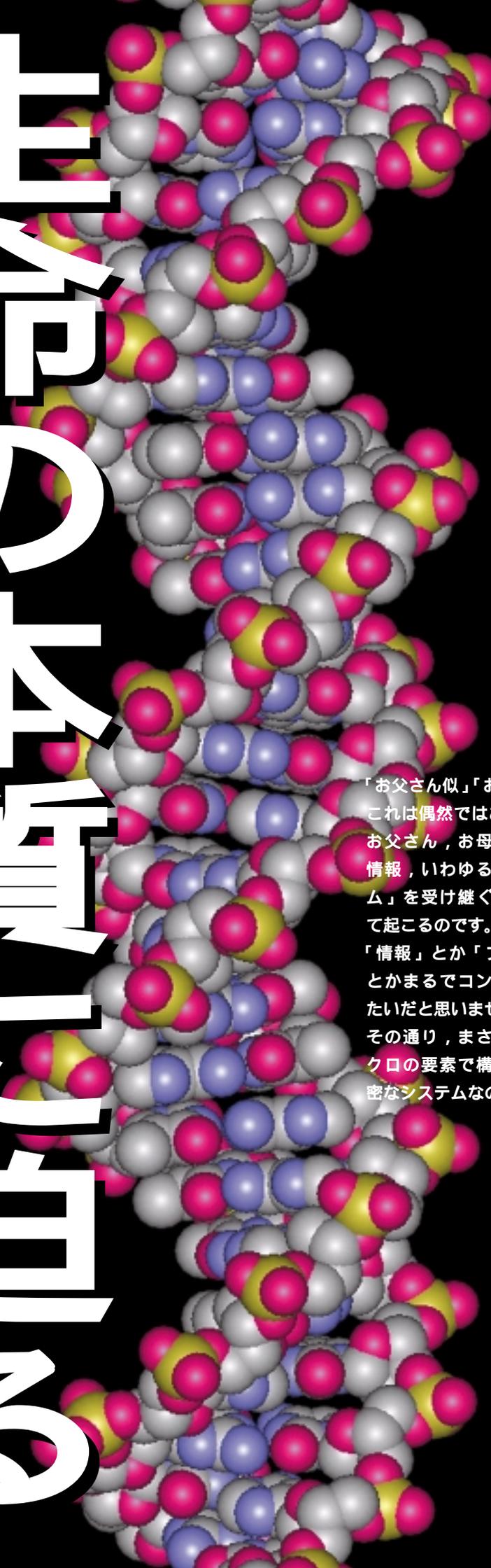


# 生命の本質に迫る



遺伝子



「お父さん似」「お母さん似」  
これは偶然ではありません。  
お父さん、お母さんの遺伝  
情報、いわゆる「プログラ  
ム」を受け継ぐことによっ  
て起こるのです。  
「情報」とか「プログラム」  
とかまるでコンピュータみ  
たいだと思いませんか？  
その通り、まさに生物はミ  
クロの要素で構成された緻  
密なシステムなのです。

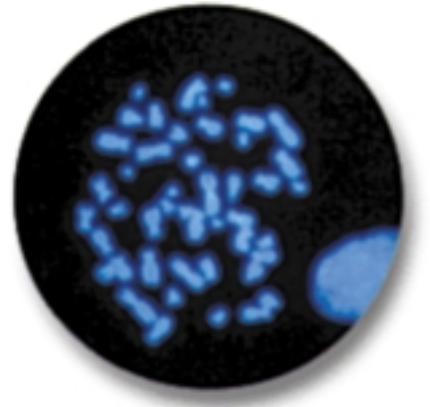
# ゲノムの謎を解く

それぞれの生物に特有な遺伝子に書き込まれた1セットの遺伝情報、これを「ゲノム(GENOME)」と呼びます。この「情報」を読み解くことが生命現象や生物の進化を解明するカギとされています。

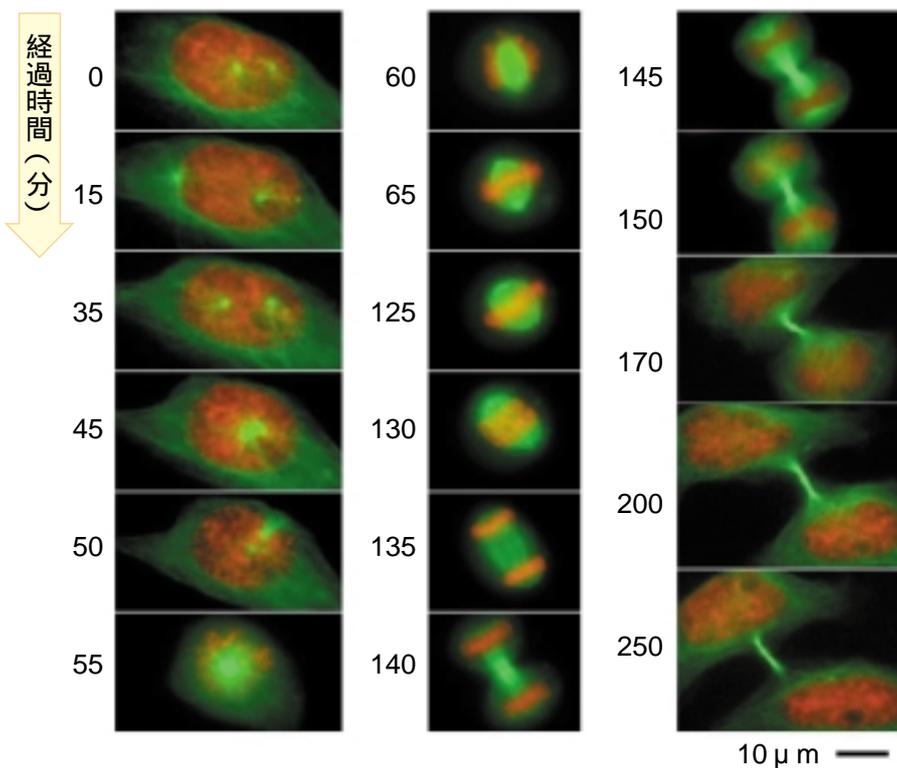
## ゲノム・サイエンス

生物はそれぞれの種に固有な遺伝子の1セットを親からもらい、そこに書き込まれた遺伝情報に従って自身を作り上げます。この1セットの遺伝情報をゲノムと呼び、その実体はDNA(デオキシリボ核酸)という有機物質であることがわかっています。DNAはA, G, C, Tで表される4種類の塩基が2本のらせん状に結合したもので、この配列が遺伝子情報となります。近年、一つの生命現象には驚くほど多くの遺伝子が関わり、一つの遺伝子は複数の現

象に関わっていることがわかってきました。遺伝子ではなく、ゲノム全体を調べる必要性が高まってきたのです。すでにヒトのゲノム30億塩基対が解読されており、遺伝子機能、遺伝子産物、生命機能、健康や病気との関連など、さまざまな研究がはじまっています。



ゲノムの本体である染色体の蛍光顕微鏡写真



### 現実の細胞の中の微細管

生きているヒト細胞分裂 - 染色体(赤)と微細管(緑)  
染色体はDNA 特異的蛍光色素 Hoechst 33342 で染色し、微細管はローダミン蛍光色素でラベルしたチューブリンタンパク質を細胞に顕微注入して染色した。同じ細胞の5分ごとの変化を追跡、記録した。資料提供: 通信総合研究所

