

公開講演会：（2002年3月2日<土>午後2時～）

講演会テーマ：『遺伝子のはなし』

講師：東京大学 総合文化研究科助教授 伊藤 元己先生

経歴：京都大学博士課程終了後、千葉大学理学部助教授を経て、平成12年4月より現職

ご紹介にあずかりました東京大学大学院総合文化研究科所属の伊藤元己（いとう もとみ）と申します。

先ほど紹介頂きましたように、私の専門は植物学です。最近の生物学では、どの分野におきましても、遺伝子ぬきでは話が進まなくなってきました。遺伝子レベルでは地球に現存する生物の仕組みは全て同じですから、植物が研究の対象ではありますが、今日は遺伝子をテーマとしてお話をさせていただきます。

総論

遺伝子は生物の設計図によくたとえられます。設計図というのは、遺伝子を見ると生物の体がわかるわけですが、遺伝子のどこに生物の体の設計図があるのかという疑問が湧いてきます。遺伝子の実体はDNAです。DNAと言うのは正確にはデオキシリボ核酸という物質で、遺伝子の実体であることが現在は判っています。DNAを模式化しますと二重の螺旋構造をとった分子で、これが遺伝子の実体です。

DNAについては非常に重要な点が2点程あります。

第1点は、DNAの中身で、4種類の塩基が延々と連なっている構造をとっています。

4種類の塩基とは、普通アルファベットでA（アデニン）、T（チミン）、G（グアニン）、C（シトシン）です。この4種類の塩基は、必ずAとT、GとCがペアとなっています。

第2点は、DNAの構造について1953年に初めてワトソンとクイックがネイチャーという雑誌に寄稿しました。DNAは4種類の塩基が延々と連なっていて、それが必ずペアになった二重の螺旋構造をとっています。

以上の2点が非常に重要な点です。

DNA、即ち遺伝子は『体の中のどこにあるのだろうか？』ということが、次の問題になってきます。

細胞には色々な構造があり、細胞の中心に核というところがあります。遺伝子すなわちDNAは、ほとんどのものがこの核の中に入っています。

通常の状態では、この核の中でDNAはあまり凝縮せずにまばらな状態で浮かんでいます。そのDNAは細胞が分裂をする時、染色体というものになります。染色体ではDNAの二重螺旋が非常に凝縮した状態になります。DNAの凝縮した状態が染色体と呼ばれるもので、この染色体というのは昔から知られています。たとえば、人の染色体は22対の染色体と Yという性別を決定する染色体の23対からなっています。

二重螺旋のDNAの構造がありますが、それがヒストンと呼ばれるタンパク質に巻かれて色々な立体構造を造り、段々と凝縮して1本1本の染色体を造っています。この1本の染色体は、まっすぐ伸ばすと1メートルぐらいの長さのDNAとなります。通常DNAは核の中では凝縮した状態をとらずに存在しています。

次に、遺伝子とは、どの様な働きをするのでしょうか。

さきほど遺伝子は体を造ると言いましたが、具体的に遺伝子から何ができるのかと言いますと、遺伝子を基に作られるものは、ほとんどがタンパク質です。我々の体を作っている物質には色々なものがあり、一番多いのは水分ですが、水分を除き有機物質で一番多いものはタンパク質になります。タンパク質はアミノ酸という分子がいくつも連なったもので様々な種類のものがあります。このタンパク質を作るといのが遺伝子の一番大きな働きです。タンパク質を具体的に言いますと、我々の体の筋肉、皮膚、あまり多くはないですが骨にも含まれ、タンパク質は体の構成要素です。

体を構成する以外にも酵素と言う体の中で色々な反応を起こす、例えば「エネルギーを作る」等、様々な働きをするものもタンパク質からなっています。

遺伝子の配列ですが、二重螺旋構造のものが延々とAの相手はT、Tの相手はAというように2列に並んでいます。

DNAの配列によって、ある特定のアミノ酸を指定して、その結果として繋がったタンパク質が出来るとい働きをします。DNAは通常、2本の鎖が螺旋構造をとっています。この二重螺旋構造をとっている状態では外から何かが働くということはできません。実際にDNAが働く時には二重螺旋がほどけます。そうすると2本の別の鎖として、AとT、GとCのペアが離れます。2本の鎖が離れますとA、T、G、Cという塩基が露出します。

そこで、遺伝子が働く時に、これらの塩基の並びに従ってDNAの塩基Aに対してはRNAの塩基U、DNAの塩基Tに対してはRNAの塩基Aというように、相補的なものがコピーされて、メッセンジャー（伝令）RNAというものが造られます。

（*RNAの場合は、4種類の塩基の種類A（アデニン）U（ウラシル）G（グアニン）C（チミン）です。DNAのT（チミン）の部分がU（ウラシル）となります。）

メッセンジャーRNAにはDNAの塩基の相補的なものがコピーされ、DNAの、もう一方の離れた鎖の配列をコピーしたようなものが造られます。

遺伝子から直接作られるのはメッセンジャーRNAという物質で核の中で起こる反応です。核の中で遺伝子の情報「どの様な順番で、どの様な塩基が並んでいるのか」という必要な部分だけをこのメッセンジャーRNAという核酸の一種に写しとります。

