

五弁の謎を解く

1 多い五弁の花

私は自然界の中で五角形のものに非常に興味がある。ミツバチの巣や雪の結晶などの六角形についてはその数学的理由は解明されているが、五角形については明快な説明はなされていない。

ウニ、ヒトデ、ナマコなどの棘皮動物は、皮膚には骨板があり特有の水管系をもち、五放射相称である。つまり五角形でかつ回転対称である。ヒトデの腕は強い再生力をもっていて、五本のうち一本を失ってもすぐ五本になる。さらに驚くべきことには、一本だけからも他の四本を再生して、もとの完全な五本にもどることが知られている。五本腕を決定することがDNAの中に強く刻み込まれているのだろうか。

私達はコンパスと定規で正五角形を描こうとすると、正三角形や正方形、正六角形などのようにうまく描けない。分度器を使えば円の中心角三六〇度を五で割って正五角形は描ける。

る。ところがヒトデはコンパスも定規も使わないし、数学の知識もない。こんな原始的な水生動物がどうしていつも簡単に正五角形を描いてしまうのだろうか。

ウニやヒトデの「五」は動物だけでなく植物の中にも見られる。身近にある『植物の図鑑』小学館をパラパラとページをめくってみると、五枚の花が目立つ。春の花としてはシクラメン、サンシキスミレ、カスミソウ、ウメ、サクラ、ツツジ、モモなどが、夏の花としてはアサガオ、ヒルガオ、キョウチクトウ、サンゴジュなどが、秋の花としてはフヨウ、キキョウ、ニチニチソウ、ナデシコ、リンドウなどが五枚の花を咲かせる。また作物としてはスイカ、メロン、ナシ、リンゴの花弁が五枚である。

五枚が多いとしたが例外もある。カラーの花は一枚であり、アヤメは三枚だし、ジンチョウゲ、ハナミズキ、キンモクセイは四枚、ユリ、スイセン、ランは六枚である。

このうち一弁と四弁については花びらだと思われているが、花びらでなくガク片であるという説明がある。まず一弁

のカラーについて、サトイモ科に属し、白い花びらのように見えるのは包で、中の太い軸の表面に小さい花がつく。カラーの包は仏焰包ぶつえんほうともいわれ、仏像に見られる後光や炎に見立っている。つぎに四弁の花について、春に咲くジンチョウゲは確かに四枚であるが、あれは花弁ではなくてガク片である。秋に咲くキンモクセイは黄色の花を咲かせるが、これもジンチョウゲと同じで花びらに見えるのはガク片である。

2 三数性、四数性、五数性

牧野富太郎『改訂増補・牧野・新日本植物図鑑』北隆館にはすべての植物が、界門綱目科属種で整然と分類されている。そして、この本にはすべての科について、ガク片、花弁、おしべ、めしべの数が記載されている。花を構成する要素としてガク片、花弁、おしべ、めしべがある。これらの位置、配列状態を模式図に描いたものが花式図で、花の構造がよくわかる。

花の構成要素をもとにした分類で三数性、四数性、五数性というのがある。ガク片、花弁、おしべ、めしべなどが、三またはその倍数からなることを三数性という。単子葉植物に多くユリ、アヤメ、ムラサキツユクサがある。同じように、四またはその倍数からなることを四数性といいアオキ、マツ

ヨイグサ、イカリソウがある。五またはその倍数からなることを五数性といいツツジ、アサガオがある。

花弁の数は科の中では同じである。だからすべての植物について調査する必要はなく、科の上のレベルで集計すればよいことになる。科による花弁数の分類は次の通りである。調査した種子植物門の科の数は全部で二一九科あった。種子植物門は裸子植物門(二二科)と被子植物門(二〇六科)に分かれる。裸子植物門はすべて花弁もガク片もなく、〇弁とした。被子植物門は単子葉綱(三三科)と双子葉綱(二七二科)に分かれる。単子葉綱はアヤメ科やユリ科などで、三弁や六弁が多い(三数性)。ガク片がなく花被片としてカウントされる。双子葉綱は離弁花亜綱(二二五科)と合弁花亜綱(四六科)に分かれる。離弁花亜綱はバラ科やアオイ科やスミレ科の五弁(五数性)とアブラナ科やミズキ科の四弁(四数性)が多い。合弁花亜綱はツツジ科やヒルガオ科などで、五弁(五数性)が多い。