## 生きている細胞を見る

細胞が生きていくためには、DNAに書かれている遺伝情報だけではなく、細胞膜と細胞内の骨格としてはたらく微細管のダイナミックな変化が必要です。光学顕微鏡技術の進歩によって、その微細な世界の動きを直接見るできるようになりました。微細管はチューブリンというタンパク質がらせん状に重合したもので、必要に応じて形成され、消滅します。この生成と解体がエネルギーの高低の変化を利用した動的不安定性という巧妙な仕組みであることがわかってきました。

生物

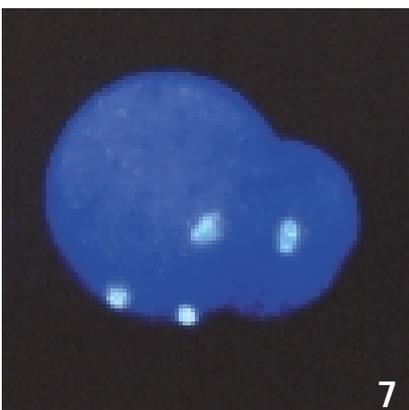
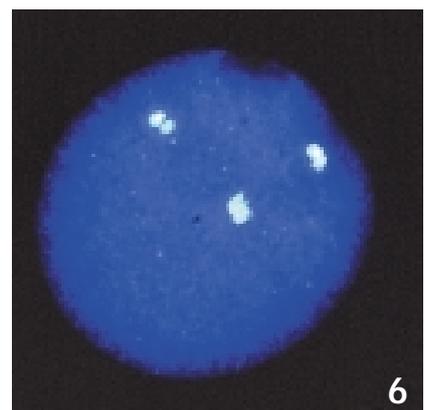
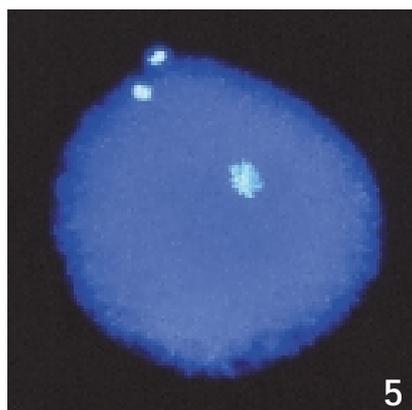
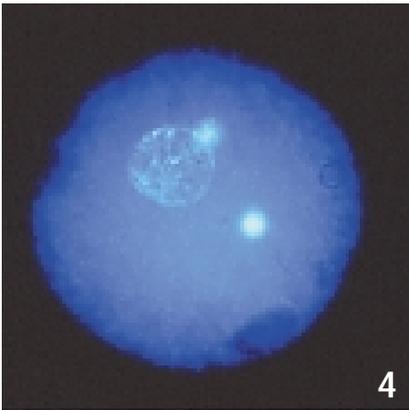
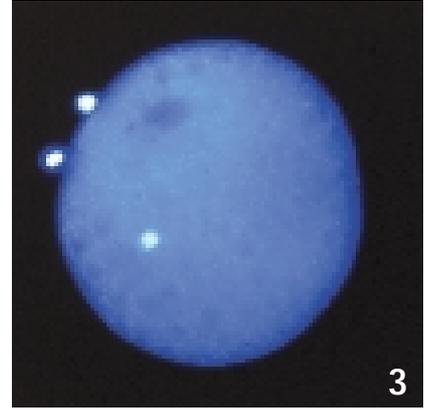
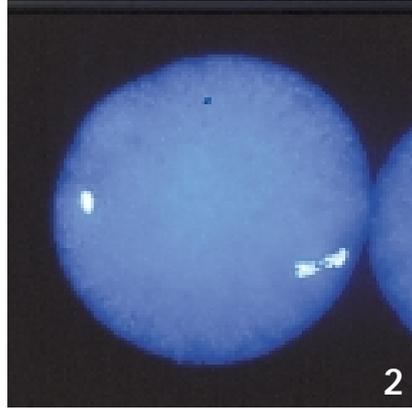
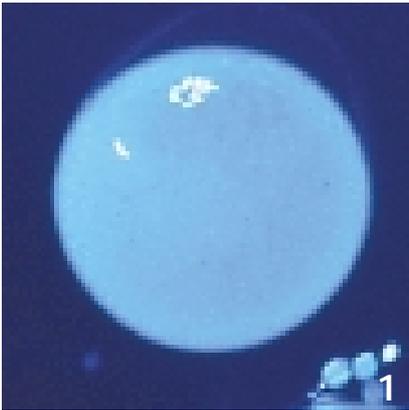
生物

## ゲノム・リプログラミングと自然界のクローン

遺伝子組成が等しい細胞や生物の集団をクローンといいます。未受精卵への体細胞核の移植技術や細胞融合を用いてクローン動物をつくり出したり、ゲノムを再プログラム化することができるようになりました。この機構は細胞を若返らせながら生命をつなぐものと考えられています。また、自然

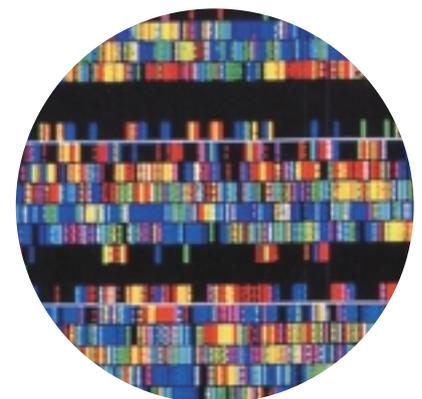
界で無性生殖をするプラナリアやホヤなどはみなクローンとして増殖していますが、両性生殖をする動物にもクローンで増えるものがあることがわかってきました。二枚貝のマシジミは、雌雄同体で卵子と精子の両方をつくって自家受精しますが、受精後まもなく卵由来のゲノムが捨てられて精子のゲノ

ムだけで個体発生が進行します。また、日本の河川にいるフナやドジョウにはメスのゲノムだけで増える種がみつかっています。なぜ、このような現象が自然界に存在するのか、クローン技術の安全性や成果を問うためにも重要な研究課題と言えるでしょう。



### 雄性発生するマシジミの卵

マシジミの発生は、精子のゲノムだけで進行する。1) 受精直後の卵。卵の核は第一減数分裂の中期(2つにわかれ始めたところ)。鎌形に見えるのが精子の核。精子の核は減数分裂を省略し、染色体数は体細胞と同じ。2) 第一分裂後期(卵の染色体が2つにわかれたところ)。3) 卵の核は2つとも第一極体として放出される(通常の両性生殖する動物では、卵内に核が残り、精子由来の核と合体する)。卵内に見られるのは精子核が変化した雄性前核。4) 雄性前核は次第に大きくなり、前核内に糸状の染色体がみられるようになる。5) 雄性前核由来の染色体は赤道板上にならぶ(第一卵割中期)。6) 第一卵割後期(染色体が左右に分離)7) 二細胞期(二枚貝の第一卵割は不等分裂。左右の細胞の大きさが異なる)。放出された卵の核は2個の極体として卵の動物極(上側)に付着しており、発生には関与しない。以後精子由来の遺伝情報のみで発生が進行する。(写真: 三重大学生物資源学部)



