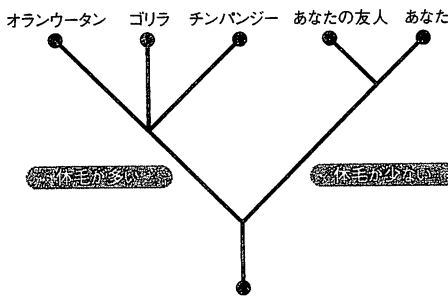
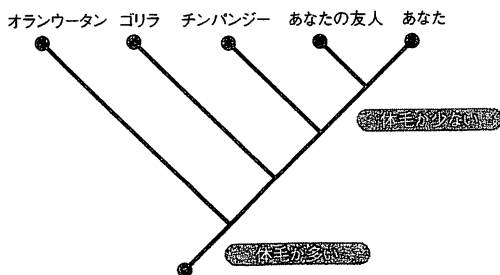


# 系統学

図1 系統関係 A



B



生物は約48億年ほど前にたった1回だけ起源したと推定されている。ということは、すべての生物は最初に生まれた生物の子孫である。一時代まえのコマーシャルに「世界人類皆兄弟」というのがあったが、ほんとうは「世界生物皆親戚」なのである。したがって、今、地球上にいるすべての生物は1つの系図におさまるはずなのである。

このような系図を作る学問が系統学である。系図を作ることは、「親の顔が見てみたい」という好奇心を満たす、すなわち科学的興味をかき立てるとともに、「家系を絶やさないためになんとか血縁者を探し出す」などという実利的面も兼ね備えている。後者は半分冗談めかしているが、生物一家にとって絶滅の危機は深刻であり、多くの種が絶滅に瀕している。すべてでなくとも類縁のあるものをわれわれの子孫の代まで生き残らせるために、系図は必須アイテムである。

## 家系図作りの革命

この20年ほどは家系図作りにおける変革の時代であった。変革は2つあった。1つは、分岐系統学という方法論の確立である。これはコロンブスの卵的な発見であり、言われてみればそうであるが、言われないとなかなか気づかない問題である。

試してみよう。オランウータン（オラン）、ゴリラ、チンパンジー（チンプ）、あなた、あなたの友人の5つの生物を思い浮かべていただきたい。前3者は体毛がもじゃもじゃ生えている。一方、後2者は体毛が少ない。では、これらはどんな類縁関係（系統関係）にあるのだろうか。直感的には、図1のAのような系統関係を思い浮かべるのではないだろうか。このときには、オラン、ゴリラ、チンプは体毛があるのでひとまとまり、あなたと友人は体

# 系統樹の分かれ目で 何がおきたか—— “エボデボ”の誕生

長谷部光泰

Hasebe Mitsuyasu

毛が少ないのでひとまとまり、つまり、オラン、ゴリラ、チンプの先祖は体毛をもっていて、あなたと友人の祖先は体毛が少なかったという暗黙の仮定をおいている。

じつは、この推定は間違っている。いろいろな研究の結果、現在、ほぼ確かであろうと予想されるのはBのような系統関係である。この系図から考えると、「体毛が多い」というのはオラン、ゴリラ、チンプ、あなた、友人のすべての祖先がもっていた特徴である。そして、その特徴はオラン、ゴリラ、チンプが生まれるときまでは維持されていた。しかし、あなたと友人の祖先に突然変異がおり、「体毛が少なく」なり、その結果としてあなたと友人は毛が少ないのである。つまり、同じ体毛に着目しているのであるが、「体毛が多い」と「体毛が少ない」というのは違う情報をもっているのである。

前者はより系図（系統樹）の深い部分で生じ、後者は系統樹の新しい部分で生じた特徴なのである。系統学では前者を「祖先的」、後者を「派生的」とよんでいる。生物の系統を推定するときには「派生的」な特徴だけしか使ってはいけないのであり、系統推定を混乱させていたのは、「祖先的」と「派生的」をよく認識していなかったことにあるのである。