最近では、情報ということが色々な面で我々と関係して来ますが、遺伝子の情報というものがDNAからメッセンジャーRNAにコピーされます。この過程は「転写」と呼ばれます。メッセンジャーRNAが造られて初めてDNAの情報が核から出ます。この段階でメッセンジャーRNAが細胞の細胞質という部分に行き、タンパク質を造る過程に入ります。このAUGCという4種類の塩基の並びからタンパク質が造られる過程ですが、ここも非常に重要な箇所です。

実はタンパク質を造っているのはアミノ酸という物質です。通常、我々が扱っているアミノ酸は20種類あります。地球上に現存する生物は、ほぼ例外なく20種類のアミノ酸を使ってタンパク質を作っています。

4種類の塩基から20種類のアミノ酸の種類を特定しなくては行けないということになります。何種類の塩基の組み合わせで20種類のアミノ酸が特定できるかと言いますと、例えば1個の塩基が1個のアミノ酸を指定するとなると4種類の塩基しかありませんからアミノ酸も4種類しかできません。20種類には到底足りないわけです。2個の塩基の組み合わせで1個のアミノ酸を指定しますと1個の塩基に4通りありますから4の2乗で16通り、やはり20種類のアミノ酸には足りないのです。実際は3個の塩基の組み合わせ（コドン）で1つのアミノ酸を指定していますので4の3乗、組み合わせの数が64通り出てきます。その64通りの組み合わせ

の中から1個のアミノ酸を指定する仕組みになっています。

トランスファー（運搬）RNAという、アミノ酸を運んでくるRNAがあります。これは、メッセンジャーRNAと同じ物質で出来ていますが役目は違います。トランスファーRNAは遺伝暗号に対応する3つの塩基配列の並びを持っていて、そのメッセンジャーRNAの3塩基で示される1個のアミノ酸をつけて運んで来るといふ働きがあります。

例えば、メッセンジャーRNAにCUGという塩基の並びがあったとします。そうした場合それと相補的なGACという塩基を持ったトランスファーRNAが持ってきたアミノ酸を、ひとつ前のアミノ酸とペプチド結合させて1個のタンパク質というものが造られます。

この過程で何が起きているかと言いますと、遺伝暗号という遺伝子の上の塩基情報をアミノ酸の配列というものに置き換える仕組みを持っています。この仕組みが遺伝暗号です。20種類のアミノ酸を並び換えるという事で「翻訳」と呼ばれます。DNAの遺伝子情報はひとまずメッセンジャーRNAという核酸に写しとられて、さらにトランスファーRNAが核酸の運んできたアミノ酸に特定の並びがあった時にペプチド結合をする仕組みになっています。我々が遺伝子を見て判るのは塩基の並びですが、そこから、どの様なタンパク質が作られるかというのは、この仕組みが判れば遺伝子を見ることによって何が出来るかと予想をすることが可能になるわけです。この仕組みは「セントラルドグマ」と呼ばれ、分子生物学の1番基本的な仕組みと考えられています。

DNAには2つの鎖があってそれぞれ相補的なものが結合しています。この状態ではお互いが、固く結合していますので遺伝子は不活性な状態です。例えば、何らかの理由によって1箇所抜け落ちたとしても相補関係にあるものが残っていれば、抜け落ちた箇所が何の塩基であったかが判りますので簡単に修復ができます。このDNAは2本の鎖でできている非常に強固な物質です。遺伝子は簡単に変わって貰っては困る情報です。こういう大切な情報がDNAという形で2本の鎖の中に蓄えられている理由は、1つは非常に強固な構造で一部が欠けても相補関係にある塩基がきちんとしている限り、元に復元する事ができるのです。DNAが2本の鎖でできているのは一部が欠けても復元が可能だということと関係しているのではないかと思います。

DNAの情報が活性化されると、二重螺旋が外れて片側の部分が剥き出しになり、その配列に対応したものを相補鎖と言いますが、片方の並びを元に当てはまるメッセンジャーRNAが合成されます。メッセンジャーRNAは1本鎖ですから、塩基情報というのは露出しています。これを元にトランスファーRNAがアミノ酸を運んできて、例えばAUGという3つの塩基の組み合わせになるとメチオニンというアミノ酸を指定するのです。

トランスファーRNAによって次々に3塩基づつの単位でペプチド結合されるアミノ酸が運ばれてきて、アミノ酸を繋げてゆくことによって、最終的にタンパク質が生成されます。このタンパク質はリボソームという場所で造られます。

セントラルドグマという仕組みも重要ですが、もう1つ重要なものとして遺伝子情報は必ずDNAからタンパク質へと伝えられるという点です。

タンパク質のほうからDNAのほうに遺伝子情報が伝えられることは決してないというのがセントラルドグマの非常に重要な点です。

最近、この『情報の流れが一方向である』ということに例外が見つかっています。逆にタンパク質のからDNAのほうに、情報が伝えられる仕組みがあるというのですが、我々の体の中にある遺伝子の働きの観点から見るとほとんど重要ではないことです。