ヒトのDNAパターン

# 生物の形と起源

「百花繚乱」の例えに使われるように、植物はその種類ごとに異なるさまざまな花を咲かせます。ところで、たとえどんな花であろうと、その構成は必ず外側から「がく」「花弁」「雄しべ」「雌しべ」の順になってますよね？その謎に迫ってみましょう。

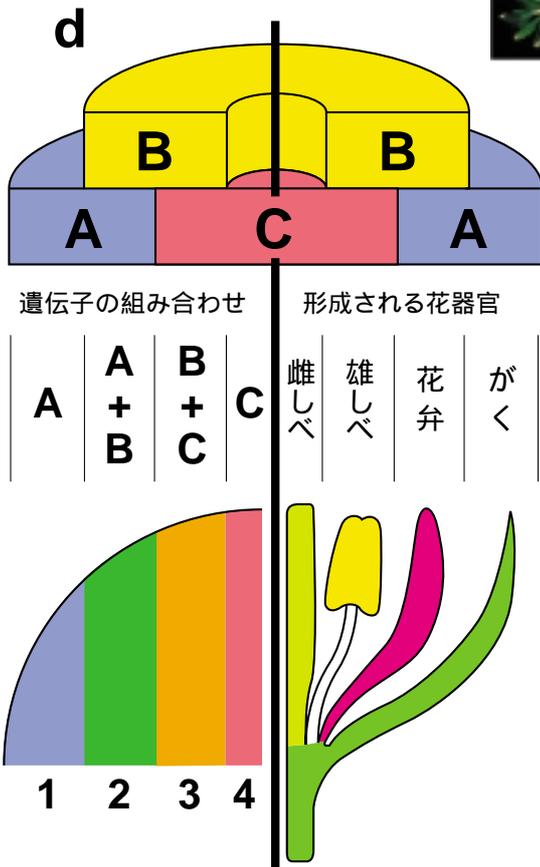
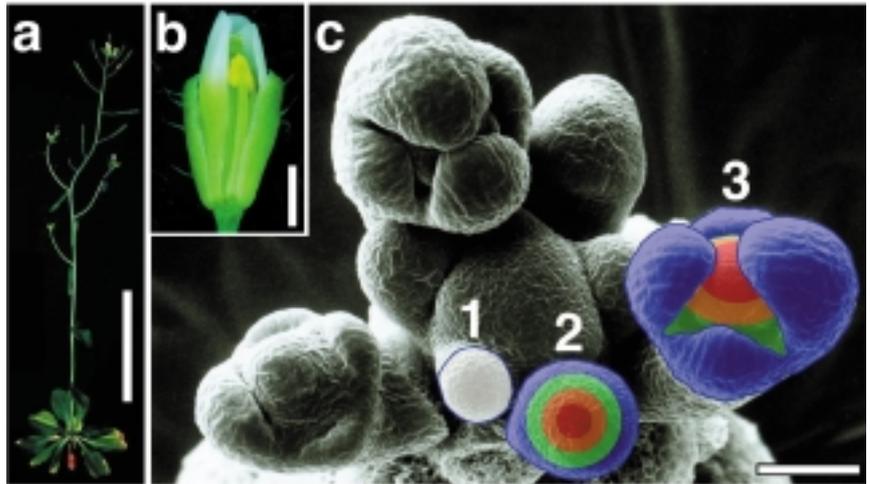
## 花はどのようにしてつくられるか

八重咲きの花は2000年以上も昔から人々の注意をひいてきました。八重咲きの花は雄しべが花弁（花びら）に転換してしまうことにより生じますが、このように相同な器官の間で転換が起こることをホメオシスと呼び、ホメオシスを引き起こすような突然変異をホメオティック変異と呼びます。花がどのようにつくられるかというしくみは、八重咲きを含む様々なホメオティック変異を研究することによって明らかになってきました。

例えば、花を構成する4種類の器官（がく、花弁、雄しべ、雌しべ）の並び方は、外側から内側に向かって、がく、花弁、雄しべ、雌しべの順になっていて、これは植物の種類によらず不変です。ホメオティック変異の研究から、この並び方は、A, B, Cという3つ

のグループの遺伝子のはたらきの組み合わせによって決められていることが明らかになりました（ABCモデル）。Aグループの遺伝子とCグループの遺伝子は互いのはたらきを抑え合い、Cグループの遺伝子の機能が失われるとAグループの遺伝子が内側の2つの区画でもはたらくようになります。八重咲きの花はそのようにして生じます。

A, B, Cグループの遺伝子（MADSボックス遺伝子）の発見を期に花の起源についての研究方法は大きく変わりました。個体の発生過程で花がどのようにつくられるかについての理解が、系統発生の過程で花がどのようにして進化してきたかを理解する重要な鍵を提供しているというわけです。



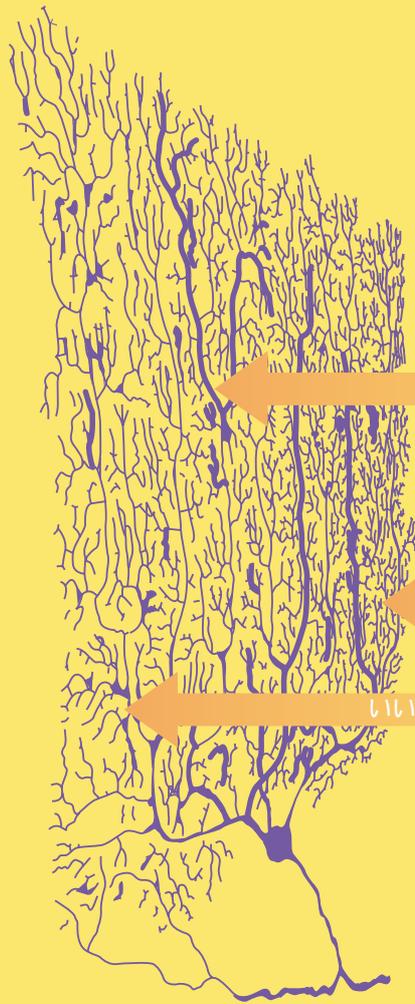
### 花はどのようにしてつくられるか（器官の並び方がどのように決まるか）

- 花がつくられる機構がもっともよく研究されている植物シロイヌナズナ（アブラナ科）。根を除く植物の全体像を示す（スケールは5cm）。
- シロイヌナズナの開花直前のつぼみ（スケールは0.5mm）。がくと花弁を1枚ずつ取り除いてつぼみの内部にある雄しべと雌しべが見えるようにしている。
- 花芽が盛んにつくられているシロイヌナズナの茎の先端部の走査型電子顕微鏡写真（スケールは50μm）。発生段階が異なる3つの花芽（若い順に1から3）の上に彩色を施している。1は形成されたばかりの花芽で、まだ区画分けがされていない（白で示す）。2は区画分けがされた花芽で、(d)のABCモデルの説明図の左下と同じ色で彩色している。3はさらに発生が進んだ花芽で、青色で示す一番外側の区画には4枚のがくが形成されている。
- 花の器官の並び方を説明するABCモデル。このモデルでは、形成され始めたばかりの花芽に同心のリング状に4つの区画（1～4）を想定する。Aグループの遺伝子（青色で表す）は区画1と2で、Bグループの遺伝子（黄色で表す）は区画2と3で、Cグループの遺伝子（赤色で表す）は区画3と4でそれぞれはたらくと考える（上）。はたらく遺伝子の組み合わせは4つの区画で異なり、区画1ではAグループのみ（青色で表す）、区画2ではAとBグループ（緑色で表す）、区画3ではBとCグループ（橙色で表す）、区画4ではCグループのみ（赤色で表す）がそれぞれはたらく（下右）。これらの遺伝子の組み合わせにより、区画1にはがく、区画2には花弁、区画3には雄しべ、区画4には雌しべがそれぞれ形成される（下右）。

生物

# 頭の中のアンテナ

## 高次生命現象



おいしい!