このような基準にもとづいていろい

ろな生物について系統関係の再検討がおこなわれ、多くの新知見が得られてきた。そして、1990年代に入り、つぎの波が押し寄せた。ゲノムの波である。

生物は遺伝子を設計図として作られている。したがって、できあがったものを比較するよりも、設計図を比較した方がより正確な系統推定が可能となる。具体的には、遺伝子はACGTの4種類の文字（塩基）で書かれているので、それを解読し比較することになる。遺伝子を用いた系統推定の大きな利点は、多くの情報が手に入るということだ。これまでの系統推定は、せいぜい数十個くらいの特徴しか利用できなかった。一方、数千の塩基配列を調べることはごく簡単である。多くの情報が得られれば、データを統計処理することができる。すなわち、推定した系統関係がどのくらい信頼できるかを検定できるのである。これは、とかく恣意的になりがちな過去の推定という作業を客観的にした点で大きな転換点だった。

このように分岐系統学の進展と遺伝子情報の利用により、論理的にはどんな生物の系統関係も推定できるようになった。

## ドクウツギの 世界的分布を追う

系統推定の方法論が確立され、この



岡崎国立共同研究機構・基礎生物学研究所・種分化機構第二研究部門・教授。  
1963年千葉県生まれ。東京大学大学院中退、理学博士。  
共著に『多様性の植物学2』（東大出版会）、『生物の種多様性』（裳華房）など。

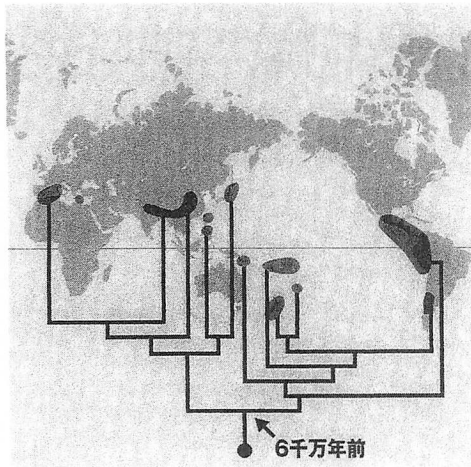
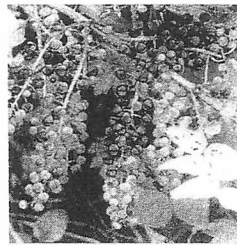


図2 ドクウツギの分布と系統



10年間で、過去100年以上謎に包まれてきた生物の類縁関係の多くが解明されてきた。一方、系統樹は生物の系統を推定するというだけでなく、生物がどのように進化してきたかについても多くの知見を与えてくれる。

たとえば、生物がどのように分布をひろげたのかという生物地理学の問題に利用できる。ドクウツギは、7月ごろに山歩きをしていると黒赤色に色づいた実が目立つ植物である（ふつうの実はめしべが肉質化することが多いが、ドクウツギは花弁が肉質化する）。ドクウツギの仲間は世界中に転々と生えており、植物のなかでもっともひろく隔離分布していることで有名である（図2）。地中海のモロッコ周辺に1種類、そこから西アジア、南アジアには全く分布せず、ヒマラヤ周辺に2種、フィリピン、台湾、日本にそれぞれ1種があるが、インドネシアには分布せず、パプアニューギニアに1種がある。ニュージーランドでは10種近くが分布しており、飛んでチリに1種、そしてもっとも広域に分布する1種がペルー

からアンデス山脈にそってメキシコまで分布をひろげている。分布があまりに飛び離れているので、大陸移動にともなって、大陸とともに移動し、現在の隔離分布がつけられたのではないかと信じられてきた。

## 分子時計が大陸分断説を否定

また、ドクウツギの仲間は隔離分布しているのにたがいに形態がよく似ており、おたがいの系統関係を推定するのが困難だった。しかし、遺伝子の塩基配列データを使えば系統関係が容易に推定できる。東北大の横山潤らの研究から、ドクウツギはアジア-ヨーロッパとオセアニア-中米-南米の大きく2つのグループに早い時期に分かれたことがわかった。