基本的には遺伝子の情報の流れはDNAの遺伝子からタンパク質へ向かうという一方向であると考えて頂いて結構です。タンパク質を元に遺伝情報がDNAに伝わるということは現在の生物学の常識では考えられないのです。

しかし、最近になって話題になっているのが狂牛病です。狂牛病の原因になっているのはプリオンと呼ばれるタンパク質ですから「タンパク質の方から何か遺伝子のほうへ情報をフィードバックするようなものがあるのではないか」ということも考えられています。

しかし、そのメカニズムは判っていません。狂牛病やヤコブ病の問題で我々が非常に不気味だと思ふのは病気自体の問題もありますが、その仕組みが判らないからです。

何故、悪性プリオンは広がっていくかというメカニズムがまだ解明されていないというのが一番気持ち悪いと感じる原因です。病気の中には仕組みが解明されたものが色々ありますが、狂牛病の場合、原因は悪性プリオンという正体は判っているのですが、どのようにして伝わっているか、そのメカニズムは判明しておりません。これから解明される問題と思います。現在は色々な所で研究がされていますので、近い将来そのメカニズムも判ると思います。

解明された時にはタンパク質のほうから遺伝子のほうに遺伝子情報が流れるということが出てくるかも知れませんが、現在判っています範囲では遺伝子の情報はDNAからタンパク質へ伝わるという流れだけです。

遺伝子とは何かということで、生物の体の設計図といいましたが現在のようコンピュータが普及している時代ですと「生物の体を造りあげる、体を維持する方法を書いたプログラム」と言ったほうが時代に即しているのではないかと思います。人間が見ても判らないような塩基の配列、4種類の塩基が延々と並んだものがタンパク質を造りあげます。タンパク質を造る場所はリボゾームという場所です。リボゾームというハードウェアを通してタンパク質という製品が出てくるということは、この遺伝子の部分は情報(ソフトウェア)です。

情報が写し取られて、それを元にしてタンパク質が作られるということです。この部分は今のコンピュータプログラムと良く似たものではないかと思います。少し見ただけでは分かりませんが、情報を解釈すると何らかのことができるのではないかと思います。

最近ではコンピュータウイルスが問題になっていますが、うまく表現した言葉だと思ふます。

人間を含めた生物にも感染するウイルスがいて色々な病気を引き起こしています。ウイルスは細胞の中に入り込む、或いは細胞の中のタンパク質を作る仕組みを使って、自分自身が増えてゆくというものなのです。コンピュータウイルスもやはりプログラムの断片の情報として入り込み、それがハードウェアを使って自分自身をどんどん増幅してゆくという増え方は、情報がどんどん増殖してゆくという点では非常に似通ったもので非常にうまいネーミング(命名)だと思ふます。

現在は、遺伝子というものが色々なことに使われておりますが、これからトピックス的にお話してみたいと思ふます。

トピックス1

進化を遺伝子というものを使って見るのが可能です。遺伝子の働きとは直接的な関係は無いのですが時計としても使えるのです。その性質を利用して遺伝子を調べることによって過去の生物の進化を調べるのができるのです。

では、どの様に時計としての働きができるのかと言いますと、遺伝子は非常に保守的なものです。先ほど言いましたように生物の体を造っていきます。ある固有の生物に着目しますと、その生物である為の情報が遺伝子の中に入っています。ですから簡単に

変わって貰っては困るわけです。これが変わってしまいますと、違った生物になってしまいます。ですから、親から子に正確に伝えられないと困るということで非常に保守的な変わり難いものです。

しかし、非常に長い時間の間には遺伝子にも変化が起こります。これが突然変異といわれるもので、様々な原因によって引き起こされます。身近なものとしては紫外線、或いは放射線です。これらのものによって一部の遺伝子の情報が書き換わってしまう、他の塩基に置き換わってしまうということが起こります。ですから、非常に強い紫外線や放射線を浴びると我々の体の中でも突然変異が起こり、それが元になって癌などが引き起こされるのです。

その様な変化を長い時間、何十世代とか何百世代という時間で考えますと、必ず遺伝子の一部の所に突然変異のような変化が起こってきます。例えば、親が持つ1個のAという塩基が、子供ではCという塩基に変わってしまったと仮定します。そして、別の子供では親が持つ1個のTという塩基が子供ではGという塩基に変わってしまったというようなことが起こったと仮定します。その時点においては、祖先から比べると1個ずつ塩基が変わっているのですが、この子供同士を比べてみますと2個の塩基がお互いに違うということになります。さらに世代を重ねていくと、この様な塩基の変化はランダムに起こります。

どこが変わるかというのは偶然によるものですが、重要なことは時間が経つにつれて或る一定の割合で、どこかの塩基が変わることです。

時間の経過と共に違いが広がり、或る種類があって、別の種類に分かれて時間が経てきたことを考えますと、お互いに共通の祖先から分かれてからの時間が経つに従って、お互いの遺伝子の違いが広がってくると言えます。

