



写真1 植物の葉の出方には規則がある。その規則は植物の生命力の表れと言ってもよい

写真3

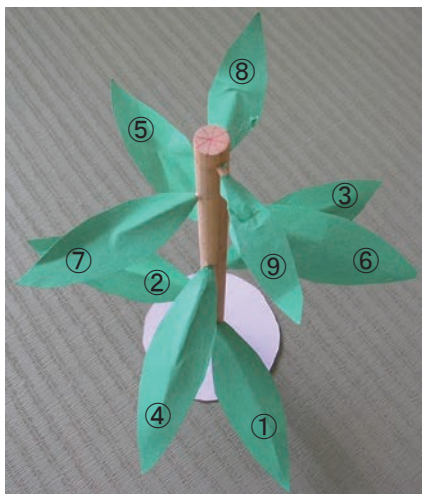
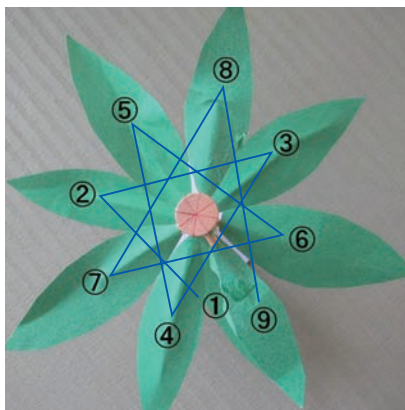


写真2



葉に下から順に番号を付けていくと、不思議なことに気がつく。写真2のように、植物はできるだけ葉が重ならないように葉を出している。番号を結んでみよう

特集 らせん、神秘の形

自然界のらせん

—— らせんとは、どんな形か？

文・写真／上村文隆

自然界にはさまざまな

「らせん」の形があります。

優美な、あるいはダイナミックな

らせんの形は、なぜ生まれるのでしょうか？

その理由と法則性を、数学的視点から

解き明かしていきましょう。



写真4 ネジバナのらせん

植物の形の不思議

春になると大地から湧き出るように草花が出てきます。林の中に咲くカタクリ、畦に咲くタンポポ。カタクリとタンポポには共通した特徴があります。それは、背が低いということです。背が低いので、背の高い植物がまだ出てきていない早春に花を咲かせるのです。木の葉が出る前の林の中で、他の草が背を伸ばす前の畦で、太陽の光をいっぱい浴びて花を咲かせ、種を作るのです。

植物のエネルギーは光合成によってつくられたデンプンです。植物にとって太陽の光は無くしてはならないものです。

植物の形態——花の形、葉や枝の芽の出方などは、太陽の光を効率よく取り込むように進化してきました。その進化の究極の形として、私たちに美しさとは何かを教えてくれています。

植物は太陽の光を取るために、基本的に上に向かって伸びますが、幹を中心

に、上から見て点対称に葉や枝を出します（写真1～3）。その時、ネジバナの花のように「らせん」を描きながら、葉や枝を出していきます。そして、このネジバナの渦巻き（写真4）の美しさこそ、「らせん」が生み出したもののなのです。

植物のらせん

植物は太陽の光をできるだけ効率よく吸収しようとします。そのためには、自分の葉と葉が重なってはいけません。効率よくありません。葉をできるだけ重ならないようにするには、どうしたらいいのでしょうか。

例えば、写真2の番号①②③…を結んでみましょう。すると星形のような図を描きます。ぴったり星形五角形になるとすれば、①と②の間の角度は360度÷5×2=144度になります。

このように、植物は渦を巻きながら葉を出しているのです。

この時、葉が完全に重ならない角度があります。その角度は137.5度で、これを黄金角といいます。茎が成長するにつれて、芽をこの黄金角で順番に出していくと、写真3のような葉が重ならない形ができます。

同じような構造が、松かさ（写真5）にも見えます。松かさを下から見ると、渦が見えてきます。渦は右回りと左回りの「らせん」を描いており、この渦を「アルキメデスらせん」といいます。

右回りの「らせん」の本数は8本、左回りの黄色い「らせん」の本数は13本あ

ります。8や13は、1、1、2、3、5、8、13、21、34、...と続く特別な数列の中の数です。この数は前の二つの数を足して生まれてきます。数も成長しているのです。この数をフィボナッチ数といいます。写真6のサボテンの「らせん」の本数は13と21です。図1「ひまわりの模式図」のらせんの数は、21本と34本です。