種子植物門の科の数は全部で二一九科あり、これらを花弁数で分類したものが表1である。これらのうち三〜六弁だけをまとめたのが表2である。集計にあたって、花弁がなくても、ガク片や包などで数えられるものは花弁数に含めた。以上の結果、五弁の科数がいちばん多いこと、五弁の花は被子植物で双子葉植物、つまり進化論的には高等な植物群の中にいることが分かった。

3 キクも五弁花

私達の身近な花といえばキクである。『植物の図鑑』(小学館)ではキク科は全体が一四九五種の中で二三五種といちばい多く、比率でいえば九パーセントを占めている。キク科の代表的な種は春のタンポポ、夏のヒマワリ、秋のコスモスである。このキク科の花弁について、私は無意識的に多弁(七枚以上)として集計してきたが、キク科も五弁である。

キク科の花は舌状花と管状花で構成される。周辺部にあるのが舌状花であり、中央部にあるのが管状花である。舌状花は癒合した五花弁からなる。もともとは五花弁であったが、四枚が退化して一枚だけが残り舌状になっているのだ。また中央部の管状花は小さな花が数百個ぎっしりつまった集合花である。

コスモスの花弁は八枚であるように見えるが実際は八個の花である。公園に咲くコスモスを一本取ってルーペ(倍率が一〇倍から一五倍でよい)で管状花を観察するとよい。ぎっしりと小花が集合しているが、その小花の先はひとつひとつが五つに裂けている。先が尖っているのでキキョウの花のようにも見え、あきらかに五弁である。

マメ科のガラスノエンドウの花は、もとの方は筒形で、先は五つに分かれている。花冠(花びらの全体)は、一枚の旗弁、規則的に配列し平らな形をもつて光合成を行う。植物体内と外界とのあいだの二酸化炭素CO₂、酸素O₂の交換や蒸散を積極的に行う。

一本の茎と、そのまわりに規則的に配列する複数の葉からなる単位を植物学上はシュート(stem)という。いわゆる枝がその一例である。花序や花を生じる芽とこれが展開、伸長したのもシュートと考えることができる。

多くの植物の花はガク片、花弁、おしべ、めしべからなり、めしべは一枚から数枚の葉に相当するもの(心皮)が合着してできると考えることができる。一枚のガク片、一枚の花弁、一本のおしべもそれぞれ変形した葉と考えることができる。結局、一つの花は変形した短い茎に数種類の変形した多数の葉が規則的に配列したものとみなすことができる(図1)。

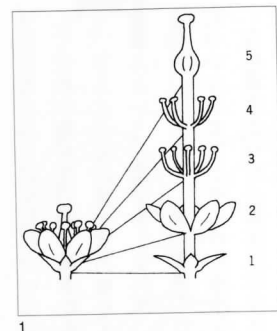
花は植物学的にみれば果実と種子をつくるもとなる器官

表1—花弁数による分類(全体)

弁数	科数	百分比
0弁	38	17.4%
1弁	2	0.9%
2弁	6	2.7%
3弁	13	5.9%
4弁	38	17.4%
5弁	84	38.4%
6弁	24	11.0%
多弁	7	3.2%
不明	7	3.2%
計	219	100.0%

表2—花弁数による分類(3~6弁)

弁数	科数	百分比
3弁	13	8.2%
4弁	38	23.9%
5弁	84	52.8%
6弁	24	15.1%
計	159	100.0%



1—花を一つのシュートとみなすときの解釈(1. ガク片、2. 花弁、3.4. おしべ、5. めしべ)
(原襄『植物形態学』朝倉書店より引用)

二枚の翼弁、二枚の竜骨弁(りゅうこつべん)の五枚から成り立っている。マメ科、シソ科、スミレ科などの花は、真横から見ると左右対称の形をしている。こういう花を左右相称花というが五弁に変わりない。