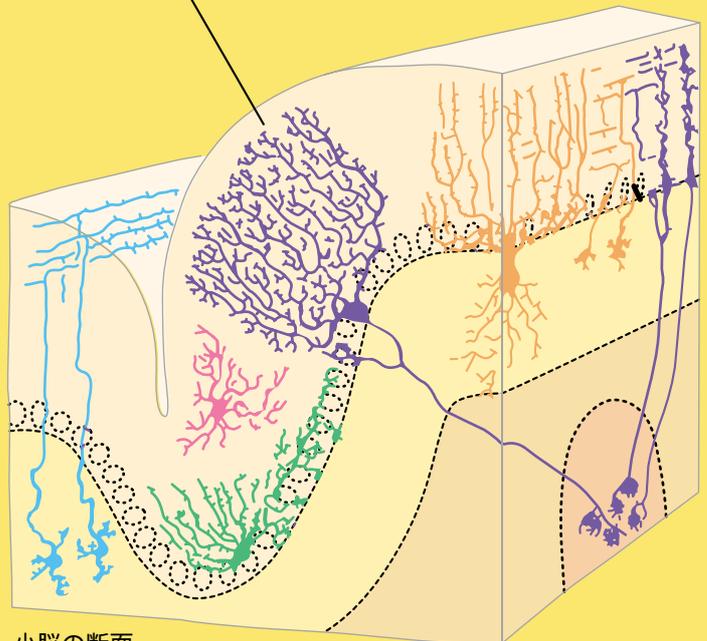
まぶしい!

熱い!

うるさい!

いい匂い!

この樹木のように複雑に枝分かれしたものが何だかわかりますか？  
これは私たちの小脳の中にある「プルキンエ細胞」と呼ばれる神経細胞です。驚くことに、この複雑な形が一個の細胞なのです。  
私たちの五感から得られるたくさんの情報をとらえるため、あたかも魚を捕らえる網、もしくはレーダーアンテナを想像させますね。  
そしてこのアンテナは、同時に150,000の情報を得ることができる、性能をもっているといわれています。



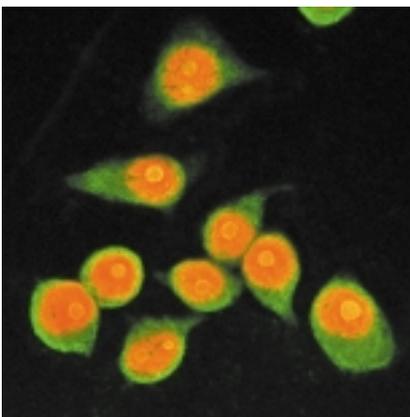
小脳の断面

# 高次生命現象を探る

生物の体は小さな細胞の集まりです。そしてこの「集まり」はたったひとつの細胞からの分化を出発点としています。分化した細胞は、その後手や足になるものもあれば脳になるものもあります。その違いはどこにあるのでしょうか？

## 細胞運命とアポトーシス

生物の個体を構成する神経細胞や白血球など特殊化した細胞は、もともと一つの受精卵に由来しています。このような細胞運命の違いを調べるために、細胞分裂によって生じた姉妹細胞が異なる運命をもつ非対称細胞分裂が注目されています。また、それぞれの細胞には遺伝的に死がプログラムされており、DNAの断裂、核の分断化などを起こして消滅することが知られています。このアポトーシスは、発生過程で器官や組織が形成されていくのに重要で、この機構に損傷を受けたために細胞死が起らず、がん細胞が増殖する現象も知られています。アポトーシスのプログラムがどのような情報伝達によって起こるのか、どのようにして発生過程に組み込まれたのかについて、解析が行われています。