フィボナッチ数は、...13、21、34、55、89、...と続き、隣同士の数の比は、黄金比である 1.618 に近づいていきます。黄金比は、名刺の縦横比からバルテノン神殿まで、さまざまなところに使われています。そして先ほどの黄金角は、 $360 \div (1.618 + 1)$ で求めることができます。

カリフラワー（写真7）には中心があります。この中心から「らせん」が渦を巻いています。パイナップルも「らせん」を描きます。パイナップルは、花が「らせん」を描いて出てくるので、果実は「らせん」になっているのです。

自然界にある二つの「らせん」

植物に限らず、自然には多くの「らせん」があります。では「らせん」とはどんな形なのでしょうか。一言でいうと、ネジバナの花のように渦を巻いているものです。

自然界の「らせん」を大きく分けると、植物がつくる「らせん」と、動物がつくる「らせん」の二種類に分けることができます。どちらも数式にし、グラフに描くことができます。

植物が成長する時、成長の速度はおおよそ一定です。一方、動物の場合は大きくなるにしたがって、成長の速度も増します。幹や茎の軸を中心に回転しながら芽や葉を出す植物は、芽や葉の出た後をたどると、図2のような曲線を描きます。芽は左下の中心から外側へ、左回転しながら一定の角度で出てきます。角度が大きいと、とぐろを巻きます。

この「らせん」を研究した古代ギリシヤのアルキメデスの名前をとって、「アルキメデスらせん」と言います。ちなみに蚊取り線香の渦もこの「らせん」で、幅が等間隔です。

一方、動物のつくる「らせん」は「等角らせん」といい、また詳しく調べた人の名前から「ベルヌーイらせん」ともいいます。この「らせん」は、図3のように、放射線となす角度がいつも等しくなっている曲線です。

二つの「らせん」は、同じように渦を巻きますが、形は異なっています。

例えば、写真6のサボテンの棘は、らせんを描きながら並んでいます。棘をたどっていくと「アルキメデスらせん」（青と水色の曲線）になります。ちなみに、赤で描いた「等角らせん」は、角度をどのように調節しても棘と一致しません。

