

特集：植物を知るたのしみ

DNAが語る植物の進化

長谷部 光泰

私は、現在、国立の研究所で植物がどのように進化してきたかを研究している。医学や工学のように、すぐに役に立ったりお金になる研究分野ではないが、それでも生物多様性の保全や将来の人間進化の可能性を探ることにいたるまでさまざまな点で役に立っている。また、生物の進化メカニズムを知ることは生物学のさまざまな分野で実験結果を解釈するのに必須の知識となっている。そして、社会にどう貢献するかということを考えながら研究をすることは、昨今の競争的資金獲得においては必須である。しかし、いわゆる「基礎科学」には別の側面もある。それは人類がまったく知らないことを発見するということである。人類がまったく知らないことなのだから、それが役に立つかはわからない。だいたい、人間にはほとんど予知能力がない。そんなものがあれば、戦争もおこらないし、ダイオキシン汚染なんて未然に防げたはずである。したがって、遠い将来何が大事

になるか、知性の粋を集めてもわからないのである。そのような能力の限界に人間はどう対処してきたか。それは、将来大事になるかどうかはわからないけれども、とりあえず、現在人間がまったく知らないものを発見すること、そしてそれを整理して蓄えておくことである。情報と資産は処理能力の範囲内で多い方が良いにきまっている。とりわけ、国家のように多くの国民の将来を預かる立場では、このような遠い将来に向けた投資は必要欠くべからざるものである。たとえば、現在のバイオ産業におけるアメリカの大成功は、まだ誰もその重要性に気づいていなかったときに遺伝子研究に継続的な投資をしたことにある。目先の利益にとらわれていたら、将来の繁栄がないのは、歴史的にみても自明の理だ。したがって、国家は、近未来的に役立ちそうな応用科学にはもちろんだが、遠い未来に役立つ可能性がある基礎科学にも相応の投資をすることが必要になる。遠い将

来に役に立つ科学は、今とても役に立つ科学に比べて必要ないように思えるかもしれない。でもそのような研究に投資することこそが将来のために必要なのである。もちろん、明日転覆するかもしれない国家ではこんなことはできないだろうが、日本にはそれくらいの余裕はあるのではないだろうか。というより、日本ほどの大国は基礎科学への投資を欧米にばかりたよっておらずそのくらいの国際貢献をせねばならないのであり、基礎科学の推進は実際に国家戦略の一つの柱として位置づけられているのである。

では、方向はあまりはっきりしないけれども、大きな発見をするにはどうしたらよいか。この最も良い方法は、「人間の知る喜び」を利用することである。例外はあるかもしれないが、人間は新しいことを知ると快感を覚える。逆に、知らないことがあるととても不愉快になり、落ち着かない。したがって、職業科学者にいろいろな分野で現在人間が知っていることをすべて調べ尽くさせて（これは研究を始めるときの第一歩になる）、未解決の問題点や不思議な点を探させる。そうすると、職業科学者は本能的に不愉快になり、問題を解決したくなる。そして、得られた結果を国家が整理して蓄え、そのうちのどれかが役立ちそうになってきたら、すぐさま巨大な投資をしていけ

ば良い。したがって、さまざまな基礎科学の知見からどれが重要になるかを探索することが国家の重要な仕事になるのである。最近、「科学のための科学」ではなく、「社会のための科学」でなければならぬと声高にいわれている。社会の役に立ちそうな科学を推進することはもったいであるし、社会に害をおよぼす科学をすすめるのはもったいである。しかし、未来予測能力のない人間が、遠い将来の蓄えとして行なう基礎科学は、どう人に役立つか、などということを考えてはいけぬのではないだろうか。どう役に立つかを考えた時点でそれは、人間が予測可能な近未来に役立つことに限定されてしまう。きっと、遠い将来役に立つことはできないだろう。だから、人類の永続的繁栄のためには「科学のための科学」はだんこととして維持していかなければならないのではないかと思う。