食材に使うオクラの形は正五角形をしている。オクラの別名はアメリカネリで、トロロアオイ属、アオイ科である。被子植物亜門、双子葉植物綱、離弁花亜綱、アオイ目のアオイ科であり、アオイ科は五数性の花である。ガク片、花弁、おしべは外観で確認できるが、子房は外からは観察できない。この子房がオクラの果実の五角形に関係している。めしべの下方に子房があり、子房が五分室あるから、果実の形が正五角形をしている。ナシの果の断面図を見ると、オクラと同じように五角形に配置されている。ナシはバラ科に属し五数性である。

4 花とは何か

花とは何であるかを原襄『植物形態学』(朝倉書店)を参考にしてみよう。植物の器官には根と茎と葉がある。根は植物体の地下部にあつて植物体を支え、水や無機塩類の吸収を行い、物質の通道に役立つ。茎は植物体の地上部にあつて地上部を支え、物質の通道に役立つ。葉は茎のまわりに規

である。つまり花は究極的には種子をつくって子孫を残すことに働く器官であるということが出来る。そこで花は生殖器官であるといわれる。

五弁の理由を探るため、まず花粉の中に花弁の五枚を決定するカギがあるのでは、と疑ってみる。『現代生物学大系(第七巻)』(中山書店)に掲載されている走査電子顕微鏡の花粉写真を眺める。様々な美しい花粉の形の中には「五」を決定する痕跡(精卵や桑実胚に似た球形のものもある)が「五」を決定する痕跡は見当たらない。つぎに種子の中には、子葉、幼芽、幼根つまり葉、芽、根のひながたがあるだけで、花のひながたはないのである。植物には一次生長と二次生長があり、花は二次生長で形成されるから形が決まるのはもっと先である。

5 らせん葉序とフィボナッチ数列

熱帯雨林のスマトラ島に咲くという世界最大の花ラフレシアは五弁であり、ある日花が開く順序のTV映像を見た。五弁の花は隣り合わせの順序に開くものとばかり思っていたが、そうではなく、ひとつおきに飛びながら開いていき、二周して五枚の花弁ぜんぶが開いた状態になるのだ。身近にある花ではツバキ科の花が五弁であり、その蕾をひとつ取ってきて花弁を一枚ずつはがして観察するとラフレシアと同じ順序に開くことを確認できる。

花弁の開く順序は、後で示す葉のつく順序らせん葉序に似ている。このことから、花は葉が変形したものであること、そして茎を極端に短くしたものであることが想像できる。ところで、花の葉原基説を最初に唱えたのはゲーテである(二七九〇年)。葉芽と花芽は違ったものであり、葉がすべて花になることはないのです、この説は一部のあやまりを含んでいるが、大筋において間違っていない。

葉の役目は光合成をすることである。光合成をするためには太陽の光を最大限に利用しなければならぬ。植物がお互いに陰を作りにくくするような葉のつき方には、つぎの四つの方法がある(図2)。まず二枚の葉が茎の同じ高さから対称にでるようなつき方で、これを対生という。また二枚の葉が

茎の異なる高さに交互についていくつき方を互生という。そして三枚の葉が茎の同じ高さから出ているつき方を輪生という。さらに三枚の葉が茎の異なる高さから出ているものを、らせんという。葉が多くなれば、らせん状につけていけば陰を作りにくくなる。葉の配置のことを葉序といい、らせん状についていることをらせん葉序という。

互生葉序やらせん葉序にはつぎに説明する開度の違いによってさまざまなタイプがある。開度とは、葉序を示す断面図で、茎と一枚の葉の中心を結ぶ線と、茎とそのすぐ上の(あるいは下の)葉の中心を結ぶ線とのつくる角のことである。例えば開度が一四四度であるとすると、一四四度は三六〇度の五分の二であるから五分の二葉序という。葉序には二分の一、三分の一、五分の二、八分の三などきわめて多くのタイプが知られている。分数で表す葉序の表示法の分子はまわるらせんの数、分母はその間につく葉の数と思ってよい。八分の三葉序は、三周する間に八つの葉がつくことを表している。