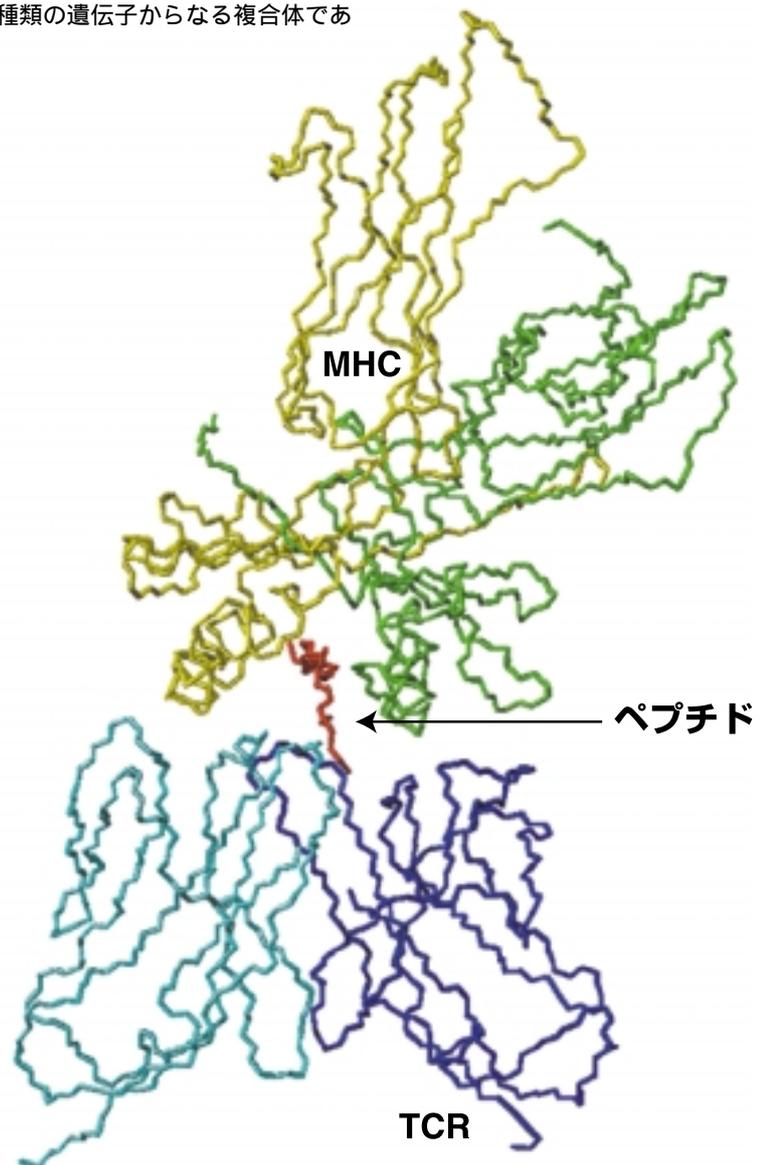


細胞膜透過性ペプチドを用いた蛍光標識タンパクの細胞内導入と核移行

## 免疫に見る自己と非自己

自分以外のものが体に侵入してくると、それを正確に識別して体外へ追い払う機構を免疫と呼びます。この機構が病原微生物のみを排除するのではなく、他人の血液や臓器を移植する際にも発現することがわかってきました。細胞表面にあるMHC（主要組織適合遺伝子複合体）が自己または非自己由来のタンパク質の断片（ペプチド）を細胞外に提示し、それをリンパ球の上にあるTCR（T細胞抗原レセプター）が認識するのです。MHC抗原は非常に多型性のあるたんぱく質で、ヒトでは6種類の遺伝子からなる複合体であ

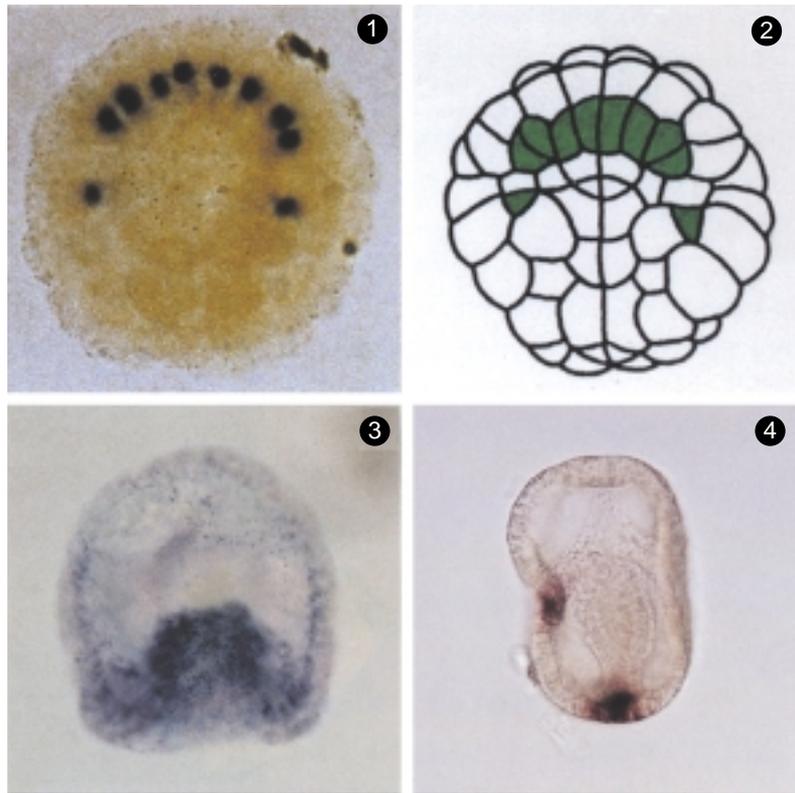
ることが知られています。TCRは無数の非自己を識別する能力が必要ですが、それが限られた遺伝子でどのようにして作り出されているのか、というのが免疫学の難問でした。それを利根川進博士は、染色体上の遺伝子の配列がリンパ球では後天的に変化する「遺伝子再構成」と呼ばれる現象であることを突きとめたのです。



生物

## 発生過程と決定因子

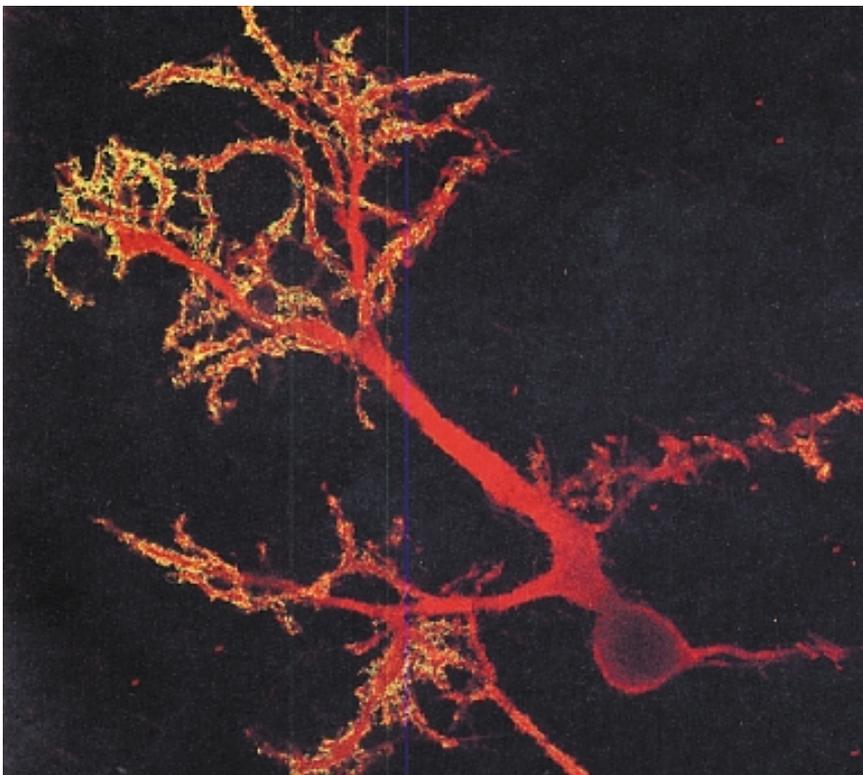
動物や植物の体は、受精卵から染色体上に書き込まれたボディ・プランと呼ばれる遺伝子的プログラムに従って胚形成を経て高次構造をもつ個体へと変容していきます。ホヤや脊椎動物で見つかった「脊索を作るための遺伝子」は、生物の体がどのようなプログラムに従って作られていくかを教えてください。T遺伝子と呼ばれる原因遺伝子は、ホヤの初期胚の中で将来脊索になる予定の細胞でのみ発現しますが、この遺伝子を脊索にならないはずの細胞で強制的に発現させるとそれらの細胞が脊索に変わります。T遺伝子は脊索を作らない棘皮動物や半索動物にも存在し、中胚葉の形成に重要な働きをしていると考えられています。また、細胞分裂を経てそれぞれの細胞に別々の運命をたどらせるようにするのは、卵の細胞質の中にある特定のRNAやタンパク質だということがわかってきました。個体発生の引き金を引く決定因子の働きが明らかになるうとしています。