遺伝子の塩基配列は時間にほぼ比例して変化するために、塩基配列が2種類のあいだでどのくらい違うかを調べれば、2種類がいつ分かれたのかを推定できる。いわゆる分子時計である。この原理を使って、上記の2つのグループがいつごろ分かれたのかを推定してみた。すると約6000万年前であることがわかった。大陸移動により6000万年前にはほぼ主要大陸は分かれてしまっている。ドクウツギが分布をひろげた時期には、大陸はすでに分断し、はなればなれになってしまっていたのである。したがって、大陸移動にともなってドクウツギが異なった大陸に分断されたという仮説は妥当でない。となると、現在の隔離分布はどのように形成されたのであろうか。今後、ドクウツギの種がどのように分散するか、渡り鳥の中に運ぶ可能性をもつものがあるのか、現在分布していない地域で化石がでないか、などさらに情報を得ることにより、隔離分布の原因が解明されていくはずである。

# 枝分かれて 何がおきたか

植物の大まかな系統関係はほぼ明らかになってきたが、系統が明らかになると枝分かれの部分でいったい何がおこったのかが気になるのが人の常ではないだろうか。

図3のように陸上植物の一部はシダ植物、裸子植物(マツなどの仲間)、そして花の咲く植物(被子植物)へと進化してきたという系統関係がはっきりした。被子植物は美しい花を咲かせる。花は単なる装飾品ではなく、子孫を残すための生殖器官である。化石からシダ植物と裸子・被子植物の共通の先祖はシダに近い生殖器官をもっており、花はもっていなかったことが知られている。したがって、シダの生殖器官は祖先的で、花は派生的な生殖器官であることがわかる。

では、シダと裸子・被子植物が分岐した点(図3)でいったい何がおこったために一方では花が進化し、もう一方では祖先に近い状態を維持しているのだろうか。ほんの10年ほど前にはこのような疑問に答えるすべはなかった。しかし、系統関係がはっきりとし、それ

に加えて、この本の前半に述べられているように植物の形を作る遺伝子があきらかになってきた。そして、異なった植物で、形を作る遺伝子機能の相違点を研究することで、遺伝子がどのように進化することにより異なった形をもった植物が進化してきたかを予想できるようになってきた。これが、新しい学問分野、「進化発生学」、いわゆるエボデボ(Evolutionary Developmental Biologyの略)である。

花は26ページで述べられているようにABC機能遺伝子によって作られる。では、花の咲かないシダ植物はABC機能遺伝子をもっていないのだろうか。調べてみると、シダにもこれらの遺伝子があることがわかった。では、いったい何をしているのだろうか。さらに、シダよりも原始的なコケや緑藻類にもABC機能遺伝子の祖先があることがわかってきた。いったいABC機能遺伝子にどのような変化がおこることによって、花が進化してきたのだろうか。現在、研究が進行している。花以外にも、葉や茎の多様性がどのように進化してきたのかの研究も進んでおり、つぎの10年後には系統樹の分かれ目でいったい何がおこったのかについて多くのことが語れる時代になるだろう。

## 食虫植物

ハエトリソウ、モウセンゴケ、ウツボカズラ、サラセニア、植物にあまり興味のないわが息子たちを植物園に連れていったときに、彼らを魅了してやまない強者たちである。虫でいったらカブトムシに匹敵する人気者である。これは、大人にとっても同じで、進化論のダーウィンは食虫植物に関する本を書いているくらいだ。しかし、いったいどうしてこんな形をしているのかはまったく謎である。私は近代生物学を習ってきたので、神様が作ったとは思わないが、それにしてもいったいどんな遺伝子が変わることによってこんなうまいものができたのか予想もつかない。なんとも不思議だ。でも、いまの分子生物学の技術を使えばこの疑問が解けるかもしれない。ぜひ、食虫植物がどんな遺伝子の変化によって進化してきたのかを調べてみたいと思っている。

図3  
ABC遺伝子の遺伝子重複による数の増加と役割分担によって花が進化した。