植物の葉のこのようなつき方はフィボナッチ数列で表すことができる。フィボナッチ数列とは高校の数学で出てくるが、もともとは植物の研究からでてきたもので、一、一、二、三、五、八、一三、……というように、前の二項の和を求めて作り出される数列である。この数列のひとつおきに数字を選び、大きい数字を分母に、小さい数字を分子にするとよい。たとえば、二と五なら五分の二、三と八なら八分の三で

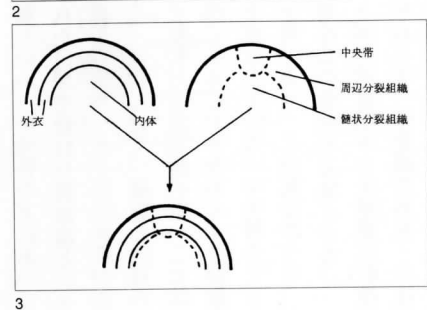
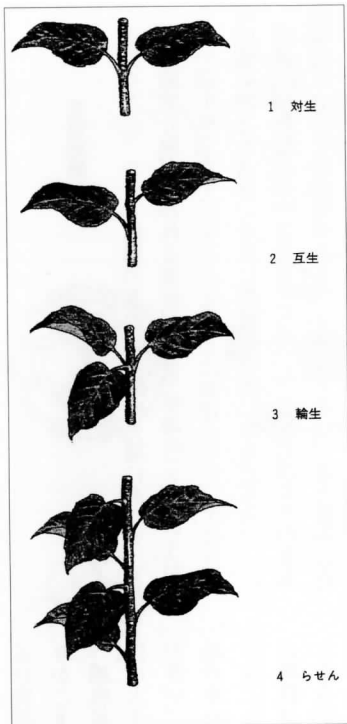
するものではないかという議論にまで発展した。しかし現実の問題として、茎頂がどのようにして葉を発生させるか、そして発生した葉原基が、二次的にどのような位置の変化をおこすかを綿密に観察することなしに、数学的な計算だけで議論を進めていくことは適当でない」とある。

私は、フィボナッチ数列を全面的に否定はしていないが、五弁の謎を解くカギにはなっていないように思う。やはり、実際の生物を観察することから離れては駄目である。

ある。

ところで、葉序はフィボナッチ数列ですべてが説明されるのだろうか? この疑問に対して、原襄『植物の形態・増訂版』(裳華房)には、つぎのような興味深い指摘がある。

「このような数学的な関係が発見されると、学問的な興味は、その方向へ深まっていくのは当然の成り行きである。かくして葉序の議論は、茎頂における実際の葉の発生過程を直接検討するという生物学的な方向よりは、むしろ数学的な数値をもとにして進み、フィボナッチ数列は黄金分割という問題に直結していることから進められた。そして、茎頂において葉原基は、極限的には黄金分割に関連した位置に発生



2—葉の配置(『ネイチャーワークス』同朋舎より引用)
3—シュート頂の外衣・内体と細胞組織帯(原襄『植物形態学』朝倉書店より引用)

6 茎頂細胞

生長点とは、つまり植物の茎および根の先端にあって、もっぱら細胞分裂が行われる部分、茎頂や根端のことをいうが、ここが謎を解くカギになっていることは間違いない。生長点では細胞の形と大きさ、それに配置が問題になるだろう。

原襄『植物形態学』（前掲書）には、シュート頂とその基本的構造についての説明がある。シュートとは、茎と葉からなる単位である。シュート頂はこの茎や葉を直接つくるところであり、葉の葉腋分裂組織もつくる。シュート頂は茎頂とも呼ばれる。

被子植物のシュートの頂端分裂組織には外衣・内体と細胞組織帯の構造を認めることができる（図3）。シュート頂には一層の層の、表面に平行な細胞層が認められる。この層状構造全体を外衣といい、これより内方の層状構造をなさない部分を内体という。外衣は、垂層分裂を繰り返す細胞からなる細胞層を形成する部分であり、内体は、いろいろな方向に分裂面をつくる分裂を行う細胞からなる部分である。

外衣・内体の構造のほかに、シュート頂にはシュート頂を構成する細胞の性質の相違から、つぎの三つの区域が区別されることが多い。これを細胞組織帯という。シュート頂の最も先端の区域を中央帯といい、中央帯をとりかこむ区域を周