どの程度お互いの遺伝子が違うかを見ることにより「その2つの種類や生物がどのくらい昔に祖先が共通であったか」ということがある程度判ります。

例えば、人とチンパンジーやゴリラなどの霊長類では種が分かれてからわずか400万年くらいというように推定されています。人とチンパンジーやゴリラなどの霊長類の遺伝子を比較するとほとんど違いありません。実際、人とチンパンジーの遺伝子を比較すると99%くらい一致しますから、ほとんど違いが無いわけです。人と犬や猫の遺伝子を比較しますと、遺伝子の違いも霊長類との違いよりも大きく、遺伝子の一致は95%~97%くらいです。

遺伝子がどのくらい違っているかにより分化後の時間を知ることができるのですが、分子時計といわれるものです。

遺伝子の違いを2つの生物がどのくらい前まで遡ると共通の祖先に行き当たるかを推定する時計として扱うことができます。

実際に調べた脊椎動物（背骨のある生物・・・哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類、魚類）の、7種類の遺伝子のヌクレオチド（4種類の塩基）の置換数を縦軸とし、化石の宝庫の証拠から推定した生物の分岐年代を横軸としてプロットしてみますと大体比例した直線になります。時間の経過と共にヌクレオチドの置換というのが蓄積してゆくということが判ります。すなわち、時計としての働きをしていることの根拠になっているのです。

実例ですが、細胞の中でエネルギーを造る過程で重要となるチトクロームCというタンパク質があります。チトクロームCのアミノ酸の置換数です。それぞれの脊椎動物で、何個チトクロームCのアミノ酸が違っているかという数（アミノ酸の置換数）です。

例えば、人と同じ哺乳類ですとアミノ酸の置換数はせいぜい20個程の違いですが、鳥と比べると30~40個くらいの違いがあります。魚になりますと60個~80個くらい違ってきます。系統関係というのは、チトクロームCのアミノ酸の置換数等から推測されていますので、古い時代のものほどたくさん換わっているということが実際のデータからも支持されます。

実際、では今までの考え方が覆った例があるかということですが、人の起源について分子時計という考え方が考えられる以前、人は相当昔の時点でゴリラ、オランウータン、チンパンジーという霊長類とは独自の進化をしてきたものであって500万年～1000万年くらい前に他の霊長類と分かれて進化してきたものだと考えられていました。

これは主に頭骨（とうこつ）の化石から考え出された年代です。化石の人類の位置を考えてこういう考え方が出されてきたわけですが、人、チンパンジー、ゴリラ、オランウータンを分子時計を使って遺伝子の中身を比較してみますと、人とチンパンジーやゴリラというのは比較的近く、オランウータンは少し違っているということが判ってきました。さらに、人、チンパンジー、ゴリラ、この3つの生物の分かれた時期は分子時計というものを使って推定すると約400万年くらい前で、化石の証拠（形態からの推定）では数千万年というように推定されてきたのですが形態からの推定は間違いで、もっと新しい時代に人、ゴリラ、チンパンジーが分かれたことが判りました。つまり400万年から500万年くらい前の時代では、この3種類には共通の祖先があったと現在では考えられています。

このように分子時計を使って様々な生物の系統関係、進化の歴史が現在では解明されてきて、今までの形態から推定されていた関係とは違った結果が色々なところで出てきています。研究は今も未だ完全には終わっていませんが、最終的な地球上の生物の道筋というのは、この分子時計を使うことによって明らかになってくるのではないかと思います。

遺伝子を調べるのが、遺伝子本来の話とは違いますが生物の進化を明らかにする事に役立っているというお話です。

トピックス2

最近それぞれの遺伝子がどのような働きをしているのかということについて、かなり色々なことが判ってきて非常に盛んに研究されています。今まで生物学者は生物の形、或いは機能を色々研究してきましたが、最近になって遺伝子から考えることができるようになったという1つの例として花を造る遺伝子についてお話をしてみたいと思います。

普通の花は、一番外側に「がく」があって、その内側に「花弁」、その内側に「雄しべ」、その内側に「雌しべ」という構造でできています。この一部が抜け落ちる事はありますが、この要素の順序は例外なく決まっています。実は世界の中には1種類だけ例外はあるのですが、それ以外は一部の要素が抜け落ちたり花弁がたくさんになるとか雄しべがたくさんになるということはあるのですが、出てくる順番、がく、花弁、雄しべ、雌しべ、という順序は非常に頑なに全ての花で守られています。では、どうしてこの様な順序で出てくるのだろうか、どの様に花びらができてくるのかということですが、それについてここ10年くらいで非常に大きな進歩がありました。

シロイヌナズナというアブラナ科の植物があります。実際10センチか、20センチくらいの小さな雑草です。日本にもありますが、殆ど顧みることのなかった植物です。

このシロイヌナズナという植物は現在では非常にたくさんの研究者が研究対象にしています。色々な特徴がありますがシロイヌナズナは雑草ですので、種を蒔いてから花ができるのが非常に短期間なので遺伝の解析をし易いということで、色々な研究をしているのですが、そのシロイヌナズナという植物の中には突然変異を起こして、おかしな花を造るものがあります。それら突然変異の研究によって花を造る遺伝子というものが判ってきています。いくつか、その例を挙げてみます。