### ホヤにみる発生過程

(1) ホヤ胚におけるT遺伝子の発現。将来脊索になる細胞(2で緑色で示した部分)のみで発現している(黒く染まった部分)。

ウニ胚(3)およびギボシムシ胚(4)でのT遺伝子の発現。青および紫色に染まった部分で発現がみられる。



### ネズミの神経細胞

脳から神経細胞を取り出しペトリ皿中で培養したもの。  
神経細胞での分子のはたらきを調べる実験などに用いられる。

## 脳の不思議を探る

私たち人間の脳が、いかなる仕組みで意識や感情を生み出すのか。視覚や聴覚の受容器の解析からロボットの製作まで、脳科学は多岐にわたっています。人間に固有な高次な脳活動であっても、その萌芽や原型は他の動物にも認められるはずですが、そこで、ショウジョウバエやマウスなど人より単純なモデル動物を使って、分子・細胞・組織・個体の各レベルで脳の働きが調べられています。

また、脳の構成要素である神経細胞のはたらきや神経細胞間での情報伝達部位であるシナプスの機能や形成機構を解明する研究もさかに行われています。将来、脳ではたらくそれぞれの遺伝子や神経細胞が、どのようにして脳をつくり、行動をひきおこしているかがわかるようになるでしょう。

# カンブリア爆発

今から約6億年前の海底で、動物たちはその数と種類を急激に、そして大幅にふやしました。それは「カンブリア爆発」と呼ばれています。ほんの1000万年ほどの短い時間のなかで、現在私たちが目にするのできる、ほとんどすべての動物グループが出そろったと言われています。

# 分子進化の機構を探る

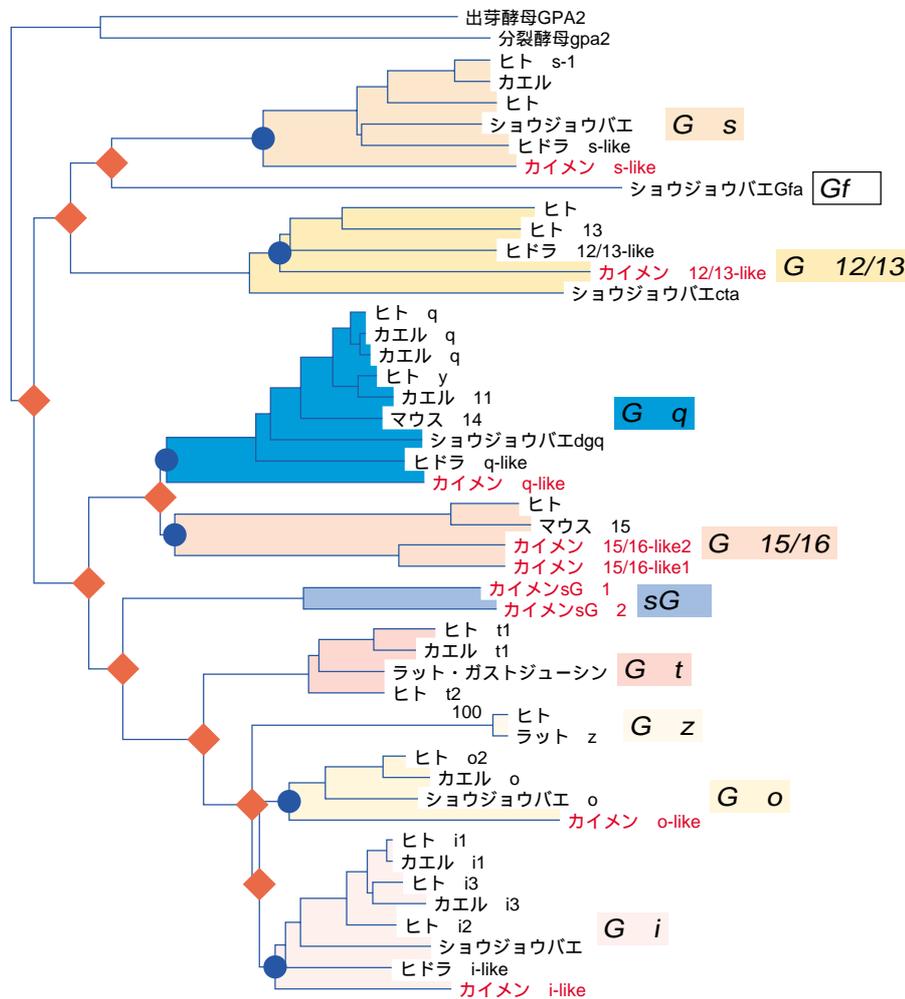
進化も遺伝子によって引き起こされたものです。したがって逆に遺伝子を調べていくことで進化の痕跡をたどっていくことが可能なのです。

## 遺伝子の爆発

現在の動物門につながる動物グループは、今から6億年前のカンブリア紀初期に爆発的に多様化したと考えられています。では遺伝子の多様化はいつ起こったのでしょうか。新しい機能をもった遺伝子は、すでにある遺伝子のコピーから作られますが、多細胞生物

にはこの遺伝子重複によってできた細胞間伝達や形態形成に関わる特有の遺伝子が存在します。生物の系統を分子の比較から再現するように、遺伝子重複を再現していくと、遺伝子の爆発的多様化はカンブリア爆発より3億年前に起こっていることがわかってきまし