辺分裂組織といい、中央帯の下にあって、周辺分裂組織にとりかこまれた区域を髄状分裂組織という。

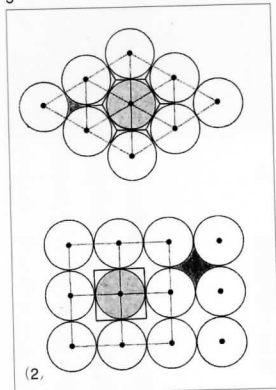
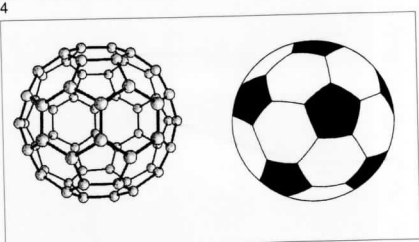
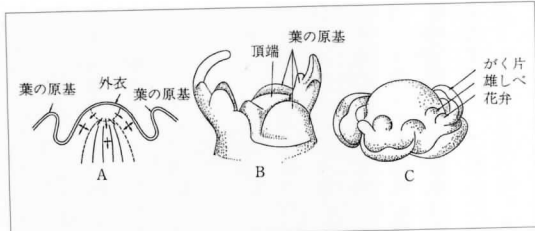
細胞組織帯のうち、とくに中央帯が目される。ここの細胞は大きく、球状に近く、細胞の内容の染色性が低く、液胞が多い。とりわけ分裂頻度の低いことは、この部分が分裂組織の中心部にあるにもかかわらず分裂組織らしくない性質を示すことを意味している。中央帯をとりかこむ周辺分裂組織の細胞は活発であり、この部分のうち、とくに中央帯に近いところが葉原基の発生する場となる。

シュート頂は栄養期から生殖期に転換するとき、かなり大きな変化をおこす。栄養期の外衣・内体の細胞配列や細胞組織帯の構造はこの転換期に順次失われ、シュート頂の表層に数層の細胞層をもつようになる。この部分の細胞は細胞層を密にもついでいて、活発に細胞分裂を行うようになる。

花の形成のときには、生殖シュート頂をもち、通常はガク片の原基、花弁の原基、心皮の原基の順に花葉の原基をつくる。そして、心皮の原基を作り終わるとき、その生殖シュート頂自体も分裂組織ではなくなり、心皮の組織となって消滅する。

図4に示すような生長点の図とつぎのような説明がある。茎の先端の断面図（図4A）を見ると、先端は丸くドーム状になった細胞とその側方の小さな葉ができてつつある部分とに分けることができ、丸くドーム状になっている細胞がしだいに

分裂しながら葉を形成したり、茎を形成したりしていることが理解できる。もう少し立体的に表したものが同図Bであり、この図では栄養生殖の状態を表し、つぎつぎと葉が形成されていく。一方、同図Cでは花芽形成期の初期の頂端部が示されている。花芽の形成は中心部よりはずれた部分、すなわち葉の原基が生育している部分が花の原基に変化したもので、葉の形成場所と花の形成場所とはわずかではあるが、頂端部でそれを示している。



7 フラーレンC₆₀の化学

一九九六年度のノーベル化学賞は、サッカーボールの形をした分子C₆₀の発見に贈られた。化学賞を受けたのはR・カー、R・スモーリー、H・クロトである。フルラーレンC₆₀の分子模型とサッカーボールを図5に示す。炭素原子は多面体の頂点に位置している。五角形の面が二、六角形の面が二

4—生長点の図 A. 断面図、B. 立体図、C. 花の原基 (Fahn原図) (賀来章輔他『植物の生長と発育』共立出版より引用)
5—C₆₀の分子模型とサッカーボール
6—円の稠密充填 (S. ヒルデブラント他『形の法則』東京化学同人より引用)
(1)六角形状充填 (2)正方形形状充填

○あって、一つの五角形を五つの六角形が囲んでいる。炭素だけでできている完全に対称なこの構造は、分子構造におけるまったく新しい概念を表している。ドーム構造を作った著名な建築家バックミンスター・フラーにちなんで名称をバックミンスターフラーレンとし、略してフラーレンとしたのがその由来だ。