「花弁」と「がく」が無くなってしまふものがあります。花を見て「これが花なのだろうか」と思われる方もいらっしゃるかも知れません。もちろん、園芸的な価値は全くありません。

それから、八重です。八重のほうは「雄しべ」とか「雌しべ」が花弁化したもので、これは園芸的には非常に価値があつて八重桜等です。

少し時期が遅くなりましたけれども山茶花や椿でも八重があつて園芸的には非常に重要なものです。この様な八重のものが主に商業的には流通しています。

花の形からずれたものを色々集めてきて解析をした結果、がく、花弁、雄しべ、雌しべがどの様に造られるかという仕組みについて判ってきました。その解析の結果からA B Cモデルという、花を造る遺伝子の働きのモデルが作られました。それは、どの様なものかといいますと、遺伝子の働きというのは花の中には3つあります。

[図 - 1 : 正常な花の場合]

A B Cというの、AとBとCという3つの働きのことです。

- ・ Aという機能を持った遺伝子が働いている部分・・・がく、花弁のところ。
 - ・ Bという機能を持った遺伝子が働いている部分・・・花弁、雄しべのところ。
 - ・ Cという機能を持った遺伝子が働いている部分・・・雄しべ、雌しべのところ。
- (Aだけ がく、 A + B 花弁、 B + C 雄しべ、 Cだけ 雌しべ)

変な花に見られた変化は、この中の1個が優れた結果、または、この中の1個の機能が失われた結果によってできた突然変異体であろうということをお話したいです。どの様になるかをお話したいと思います。

Aという機能が失われた結果、どの様になるかと言いますと、本来はAという機能がありましたが、Aの機能がなくCの機能が全てのところで出てBの機能が2と3で出るということになり「雄しべ」となります。その結果どの様な花の形態になるかと言いますとCだけ働いているところでは「雌しべ」になりますから一番外側、本来は「がく」になるところはCだけしか働きませんので「雌しべ」のようなものになります。実際に見てみますと外側のがくに当たる部分に雌しべの柱頭のようなものが出てきて種の元になる胚珠のようなものが付いています。

[図 - 2 : Aという機能が失われた場合]

Bという機能が失われた結果、Cという機能が失われた結果は下記のA B Cモデルの予想と非常に合ったものです。現実に作られた突然変異体の花を元にしてこのA B Cモデルが作られたのですから当然なのですが、がくと花弁、花弁と雄しべ、雄しべと雌しべ、というように突然変異を起こした花では隣り合った2つの器官が変わっています。

[図 - 3 : Bという機能が失われた場合]

[図 - 4 : Cという機能が失われた場合]

A B Cモデルの予測ですが、これだけでは突然変異体を元にしたモデルなのでAという機能を持った遺伝子、Bという機能を

持った遺伝子、Cという機能を持った遺伝子が現実には働いているのかという事は分からないのですが、2個の機能を壊してみた時にモデル通りにいくのかということです。

例えばAとBの両方を壊すとC機能のみになります。C機能が出ているところは全て「雌しべ」になるのです。

同じようにBとCの両方を壊すとA機能のみになります。A機能が出ているところは全て「がく」になるのです。

同じくAとCの両方を壊すとB機能のみになるのですが、自然の花ではB機能だけ出ているというものはなくBのところには必ずAかCが出ていますので、この様な花は現実にはありませんが、どの様になるのかを実験してみますと、先ほどの突然変異体を掛け合わせることによって2つの機能を壊したものを造ることができます。その様な場合、何ができるのかというと先ほどの予想通りBとCを壊してしまったものを造った場合は、全て「がく」が内側まで続いているというものになります。

AとBという機能を壊した場合は二重突然変異体ですが、これも予想通りCだけですと「心皮（雌しべの構成要素）」だけになるのです。

1番外側から柱頭のようなものが上に付いているという「雌しべ」のような形態を持ったものができているということで予想通りです。

少し特殊ですが、AとCという機能を壊した場合は自然界にはBだけの部分というところはありませんが、その様なものを作りますと1番外側の「がく」よりは「葉」に近い、がくと葉の違いというのはシロイヌナズナの場合は毛が生えているかどうかということで判るのですが、毛が生えていて葉に近い形態を持っていて、その間に花弁とも雄しべともつかない中間型が出るという事になり、現実にはありませんが予想されるものに近いような形になります。

[図 - 5 : AとBという機能が失われた場合]

[図 - 6 : AとCという機能が失われた場合]

さらに、3つの機能を全て壊してしまったらどの様になるのかということですが、これは、がくや花弁、雄しべや雌しべでもないもの、何かと言いますと「葉」です。

葉が花の蕾のように巻いた状態になります。この様な状態から花というのは葉が変化した器官でできているということが推測できるのです。A B C全ての機能を壊してしまうと「葉」になるということが現在では判っています。逆に、この3つの遺伝子と、もう1個重要な遺伝子があり、それを働かせることによって逆に葉を花に変えると言いますか、花弁のように白い色をつけることも現在では行われています。

このA B Cモデルというものが、花を造る遺伝子の働きの構造として重要な働きをしているということが判っています。この様な仕組みが判ると様々に花を改変する事が現在では可能になっています。