基礎科学、広い意味での学術研究は文化を担うものであって、宗教、スポーツ、芸術のように国民の精神生活を豊かにするという考え方もある。まさにその通りだと思う。しかし、基礎科学の持つ意義はそれだけではないはずである。

さて、基礎科学者である私はそのように考えて、日々、知的フラストレーションに突き動かされ、朝から晩まで馬車馬のように研究をし、その結果得られる知

的充足感を快樂として生活している。そして、思いもしなかった発見がいろいろある。このプロセスをお話することが、読者のみなさんにも快樂となることを祈りつつ本稿をまとめてみた。

私は子供のころから植物が好きだった。したがって、よく植物図鑑を見て、いろいろな植物の名前を調べるのが日常だった。また、図鑑を調べることでどの植物が何科に属するのかというののだいたい理解できた。しかし、その類縁関係となると皆目わからないのである。たとえば、ある図鑑はモクレンの仲間が原始的だと書いてあるが、別な図鑑を見ると花卉のないコショウなどの仲間が原始的かもしれないと書いてある。シダ植物になると事態はさらにひどかった。シダは被子植物にくらべて花が咲かない分、形の情報が少ない。日本はとりわけ優秀なシダ学者を輩出しているのであるが、秀逸なる頭脳を結集してもシダの科の系統関係について看破した本も論文もできあがらなかったのである。また、外国の有名なシダ学者の論文を一所懸命読んだけどどれもこれもこれもさまざまな意見が述べられていて、ようするに誰も何もわかっていないのだ、ということだけがわかった。そうするとますます知りたくなるのが人情である。しかし、古今東西、優秀な研究者がいろいろ調べても結論がで

なかったのである。私は謙虚なほうなので、いまさら若輩者の自分が同じ手法を用いて同じような材料を使って新しい結果が得られるとは思えなかった。

そんなときに光明を与えてくれたのが類人猿における研究成果であった。形の情報からだけでは錯綜していた類人猿の系統関係が、遺伝子の塩基配列を比較することによって明快に明らかになりつつあり、隣の人類学教室の授業に通って勉強させてもらった。これならわかるかもしれない、と確信し、大学院でのテーマは遺伝子の塩基配列からシダの系統関係を明らかにすることにしようとした。これが1988年のことであるから、われわれが世界中のシダのほぼ全科と主要な属すべての類縁関係を明らかにした1993年まで5年もかかったことになる。

この5年間は、技術革新とデータ蓄積の時代だった。もちろん、シダの仕事ばかりしていたわけではないが、シダの科の系統関係を明らかにすべく準備を整えていった。そして、研究室のスタッフの方々のご尽力により技術、資材、予算がそろった1992年から1993年にかけて日夜、何人ものテクニシャンと卒業研究の学生たちとともに遺伝子の塩基配列解折機をフル稼働させたのである。一回の塩基配列決定実験に約8時間かかったから、1日3交代、皆で良く働いた。この

研究のしんどい点は途中で喜びがほとんどない点である。シダの系統を知りたいのだが、毎日毎日する仕事は解析機にとりつけるガラス板洗いとか、試薬の分抽、そしてコンピューターでACGTという意味のない文字の整理である。

1993年の頭くらいからは少しずつデータがたまってきたので、遺伝子の塩基配列がわかったものから類縁関係を調べていった。その過程で、同じような孢子嚢をつけるミツデウラボシの仲間とウラボシの仲間が実はまったく縁がないなんていう心躍るような解析結果が出て実験にもますます勢がはいった。そして、同じ木性シダであるが、一方は鱗片、他方は毛を持つから異なった系統だろうと思われていたヘゴとタカワラビがとても近縁であることがわかったときには、かなり知的充足感にあふれていた。何十年間も