数学的に興味深いことは、オイラーの公式によると、六〇個の原子からなるグラファイトのシートを曲げて閉じた球をつくることはできないということだ。身近な例では各要素が六角形の金網を丸めても球にはできないということだ。これはオイラーの多面体定理で容易に証明される。オイラーの多面体定理とは多面体の頂点の数をV、面の数をF、辺の数をEとすると、これらには次の関係が成り立つことである。

$$V + F = E + 2$$

フラーレンC₆₀の研究が急速に進むにつれて、C₆₀より多い炭素数でサッカーボールに似た構造を持つものや多重構造になったもの、あるいは炭素原子がチューブ状になった「カーボン・ナノチューブ」などが次々に発見されている。カーボン・ナノチューブは、一九九一年、NECの飯島澄男研究員が発見したもので、バックミチューブともいわれる。C₆₀と同じ直径のフラーレンが長くなった場合、C₅₀₀で長さが約六一Å

になる。ナノチューブの大きな特徴は七員環を含むものが発見されたことである。五員環がフラーレンを球状に閉じさせるのに対して、七員環は逆にフラーレンを広げる性質をもつ。七員環は、鞍状の曲面(負の曲面率)に発生する。

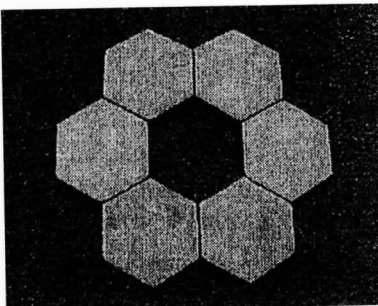
8 細胞配置と五弁

茎の先端は丸くドーム状になる。丸くドーム状になったときの先端の細胞群はどのように配置するのだろうか。フラーレンの発展としてカーボン・ナノチューブがある。これは細長いチューブ状になっていて、植物の茎を連想させる。ナノチューブの先端は凸になっていて、五員環が存在する。茎はナノチューブと類似するのではないだろうか。これが私の推測である。

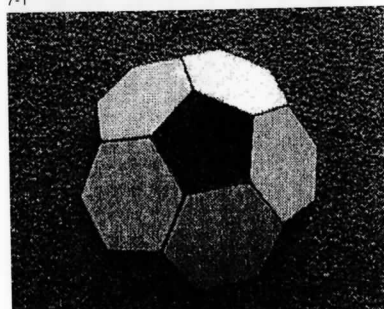
一個の細胞が一枚の花弁になるわけではない。数千数万の細胞が一枚の花弁を形成して行くが、ここではそれらを細胞群としておこう。茎頂に存在する細胞群の配置が花の形態に関係しているのは事実である。配置がキーとなると、その配置はどのように進行するのか、そして最適配置とは何であるのか。このように考えると、五弁を選択するのは植物にとつて難しいことではなく、四弁の選択こそ不安定で、難しいのではないかという予感がしてならない。

茎頂細胞群を球体(または六角形)と仮定してもよいだろう。まず常識的に考えられるのは、平面を正六角形で被うことが最適であるということだ。円板(たとえば硬貨)の六角形状充填は、正方形形状充填よりも隙間が狭い。一〇円硬貨を並べるとき、図6-1のように六角形を想定して並べるともつとも隙間を狭く並べることができるが、図6-2のように正方形を想定して並べると、隙間が大きくて硬貨が移動しやすい。この理由で、六角形状充填が最適配置である。これに関連してミツバチの巣や雪の結晶が正六角形であることはよく知られている。ところが、花弁は六枚を選択せず五枚を選択している。

自然におけるフォームあるいはパターンの生成原理はもつ



7-1



7-2

ばら空間あるいは場そのものもつ作用力ないしは拘束力にあると見ている。植物の葉序などにフィボナッチ数列や黄金比が見出されるが、植物は数学を知らず、ただ単に最大の空間を占めるように発生する結果が、そう記述できるだけの話である。すべての美とすべての数理は、空間的環境と相互作用する単純な生長系の自然の副産物であるのだ。