例えば、八重のものというのはCの機能の遺伝子を壊してしまえば八重になるということが判っています。ですから、八重の花を造るとするのは1個の遺伝子を壊せば良いということが判っています。自然状態でも八重の花を持った植物というのは色々ありますが、おそらくこのC機能の遺伝子が壊れているのだと思います。人工的にも八重の花を持った植物を造ることもできます。ドクダミは1番外の花と思われている総苞（そうほう）と呼ばれる白い部分は花弁ではなく葉です。葉ですけど白い色をしています。そこでは、花弁を作るのに必要なA機能とB機能を持った遺伝子と、もう1個重要な遺伝子があり、その3つの遺伝子が発現

して花卉を造るのと同じような仕組みで花卉状の状態になっているということが判りました。その様な事を人工的にすることによって花を色々改変することが現在では可能になっています。実際にはそれほど多くのもものでは試みられてはいませんが、基本的には可能になっています。

トピックス3

過去の生物を蘇らせることが可能かどうか、映画ジュラシックパークは5年くらい前に作られた映画ですが、できた時に見て「遺伝子工学的な部分は結構ちゃんとやっているな」と思いました。現在では映画の内容も古くなっていると思いますが、色々な恐竜の話というのがあります。

過去の生物を現在に蘇らせることができるかどうかということですが、やり方としてはこうすれば良いということは判っています。どの様にするかと言いますとまず絶滅した生物のDNA「全てのゲノム、遺伝情報」を含んだものを確保しなくてはならないわけですが、これが一番難しい段階と思います。

映画ジュラシックパークの場合は琥珀の中に閉じ込められた、しかも蚊が吸った恐竜の血液というものを使っていますが、あのような状態ではDNAは採取できません。実際、琥珀の中に色々なものが閉じ込められてそこからDNAを採るという努力がなされていて、ジュラ紀や白亜紀のものから採取されたという報告はありますが、そのくらい古いものになるとDNAが分解してしまっていて数千万年前や一億年くらいになるとDNAが本当に確保できるかどうかという、これは非常に大きな問題です。ただ、数十年、数万年という長くても百万年くらいのもものでは、DNAを取り出して情報を読むということが現在では可能になっています。

特に人間が絶滅させてしまったような生物ですと、ごく最近ですから、DNAの確保というのはそんなに難しいものではありません。日本の朱鷺(とき)は一羽が生きていますので、その様なものから確保しておくDNAの保存は難しいことではありません。

次にDNAの情報を解読する。すなわち、DNAにどういう遺伝情報が載っているかということ、全部読み取るわけです。これも昔は「本当にできるのだろうか?」と言われていたのですが、現在ではそれ程大きな障害では無くなっています。

2000年の暮れに、当時のアメリカの大統領クリントンが演説で「非常に画期的な年である」と言いました。それは人のゲノムの解読がほぼ終わったという演説でした。

皆さんテレビで見られた方もいると思いますが、ヒトゲノムプロジェクトというのが10年くらい前から行われていまして、始まった時には数十年かかると思われていました。

人のDNAの情報というのは、どれだけあるかということ30億の塩基からなっています。先ほど言いましたATGCが30億個並んだもの、それらを全部読み取るには数十年かかると言われていました。しかし、ここ10年くらいの技術的な発達で加速的に読み取るスピードが上がったということと、もうひとつはそれが非常に利用価値が高いということが判り非常に多くの人が入りましたので、10年ほどで終わってしまいました。全情報を読み取るということは現在ではそんなに大きな障害ではなくなっています。

全DNAが読み取られた生物というのは、人は勿論そうですが、それ以外にも、去年終わったというものは、先ほどのシロイヌナズナという植物です。これとショウジョウバエのDNAの解読も終わっています。もうすぐ終わるといえるのは、稲やフグです。

これらの生物のゲノム解読も数年で終わってしまうと思います。

DNAを読み取ったものを、その通り配列を並べて合成し細胞の中に入れて遺伝子が働くようにすれば良いのです。その様な方法で昔の生物のDNAに入っている遺伝情報を全部読んで合成して細胞に入れると昔の生物ができるはずです。

言うのは簡単ですが、実際ここまでするのはDNA採取と、最後の合成の段階が現在の技術水準では難しいのです。DNAの情報の解読は、お金をかけさえすればできる時代になっています。

何故ここまで分子生物学、或いは、遺伝子工学と言うものが発達してきたかということと技術的に進歩したということです。その1つは遺伝子のある部分を簡単に増幅できるという技術が開発されたことです。二重螺旋の構造を持ったDNA、1個の遺伝子は細胞の中に2コピー、両親から来ますので2つのコピーしか無いのですが1つの核の中に簡単に増幅できる方法ができました。

DNAは二重螺旋をほどいてメッセンジャーRNAを合成すると言いました。それと同じようにDNAの二重螺旋をほどいて、そこから、或る部分の配列を非常に多くの数に増やすという技術です。