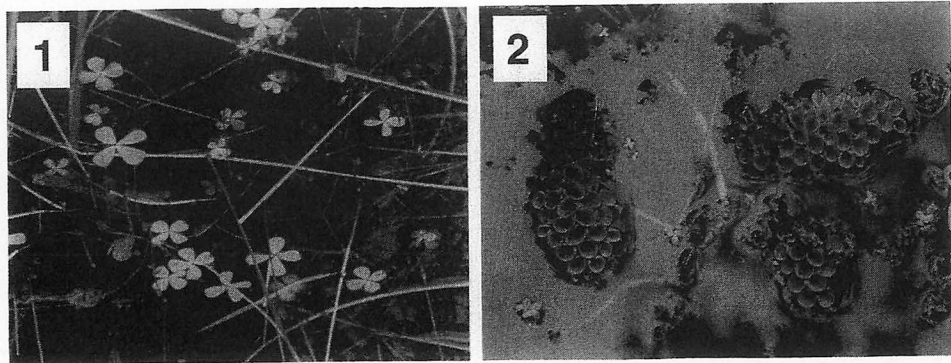


図1 デンジソウ 1：とサンショウモ 2：の仲間。他のシダ類とはかなり異なった形態をしている。

偉い先生が頭を悩ませてきた問題が次々に解けていってしまうのである。そして、なによりも自分で納得できなかった点が次々に整理されていくのである。快感である。しかし、とりわけ驚いたのは、デンジソウとサンショウモという、従来シダ類とは別の門に属するくらい異なっていると考えられていた種が実は普通のシダ類の変わりものにすぎないことがわかったときである(図1)。こんなことは今まで考えられたこともなかったし、私自身をはじめ、共同研究者の先生方もまったく信じてくれなかった。しかし、この点はまもなく解決した。コロンブスの発見とまではいわないが、人間、いわれてみてもっともだというのはよくあることである。デンジソウとサンショウモの場合も、形態を再検討してみるとシダ類に含まれるのもっともであるという結

論に達したのである。

さて、そんなわけでシダ類の科の系統関係はほぼ明らかになった。また、時を同じくして裸子植物の系統関係もおもに遺伝子の塩基配列情報を用いた研究から主要な系統関係はほぼ明らかになった。さらに、被子植物については欧米の研究者がすべての科の系統関係を明らかにした。

そうなる新たな知的フラストレーションがおこってくる。系統関係は明らかになった。では、得られた系統樹の枝分かれするところで何がおこったのだろうか。デンジソウとサンショウモが近縁であることがわかったが、では、両者の共通の祖先からデンジソウとサンショウモが進化したときに何がおこることによって、一方はデンジソウへ、もう一方はサンショウモへ変わったのだろうか。生物の形はすべて遺伝子によって支配されている。よって、言い換えれば、どんな遺伝子がどのように変わることによって、異なった種類が進化してきたのだろうか。新たな疑問である。

この問題の解決は、まず、形がどのような遺伝子によってつくられているかわからないと始まらない。幸い、このような疑問を持った1993年頃、被子植物の花をつくる遺伝子系が明らかにされつ

る。そして、陸上に生きているコケ、シダ、裸子植物などの生殖器官よりもずっと複雑である。植物が上陸したのは約4億5千万年前ころだと考えられており、化石などから、そのころの植物は現在のコケに似た形をしていたと推定されている。ご存じのとおりコケには花は咲かない。孢子嚢という袋の中に孢子をつくるだけである。孢子嚢の中で減数分裂がおこり、1倍体の孢子ができる。減数分裂を起こすような器官を被子植物にたどっていくと、コケの孢子嚢に対応する器官、いいかえると、コケの孢子嚢と相同な器官がわかる。被子植物の「葯」と「雌しべの中で将来種子になる部分の一部(珠心)」とが孢子嚢にほぼ相同である。ここでは詳しくはふれないが、明らかに花はコケの孢子嚢よりもずっと複雑である。では、いったいどのようにしてこのように複雑な器官が進化してきたのだろうか。花の進化を調べるには花自身を調べることはもちろん必要である。そして、それに加えて、花をつくる遺伝子は花の咲かない植物にあるのか、もし、あるならいったいどのような働きをしているのか。それがわかれば、花がどのように進化してきたのか推定することができるはずである。