た。生物多様性の分子機構はすでに存在している遺伝子をどう使って多様化したかという点にあり、その機構は単細胞原生生物との比較によって解明されつつあります。

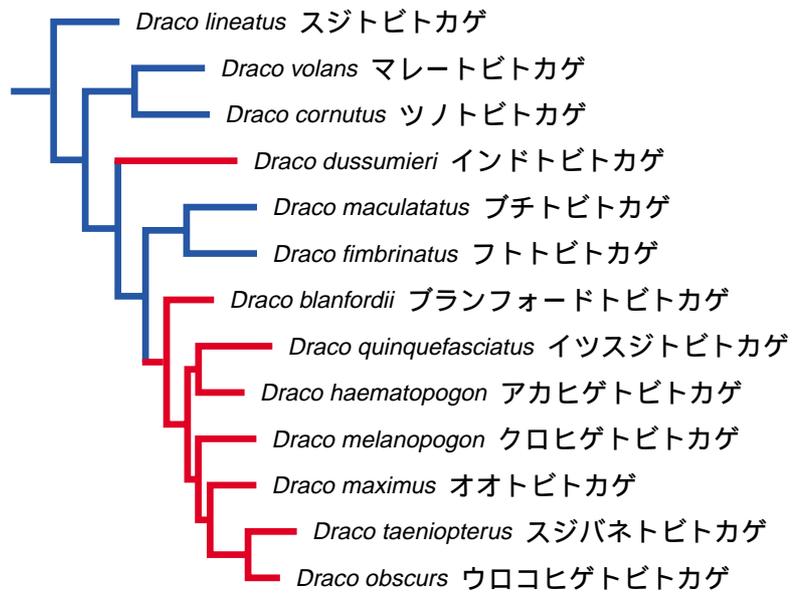


### 遺伝多様化はいつ起きたのか？

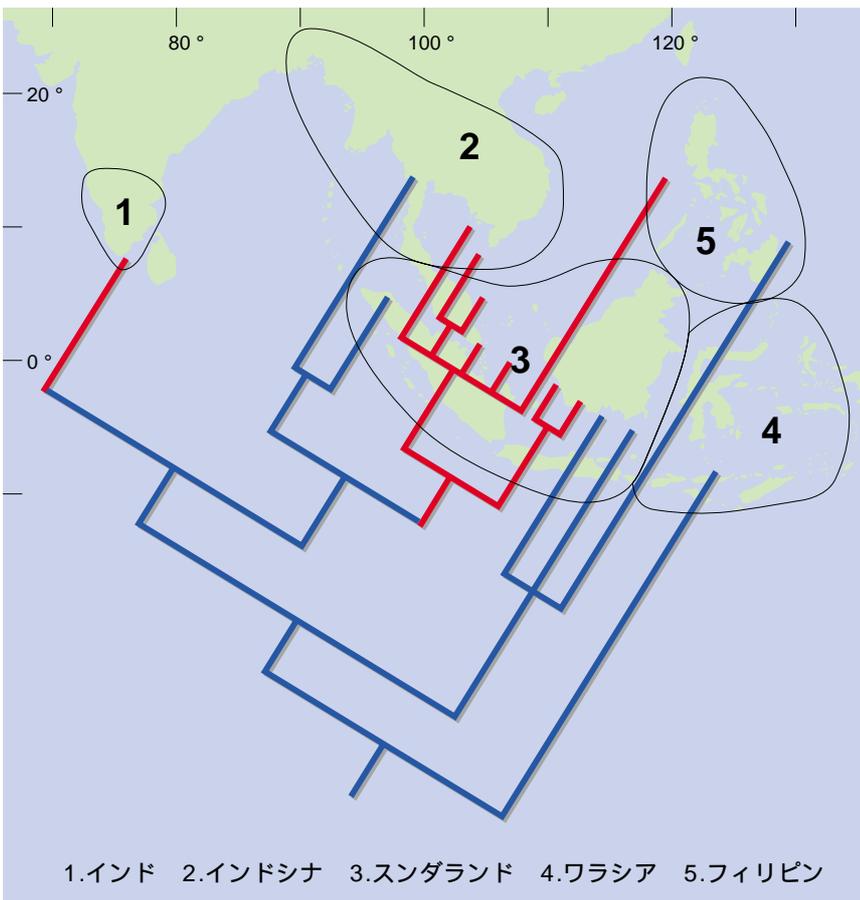
この系統樹は、Gタンパク質族の分子系統樹。Gタンパク質 サブユニットの比較から推定された。機能の異なる10のグループ（サブタイプ）に分かれ、同一サブタイプに属する枝（配列）は系統樹の上で一つの固まりになっている（色で塗りつぶした）。異なるサブタイプを作った遺伝子重複は（ ）で示した。ヒトはカイメンとその他の動物が分岐した時期を示している。枝の右端は現在を示し、枝にそって左へいくほど過去に遡る。この系統樹から、異なるサブタイプを作った遺伝子重複（ ）のすべては、カイメンとその他の動物の分岐（ ）以前に起きていたことがわかる。すなわち、現存する動物の中でもっとも古い分岐に対応するカイメンとその他の動物の分岐以前に機能の異なる基本的遺伝子（サブタイプ）のほぼ完全なセットがすでにできあがっていたことになる。

## 分子系統樹をもとにして動物の移動や分化を推測する

DNAの塩基配列を異なる生物種の間で比較し、共通の祖先から分かれた後に蓄積した塩基置換の数をもとに系統樹をつくることができます。この方法を使えば、ある植物や動物の分類群が適応放散した時期を推定でき、大陸移動などの地史や氷河期などの気候変動と照らし合わせて考察することができます。これまで形態からではわからなかった違いが塩基配列の変異から明らかになり、シダ植物やコケ植物などが新しく分類され始めています。また、DNA分析は種内の遺伝的集団構造を明らかにする上でも有用で、生物の進化や種分化を解明するために重要な手法となっています。



トビトカゲ属とその近縁属の分子系統樹



### トビトカゲの起源と種分化

この仲間は約21種が知られており、東南アジア地域とインド南部に分布する。分子系統学的な解析の結果は、この属が単一起源であり、その種分化が地理的な分断と対応していることを示した。その種の分布域はインド、インドシナ、スンダランド、ワラシア、フィリピンの5つに大別できる。スンダランドとワラシアの間の分化は古いが、インドシナとスンダランドの間は分断と連続が繰り返され、互いに侵入し、分化することによって、多様化したことが系統樹から推定される。インドにはかなり初期に侵入し分化しているが、フィリピンにはスンダランドとワラシアで分化したものが侵入したものと考えられる。形態的な特徴から原始的とされる原生林内よりも、むしろ林縁部や、まばらな林に棲んでいるものが多く、進化的な特徴を持つものは、主にスンダランドで多様に分化したと考えられる。



上: ブチトビトカゲ(雌)の翼を広げたところ

下: 翼を畳んで樹幹にとまって眠るイツスジトビトカゲ(雌)