DNAの二重螺旋をほどいてDNAの断片を入れて合成酵素を入れます。すると最初に入れたDNAの断片を基にして、その相補鎖が造られ1対の鎖であったものが2対4本になります。それをもう一回繰り返すと2倍になって、また2倍になるというように、この反応を20回繰り返しますと、2対の19乗、524,288対1,048,576本のコピーになります。

こうして細胞の中に2コピーしかないものを大量に増やすことができます。大量にあると解析しやすいという利点がありまして、これをPCR法：ポリメレンス・チェーン・リアクション（合成酵素の連鎖反応）と言います。この様な方法で実際にDNAを増やすことが可能になっています。非常に小型のサーマルサイクラーという温度を3種類繰り返し上げたり下げたりする装置がありますが、これでPCR法を行うことが可能です。

DNAの配列を解読するには昔は放射性同位元素を使って「ラダー」と呼ばれるフィルムに焼き付けた縞模様を読むという方法が使われていましたが、現在は機械で自動的に読み取れます。出力されてくるものは波が出てきまして、それぞれ色が先ほどのATGCにあたるものでコンピュータが機械から自動的に信号を拾ってDNAの塩基配列を決めてくれます。本当に手軽に、サンプルをセットしてコンピュータのスイッチを押せば自動的に得られるようになりました。

この様なことからDNAの塩基配列決定、ゲノムプロジェクトはどんどん進んでいまして最新のものですと350本程が1時間くらいで全て終わってしまうような機械もあります。そういう機械を使いました場合は30億個といっても数ヶ月の仕事になってしまいます。

昔の生物を蘇らせるということとは別に「ドリー」というクローン羊が話題になりました。ドリーが造られたのが1997年2月でした。その時かなり大きな衝撃が走りました。

クローンの羊は良いのですが、簡単に人間のクローンも造れるところまで技術が発達してしまったということです。

ネイチャーという雑誌に載ったものですが、猫のクローンもできました。

細胞内部に存在する核のクローンの元になった猫と、クローンの猫をお腹の中で育てた代理母がいます。そのクローン猫は、CC（カーボンコピー）と呼ばれています。CCと名付けられたクローン猫は核を提供した猫に良く似ているのですが、毛の色が少し違うそうです。それは完全なクローンではないからです。

核の中にあるDNAは同じなのですがミトコンドリアが違うので完全なコピーではないのです。その理由は核以外にも細胞の中に遺伝子があるためです。それらはミトコンドリアと植物では葉緑体の中にもあります。

核の中にあるDNAだけで全てが決まっているわけではなく、ミトコンドリアと、植物の場合では葉緑体にも遺伝子が存在し、それらの組み合わせで全ての運命は決まるわけです。

クローンを造ることが羊でもできる猫でもできるということは、人間でもやろうと思えばできるということです。クローンと言うと何か非常に気持ちの悪いものだという認識があるかも知れませんが、クローンというのは身近にたくさん在るものです。

例えば西洋タンポポは種子はできるのですが花粉は外から付く必要がありません。勝手に花の子房の中で胚ができて親と全く同じ遺伝子を持った種子ができます。ですから西洋タンポポというのは全てクローンです。ですから親と全く同じ遺伝組成を持ったものができて、それが種子で広がるのです。その他にも日本の彼岸花はクローンです。彼岸花は、種子はできないのですが地下の芋という形で広がります。これも調べたことがあります。日本の彼岸花は、ほぼ例外なく同じ構成の遺伝子を持っていました。動物のほうではアブラムシ（蟻巻）です。

アブラムシは子供を産む時に単為生殖（たにいせいしよく）ということをして、雌だけで自分と同じクローンを造ってゆくということを行います。生物界でクローンというのは特別なものではなく一般的に見られるものです。そのクローンというものを人間は色々と利用しています。ジャガイモは芋で増えます。親芋を切って、次の小芋を育てます。この子芋は親と同じ遺伝子を持っているのでジャガイモ等はクローンを食べていることになります。他には芋とか球根によって増殖させているものはクローンを増殖させていますし、或いは、挿し木（さしき）これも同じ遺伝子を持ったクローンを使うということで、クローンを利用することは昔から一般的に行われていることです。

クローン羊のドリーが造られた時に日本でもクローンの牛というものが造られているというニュースと一緒に報道されていましたが、このクローンの牛というのは胚分割によるクローンです。これはどの様なものかと言いますと良い遺伝子を持った雄と雌を掛け合わせて受精卵を造ります。

受精卵は細胞分裂により胚発生をして体ができてくるのですが、その時に細胞が4つぐらいになった時に細胞の1個、1個をばらばらにして、また1個の状態に戻して幾頭かの雌牛の子宮に入れるということでクローンを造るということです。

この方法は一卵性双生児ができる時と全く同じ過程です。一卵性双生児というのは受精卵が何らかの刺激で2個に分かれた時に、それぞれがばらばらに離れてしまい別の個体として発生してくるということです。

それを人工的にやっているということであって仕組みとしては同じです。

同じ遺伝的組成を持ったものが生まれて来るのです。

ですから、こういうクローンで造られた牛の肉というのは「非常に気持ち悪い」という反応が一部でありますけれど、これは言えなれば同じ親から出てきたジャガイモを育てて作っているのは気持ち悪いというのと同じようなものだと思います。