動物のつくるらせん

動物のつくる「らせん」を「等角らせん」というのは、成長しても角度（形）が変わらないからです。図3では、赤い

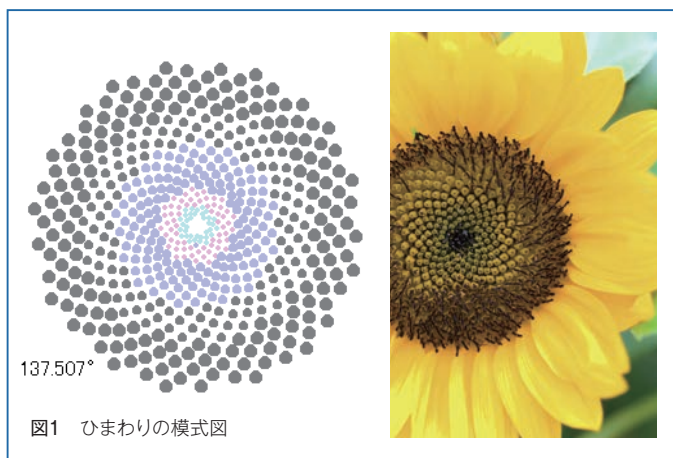


図1 ひまわりの模式図



写真5 松かさのらせん（左回り＝黄色）

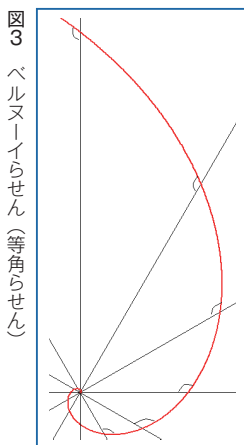


図3 ベルヌーイらせん（等角らせん）

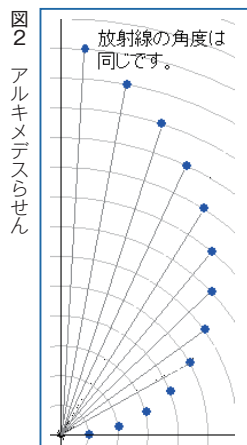


図2 アルキメデスらせん

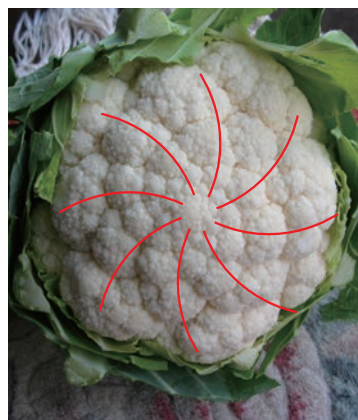


写真7 カリフラワーは蕾がらせんを描く

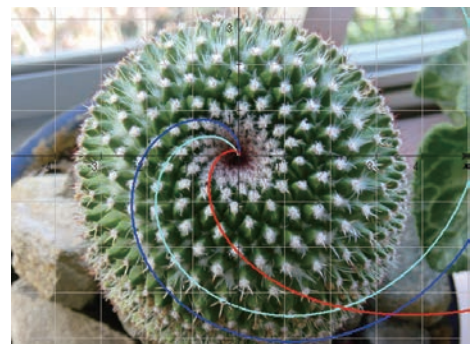


写真6 サボテンの棘はアルキメデスらせんを描く（青と水色）。赤色の等角らせんでは棘の配列と一致しない

特集 らせん、神秘の形

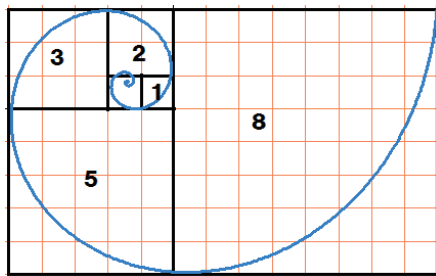


図5 フィボナッチ数と黄金比

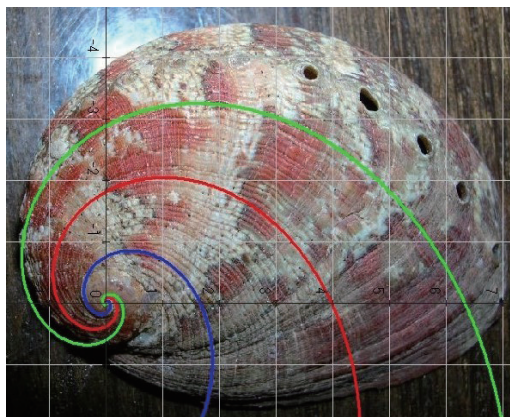


写真9 アワビも中心かららせんを描いて成長している

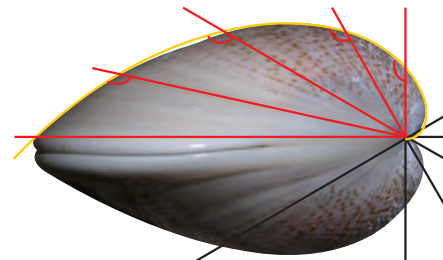


写真8 ハマグリを側面から見ると、貝殻は図3と同じような等角らせんを描いている



写真10 サザエは成長につれ自分自身を巻き込みながら大きくなる

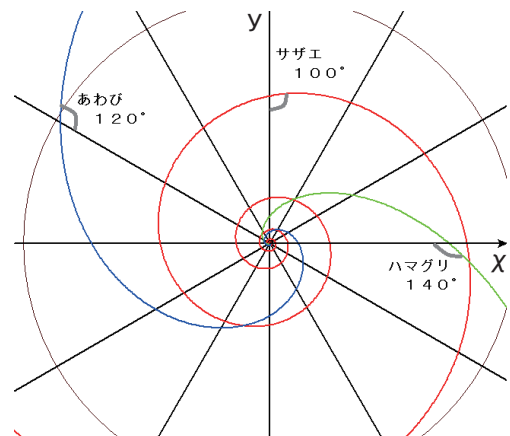


図4 貝は等角らせんの角度によって、形状が変わる。サザエ、オウム貝などの巻貝は95~100度、アワビは110~120度、ハマグリ、シジミなどの二枚貝は130~140度

