裳で街を歩いたとします。それを見た人数人が、「かわいい」と思って、同じ衣裳を着たとします。さらにそれを見た人が・・・ということが繰り返されますと、その衣裳が大流行となるわけです。

このように社会の中に広がっていくものはうわさやファッションだけではありません。伝染病や火災なども、発生した場所から次々と広がっていくことが可能です。これらの場合は、比較的近距离のところのみ広がっていくわけですが、やはり近隣にある程度異常が伝播しますと、それが無限に遠くまで広がることが知られています。

このような現象は、物理学の中ではパーコレーション（浸透）と呼ばれています。一つのものがある確率で周りに影響を与え、その確率がある値を超えるとその影響が無限に広がります。この臨界的な値のことを臨界浸透確率あるいは閾値と言います。人のうわさの場合も、うわさに対する人々の関心が低ければ、周りの人に伝える数が少なく、閾値を越えないわけですが、人々の関心が高ければ高いだけ閾値を大きく越えることになって、瞬間にうわさが遠くまで伝播するわけです。

パーコレーションの考え方は、物理学だけでなく、あらゆる分野で用いることのできる極めて普遍的な考え方です。宇宙における星雲の生成、集団遺伝学、材料科学、さらには地震発生メカニズムにもこの考え方が応用されています。これほど適用範囲の広い考え方は、自然科学の中で他には類を見ません。私たちの身の周りのできごと、パーコレーションの考え方で理解できるものが沢山存在します。

(注一) 小田垣孝「つながりの科学」(ポピュラーサイエンス二一六、裳華房、一一)

物理学の目でみる口頃のどきどき

小田垣 孝

(九州大学大学院教授)

第五話 ざるに水

ざるで水をくめないことは子供でもよく知っています。安来節にできますどじょうすくいも、ざるから水が漏れてくれるからこそ、ざるでどじょうがすくえるのです。ざるには水を透過させる空隙が通じているわけですが、ざるを作る竹もまたしっかりとその構造を保っています。

ざるのように立体的な形を保ちながら多数の孔のつながりが全体に広がった構造をもつものは、自然界に沢山存在します。例えば、海綿や軽石などです。これらもまた水を通すことから、一つの表面からその反対側まで空隙がつながっていることが知られますが、容易にくずれない構造を保っているわけですから、それを作る物質もまた全体がつながった構造をしていることが分かります。

二次元の空間を物質でたらめに埋めていくとき、その体積分率がどれくらいになればその物質の全体につながった構造が出来るのでしょうか。これまでの詳しい研究によりますと物質の体積分率がおよそ十六パーセントを越えると、その物質全体がほぼ一つにつながった大きな構造になることが分かっています。^(注)逆に空隙の方から言いますと、物質の体積分率が八パーセントを少し超えるまで、空隙の方もほぼ一つにつながっていることになりました。すなわち、物質の占める体積分率が十六パーセントから八十四パーセントという広い範囲にわたって、物質と空隙両者がそれぞれつながった構造を持ついわゆる双連結構造ができるわけです。

地中海地方の港街にある店の軒先に大きな海綿が吊るして売られているのをよく見かけます。その海綿の表面を見ますと、無数の小さな穴と、比較的少数の大きな穴が開いているのが分かります。海綿は、プラנקトンを含む海水を小さな穴から体内に取り込み、大きな穴から排泄するのですが、その途中にある襍細胞と言われる部分でプラנקトンをこし取って栄養源にしています。海綿はもともと下等な生命体の一つですが、双連結構造を巧みに利用してその命を保っているのです。

自然界で見られる双連結構造のもう一つの例として、白蟻の生態をあげることができます。日本にいます家白蟻は、乾燥に大変弱く、常に地中に戻って水分を補給しなければなりません。白蟻は、地面に建てられた柱を地中から食べ始め、どんどん上の方まで食べていきます。端から完全に食べ尽くしますと、そのうちに地面から届かなくなってしまう、それより上に進めなくなります。白蟻は柱の内部の硬い部分を残して、柱の一応の構造を保たせながら、どんどんと上の方に食い進みます。まさに、蟻道と残された部分が双連結構造になっているわけです。このような柱は一見元のままのように見えますが、極めてろく、簡単に倒壊してしまいます。

双連結構造は、私たちの身の回りでもいろいろと応用されています。一九六四年に登場しました印肉の要らないはんこは、この双連結構造を巧く利用したものです。はんこの面はゴムで出来ているわけですが、押さえても形がくずれない程度に直径・一ミリメートル以下の孔が沢山開けられています。その奥にあるベース部には直径・二五ミリメートルより小さい孔が開けられており、その孔は内部のインキ吸蔵体と接しています。はんこが押されますと、これらの孔を通してインキが印字面からにじみ出て、印が押されることとなりますが、はんこ面の形はくずれません。

最近の高速道路でよく見かけるようになりました排水性舗装も、双連結構造を利用したものです。大きさのそろった碎石を接着剤でつなぎ止め、それらの間に隙間を作ったまま固めてあります。アスファルトの強度を十分保つような碎石のつながりがあると共に、雨水が隙間を通過して道路の下に設けられた排水溝に流される仕組みになっています。碎石と空隙の全体に広がったつながりが共に存在するからこそこのような構造が可能なのです。

二次元の平面上では、双連結構造は可能でしょうか。平面を二色のペイントでためめに塗り分けたとします。片方の色の部分が上下左右両方向につながった構造をしていますと、他の色の部分は広がったつながりを作ることはいけません。これが、国土開発により野生動物が被る悲劇の原因です。国土開発により森林や草原が切り拓かれ、道路が縦横に造られますと、道路はつながったネットワークを作ります。したがって、必然的に野生動物の生活圏である森林などが分断されますので、生活圏を移動する動物達は道路を横切ることになります。道路脇に立てられた動物注意の交通標識があっても、交通事故に遭う動物があとを絶たず、動物の悲劇がなくなるらないのです。

同じ大きさの円板を平面上にでたらめにおき、その円板のつながりを考えてみましょう。円板で占められた部分と残りの部分は形状が異なりますので、両者は対称的ではありません。実際、そのつながりの研究から、円板の占める面積が全体の四十五パーセントあれば、円板の左右上下方向につながった広がりができることが知られています。(注一)この値は、臨界浸透面積分率とよばれます。

二次元の面上のつながりの例として、天道虫の模様を考えてみましょう。私たちがよく知っている天道虫は、七星天道虫です。七星天道虫は、黄色の地模様に黒い点が七個ついていきます。草むらをよく見ますと、七星以外にもいろいろな模様をもつ天道虫を見つけることができます。黒地にオレンジ色の点が二個のものや四個のものも見られます。これらのものは、黒の点の数が増えていって、地模様が黄色から黒に変わったものと見ることができます。天道虫の背中を簡単に円板と考えますと、黒い点の占める面積がその四十五パーセントくらいのところで地模様の逆転が起こるものと予想されます。天道虫の背中の半径を五ミリメートル、黒点の半径を一ミリメートルとしますと、黒点の数が十一個位になりますと地模様の交代が起こることになります。実際、草むらで見られる十二星天道虫を見ますと、どちらが地模様なのかを言うのが難しいことに気がつきます。

つながりに着目して自然現象を眺めてみますと、いろいろな現象を簡単に理解できます。このシリーズで何度か触れましたように、社会現象もつながりに着目した新しい視点から考察することもできます。全く異なった現象の中に、つながりという共通の概念が存在したことになります。このような普遍的な法則や概念を構築することが物理学の目指すところです。

(注一) 小田垣孝「つながりの科学」(ポピュラーサイエンス二一六、裳華房、一一)