これらのクローン技術は新しいものではなく蛙、魚などではかなり前から行われていた技術で、実際の家畜などで利用されてきましたのは最近ですが、技術的には19世紀終わりくらいから利用されていたということです。

問題なのはクローン羊のドリーが造られた過程です。体細胞核移植によるクローン技術と胚分割によるクローンとは、どこが

違っているかと言いますと、胚分割によるクローンは受精をさせてできた細胞を分割するという事だったのですが、体細胞核移植によるクローンは体の一部の細胞になっているものから核を取り出して別の卵細胞の中の核を取り除いて換わりに入れて造るという方法です。

すでに育った個体の遺伝子をそのまま持っていったものを造るというところに一番大きな違いがあります。その点が一番倫理的なことでも問題になるのですが、先ほどのものと生物と言えないような受精卵の状態、つまり個体とは言えないような状態を分割するわけですが、体細胞核移植によるクローンは個体として完全にできたものをクローンするという事で、特に人間が絡んできた時に非常に倫理的に問題になるのです。

この体細胞の核移植によるクローンと、胚分割によるクローンでは結果は良く似ているかも知れませんが、非常に違ったものだという認識をして頂きたい問題です。

もうひとつ体細胞核移植によるクローンは完全なクローンではありません。胚分割によるクローンは完全なクローンですが、体細胞核移植によるクローンの場合だとDNAは核の中にありますが、核以外にも細胞質にあるミトコンドリアにも少し遺伝子があります。体細胞核移植でクローンを造りますと核を移植された卵細胞には別のものから受け継いだミトコンドリアがあり、このミトコンドリアが少し遺伝子を持っていますので完全なクローンではないのです。先ほどクローン猫では少し毛の色のパターンが違うというのは、細胞質のミトコンドリアにある遺伝子の影響を受けている為ではないかと思えます。

映画ジュラシックパークでは過去の生物を生き返らせる為の最後の段階が非常に難しいと思えます。合成した遺伝子を別の細胞に入れて活性化させるというステップが非常に技術的に難しいのです。クローン羊のドリーが造られたのは、このステップをクリアできたということで、技術的に過去の生物の遺伝子をこの様な形で入れて活性化させるということも近い将来にはできるようになるかも知れませんが。

実際に過去の生物を生き返らせるということは日本ではマンモスで試みられています。

マンモスを生き返らせようという計画は未だうまくいっていないようです。

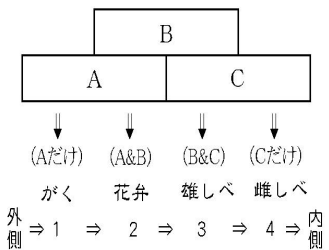
この場合はDNAを全部調べて合成するという話ではなく、シベリアの氷河の中で凍結状態になったマンモスの精子で活動できるものがあるのではないかといいるところから始まり、マンモスを凍結された状態で持って来て、マンモスの精子をアジア象に受精させて50%、半分の遺伝子がマンモスのものを造って、さらにマンモスの精子を受精させて75%というようにマンモスの血の濃いものを造っていきという計画がされています。

アラスカで行った計画では、きちんとした精子が採れなかったようでもっと保存の良い精子を探しているようですが、このような方法で過去の生物を生き返らせるということは試みられています。映画ジュラシックパークのように遺伝子を読んで、それを他の生物の遺伝子と置き換えるというところまでは技術的にはかなりギャップがあるわけですが。

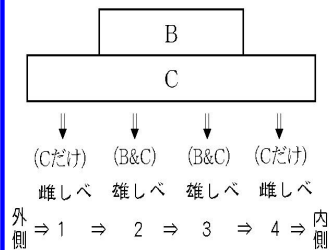
しかし、基本的な技術は揃ってききましたので10年後くらいには、その様な試みがなされるかも知れませんが、これでお話を終わらせて頂きたいと思えます。

[*クリックすると、大きい画像を表示します。*](#)

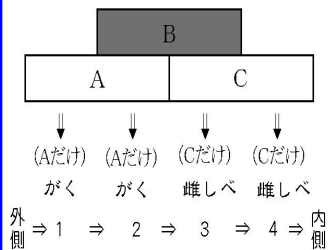
〔図-1: 正常な花の場合〕



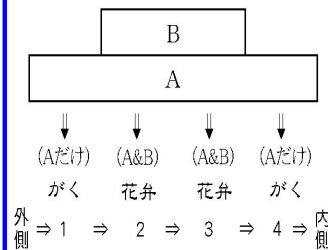
〔図-2: A機能が失われた場合〕



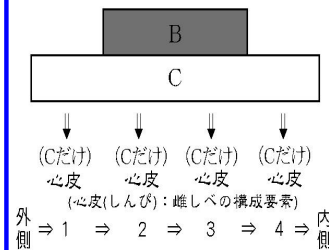
〔図-3: B機能が失われた場合〕



〔図-4: C機能が失われた場合〕



〔図-5: AとB機能が失われた場合〕



〔図-6: AとC機能が失われた場合〕