線と放射線とが形作る相似な三角形がだんだん大きくなっています。
この「らせん」は、巻貝やカタツムリの殻で見られます。貝のつくる「らせん」について面白いことを見つけました。二枚貝も巻貝と同じように巻いています。ただ、中心との角度（前のグラフの角度）が異なっているだけなのです。その角度で分類してみると、サザエは100度、アワビは120度、ハマグリは140度となっています（図4）。

ハマグリは自分自身を巻くことができないので、身を守るためにもう一枚殻を用意する必要があります。一方、アワビは巻貝なのに自分自身を巻けないので、岩にへばりついているのです。
貝類がなぜこのような「らせん」になるのかの秘密は、相似形にあります。貝は成長していく時に、成長する自分自身を入れる家（貝殻）を同じ形にするのです。大きくなるたびに形が異なったら住みにくいことこの上なしです。貝殻の原料を分泌する量は自分自身の大きさに比例するので、必然的に相似形になり、「ベルヌーイらせん」を描くのです。
この仕組みは、その他の成長するものについても同じように言えます。例えば、皆さんの指の爪、動物の牙や角なども、ベルヌーイらせんを描きます。象やマンモスの牙の見事な曲線も「らせん」なのです。
「ベルヌーイらせん」にも、黄金比が隠されています。それは、角度が107度の時、図5のグラフのように、フィボナッチ数が出てきて、その比は黄金比になります（図5）。
「アルキメデスらせん」と「ベルヌーイらせん」は全く異なった曲線なのですが、どちらにもフィボナッチ数と黄金比が現れてきます。
さまざまな「らせん」
このように、「らせん」は「成長」と密接にかかわっています。成長は生命の象徴です。私たちの遠い祖先が、成長に

込めた願いをさまざまな「らせん」で表したのうなずけます。
古代の人が、生命のエネルギーを象徴するものとしてこの曲線を描いてきたのが「らせん」文様ではないでしょうか。私は猪の牙から勾玉ができたのではないかと思います。
ここで視点をえてみましょう。歴史の授業で、奈良や京都、鎌倉は碁盤の目の町づくりをしたことを学びました。ところが、江戸の町はごちゃごちゃしています。なぜでしょうか。
江戸の町は、江戸城内の紅葉山を中心に「の」の字の形に成長してきました。江戸（東京）は「らせん」を描いているのです。カタツムリが成長するようにどんどん大きくなり、ついには百万人を擁する大都市になったのは、この町づくりの設計計画のおかげです。
その他、お城の石垣にも「らせん」を描いているものがあります（写真11）。城の石垣は、同じ形の石をだんだん小さくして積み重ねます。すると相似形の原理（角度が同じ＝等角）で、自然に「らせん」を描きます。上の方は反りますから、武者返しになります。
富士山も「らせん」を描きます。輪郭のなだらかな美しい曲線は、実は「らせん」だったのです。「ベルヌーイらせん」ですから、貝や爪の曲線と同じものです。違いは角度だけです。
ところで、富士山といえば、葛飾北斎の《富嶽三十六景》を思い出します。写真12の「凱風快晴」に描かれた富士山の