そんなわけで花の咲かない植物から花を形成する遺伝子を単離することになっ

た。花を形成する遺伝子というのはいくつかある。その中で中心的な役割を果たしているのは約10個のMADS-box遺伝子と呼ばれる遺伝子群である。この遺伝子が花の咲かないシダやコケにあるのかを調べることになる。この研究については別の総説を参照していただければ幸いである(長谷部2000;長谷部ら2001)。結果を単純化して説明すると、花の咲かない植物にもMADS-box遺伝子があったのである。そして、花の咲かない植物ではMADS-box遺伝子は卵と精子を形成する働きを持っているらしいということがわかってきた。さらに、花の咲かない植物ではどうもMADS-box遺伝子は花の咲く植物ほどたくさんはないのではないかとわかってきた。このことから、元来、卵や精子をつくって

た少数のMADS-box遺伝子が数を増やし、増えた遺伝子が新しい機能、すなわち、花をつくるという働きを獲得していったのではないかとわかってきたのである(図2)。

植物は、いつも最低限必要な遺伝子を持って生活していると考えられてきた。無駄な遺伝子を持っていると、無駄な遺伝子を持っていないものにくらべて不利になるからである。無駄な遺伝子を複製するコストを他にまわせばもっと生存に有利になるはずだからである。しかし、実際に植物のゲノムを調べてみたら、なんともおどろくほどの無駄な遺伝子がたくさんあることがわかってきたのである。種類によって無駄の量は異なっているのでいちがいにはいえないが、全ゲノムの数割は無駄な遺伝子を含んでいる場

合が多いようである。そして、この無駄な部分こそが結果として将来とても重要な働きを担う遺伝子へと進化していったのである。無駄な遺伝子、つまり、役目を持たない遺伝子にはさまざまな突然変異がおこる。そして、そのほとんどは生体になんの影響ももたらさない変異である。しかし、あるとき、この無駄な遺伝子におきた突然変異が花のような新しい器官の創成に大きな役割を果たしてきたのである。

現在の基礎科学を無駄な遺伝子にたとえるのはちょっと気が引けるが、それで

も、花を持たなかった頃の花をつくる遺伝子のように、人類の将来に大きく花開くものを含んでいるはずであると思いつつ研究をすすめている。

(基礎生物学研究所)

参考文献

- 長谷部光泰：「植物形態進化を引き起こした遺伝子進化」pp. 23-53. 岩槻邦男，加藤雅啓編：「多様性の植物学(2)」(2000) 東京大学出版会
 長谷部光泰，小藤果美子，田辺陽一，伊藤元己：「MADSボックス遺伝子と植物の生殖器官の進化」蛋白質核酸酵素(2001) 46：1358-1366

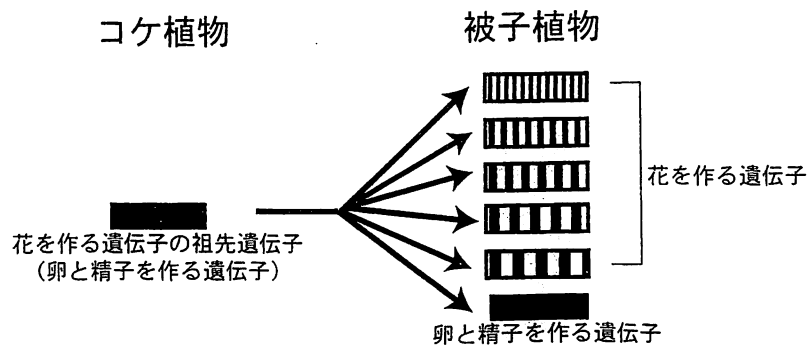


図2 花をつくる遺伝子の進化を模式的に示す。横線が遺伝子をあらわし、波線は互いに異なった遺伝子であることを示している。コケで少数だった花をつくる遺伝子の祖先遺伝子が遺伝子重複によって増幅し、花をつくるという新しい機能を獲得した。