そこで私はつぎのような細胞群配置のモデルを作ってみた。一つの六角形のまわりに、六個の六角形を隙間なく並べた。図7-1のように、平坦になっている。それを一個減らし五個にすると、図7-2のように、腕を逆さまにしたように上に凸あるいは下に凸なフォームを取る。さらに一個を増やして七個集めると、波をうったような鞍形になる。

7—細胞群配置のモデル
(1)6個の正六角形 (2)5個の正六角形

これらは中心部に対する周辺部の拡張速度の大小によって、平面は腕や鞍のフォルムに変わっていく。こういう変形が生じるのは空間の性質によるのである。中心部の生長速度が大きくなると丸形でドーム状になり、周辺部の生長速度が大きくなると鞍形になる。シュート頂茎頂は生長点であるから、中心部の細胞活動がもつとも盛んであり、形はドーム状で先端に向かって凸になっている。

したがって細胞群の配置は図7-2に示した状態が想像できる。五角形のまわりに六角形が五個、つまり五つの細胞群が茎を中心に配置されるのだ。これら五つの細胞群はガク片になり、花弁になり、雄しべになり、子房になるのだ。このようにして五弁の謎が解かれたことになる。逆に、七角形のまわりに六角形が七個、つまり七つの細胞群が茎を中心に配置されるのは鞍形で不安定な形であること、さらに周辺部の生長速度が大きいとは自然でないなどの理由から、七弁の可能性は極めて少ないことが想像できる。

六弁の可能性は、茎頂の形が平坦であることだ。もし茎頂が平坦であるなら、細胞群の配置は図7-1のように茎を中心に六つの細胞群が配置されることになり、六つの細胞群がそれぞれガク片や花弁になり、六弁の花となる。茎頂が平坦であることは自然でない。したがって六弁の可能性は、五弁より小さい。

四弁の可能性は、茎頂の細胞群の配置が、図6-2の正方

形状充填になることだ。正方形形状充填は六角形状充填より充填度は低い。植物細胞が動物細胞より可変性が小さいことを考えると不可能でもない。正方形形状充填として茎が形成され、茎頂細胞群もそのように配置されているなら、そのうちの二つを茎と仮定すると、そのまわりには四つの隣接する細胞群がある。そして、この四つがガク片や花弁になるから四弁の花となる。正方形形状充填は六角形状充填より充填度が低いことから四弁の可能性は五弁の可能性より小さい。

『趣味の園芸』(日本放送出版協会、一九九七年二月号)に、ハナシヨウブに異変がとる記事がある。ハナシヨウブは六弁正確には三枚が内花被で三枚が外花被が普通であるが、四弁や五弁のものが咲いたという。このような突然変異とも見られる現象も、生命の連続性で説明できる。花を形成する茎頂の形が平坦か凸か、また茎を中心とする細胞群の配置が四つか五つか六つかによって、花弁が四、六弁となる。遺伝子DNAは概略設計をするだけで、すべてを決定しない。環境や場の状態で花の形が決定されていくというよい例である。

ギリシャ神話にダブネの像がある。ダブネの腕は指先から枝に変わり葉に変わり、全身が一本の木と化す。この神話に科学的根拠があるなら、人間の腕、手、指は植物の茎、枝、葉や花に対応づけることで、五本指の謎が解かれるかもしれない。五本指は両手で一〇本になる。一〇本指は一〇進法の起源につながり、それが文化、歴史、社会、思想の中にも反

映しているのではないかと考えると、「五」は森羅万象に潜んでいるように思えてならない。

参考文献

- ★1 市川衛「基礎発生学概論」裳華房、1982
- ★2 牧野富太郎「改訂増補・牧野新日本植物図鑑」北隆館、1989
- ★3 原襄「植物形態学」朝倉書店、1994
- ★4 原襄「植物の形態(増訂版)」裳華房、1984
- ★5 賀采章輔他「植物の生長と発育」共立出版、1982
- ★6 S・ヒルデブランド他「形の法則」東京化学同人、1994
- ★7 P・ステイブンス「自然のパターン」白揚社、1987
- ★8 西山豊「自然界の謎」筑摩書房、1999.12