写真12
葛飾北斎
《富嶽三十六景・凱風快晴》の富士とらせん

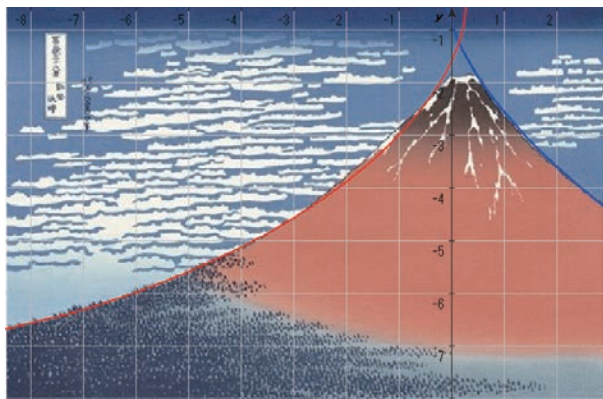


写真11
お城の石垣とらせん

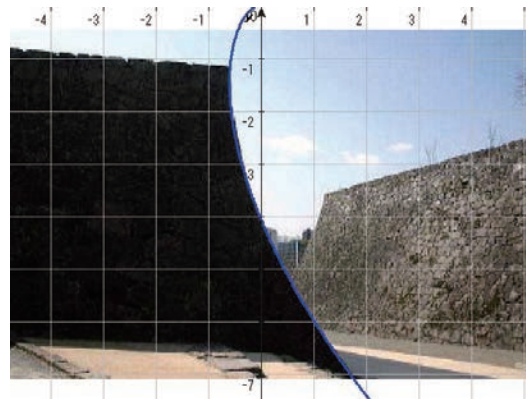


写真14 上空から見た台風の渦



写真15 星雲もまたらせんを描いて成長する

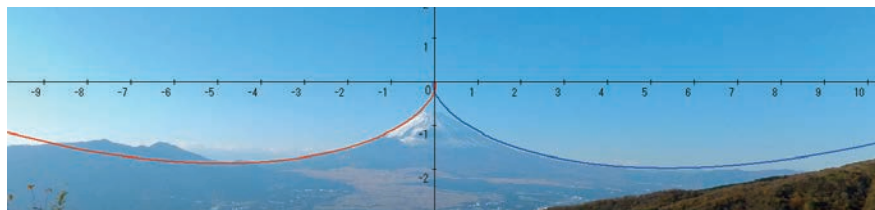
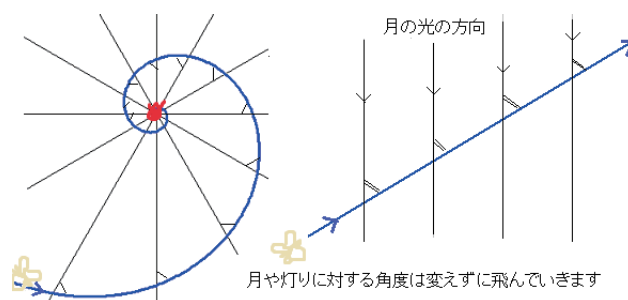


写真13
遠望した富士山とらせん

図6 月の光の方向は一定なので、虫は角度を変えずに進むことができる(右)。一方、灯りから出る放射状の光に対して、虫は逆らせんを描いて進むことになる(左)



曲線は、写真13の富士とは異なっているように感じます。比べてみましょう。写真13の富士山の「らせん」の角度は162°163度です。写真12の赤富士の「らせん」の角度は162度。違って見えるのは、拡大率の違いによるものなのです。北斎はきちんと「ベルヌーイらせん」を描いています。北斎は《神奈川沖浪裏》においても、見事に「ベルヌーイらせん」の波を描いています。

さあ、どんなスケールを拡大してみましよう。台風も渦を巻いています(写真14)。これも「ベルヌーイらせん」です。台風は地球という生命の大きな活動と言ってもいいと思います。

さらに、宇宙を見ると、やっぱり「らせん」があります。生命の源である星雲です(写真15)。まったく異なる次元のものが、同じ「らせん」を描いているのが不思議です。

飛んで火に入る夏の虫

らせんを探って宇宙まで飛び出してしまいました。再び足元に目を移しましょう。夏の夜、虫たちが灯りをめがけて飛んできます。今は電灯ですが、昔はランプなどの灯りでしたから、虫たちは火の中に入って死んでしまっています。それなのに、虫たちはなぜ明かりをめがけて飛んで来るのでしょうか。

夜行性の昆虫の飛び方向を定めるのは、月の明かりです。月に向かうのではなく、月に対して一定の角度で飛べば、夜でも目的の方向に行くことができます(図6)。

ところが、人間が新たな明かりを生み出しました。月に対して一定の角度で進んでも一定の角度で進みます。明かりは月と比べてはるかに近いので、光は平行ではなく放射状に出ます。それに従うと、「等角らせん」を逆にたどることになってしまい、やがて虫たちは中心の明かりに落ち込んでしまうのです。

私たち人間も、いつの間にかやらせんの渦の中に入り込み、「飛んで火に入る夏の虫」になっているのかもしれない。

かみむら ぶんりゅう

岐阜県郡上市にある浄土真宗長善寺の住職。小学校・中学校で教員を務める。1951年生まれ。社会や自然の出来事と数学のつながりをサイト「はまぐりの数学」(<http://www.rd.mmtr.or.jp/~bunryu/index.htm>)で解説。著書に『生き物たちのエレガントな数学』(技術評論社)。