# 共生と共進化

地球上には約1000万種類の「生物」がいるといわれています。

しかし、それらの生物はそれぞれが別々に生きているわけではありません。

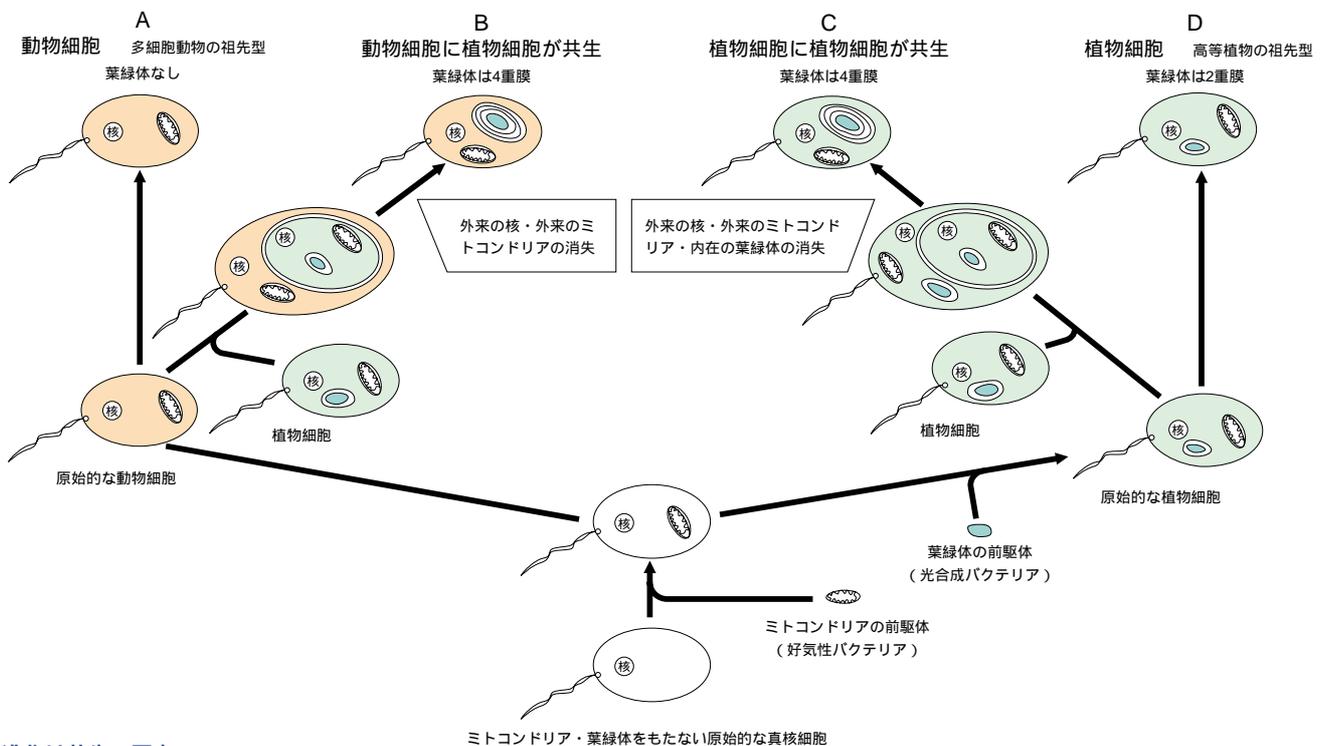
時として全く異なる生物同士の持ちつ持たれつの密接な関係もあるのです。

## 動物と植物の間

ミドリムシや渦鞭毛藻のような生物は食物を外部から取り込み鞭毛で泳ぐと同時に、葉緑体をもって炭酸同化作用を行うという性質を備えていることから、動物とも植物とも分類されます。こうした生物は、原生動物の細胞に藻類が入り込んで共生し、その後、藻類の核とミトコンドリアが退化し消失して葉緑体だけが残ってきたと考えら

れています。このような細胞内共生は進化の過程で何度も起こり、真核の藻類と原生動物が繰り返し共生することによって新たな藻類を作り出すメカニズムがあると考えられるようになりました。ミトコンドリアも20億年前に根粒菌や細菌の仲間が細胞内共生してできたもので、ゲノムが小さく、葉緑体と同じように細胞核によってコントロ

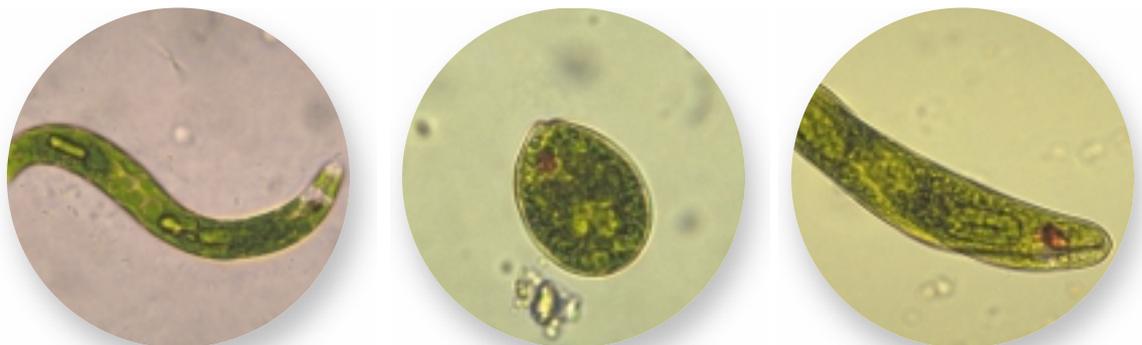
ールされています。こうした細胞内共生の進化機構を解明することによって植物や動物の起源、多様化の過程についても分析が進められています。



### 進化は共生の歴史

何回もの共生のステップを経て、多様な細胞形態が生まれました。ミドリムシは原始的な動物細胞に、さらに藻類（植物細胞）が共生したものだと考えられる。

資料提供：JT生命誌研究館

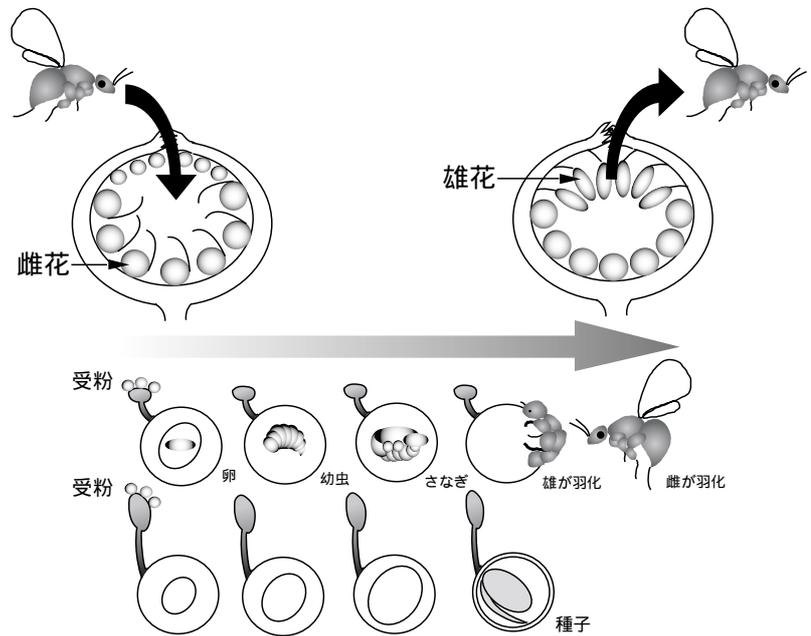


## 共生はどのように進化したか

異種の生物が一緒に生活して、行動・生理的に密接な関係を保っている状態を共生と呼びます。花や実をつける植物と、花粉を運ぶ昆虫や果実を食べて種子を運ぶ鳥、動物は、共生している例と言えるでしょう。例えば、イチジクはそれぞれの種によって共生するイチジクコバチの種類が決まっています。植物と動物の共生関係は、もとは食う食われる関係だったものが多様な関係をもつように進化した歴史を反映しています。ブナやフタバガキなどの樹木は根を菌糸でおおう外生菌根との共生によって繁栄していますし、病気を引き起こすウイルスも宿主と共生するように進化する例と言えます。

共進化には、共生だけではなく、捕食者と非捕食者や擬態する種とされる種など多様な例が知られており、

複数の種間に起こる場合もあります。その進化過程の解明はまだ始まったばかりです。



### イチジク属植物の開花パターンとイチジクコバチ類の生活史との間の対応関係

イチジクコバチは体長2mm内外の小さな昆虫で、イチジクの花のうの小さな部分からもぐりこむ。内部に達したコバチは、持っている花粉を雌花につけると同時に、一部の子房に産卵する。産卵されなかった雌花は種子となるが、産卵された雌花では、幼虫が種子を餌に成長する。羽化はオスからはじまり、まだ子房内にいるメスと交尾をおこなう。イチジクの仲間は、花のうの中で雌花と雄花の咲くタイミングが大きくずれていて、ちょうどコバチが羽化する時期に合わせて、雄花が咲きはじめる。交尾後子房から出てきたメスの成虫は花粉を体につけて、産卵できるつぎの花のうを探して飛んでいく。資料提供：東北大学大学院生命科学研究所

## 人間と他の生物との共生

過去何世紀も人間は自然を支配し、人間にとって便利のように改造する努力を重ねてきました。しかし、その人為的な影響が大規模な自然破壊につながり、かえって人間に悪影響をもたらしているという反省がなされるようになりました。そもそも人間は自然とどのような関係をもって進化してきたのでしょうか。栽培植物の出現は植物と人間の共生、動物の家畜化は動物と人間の共生と見ることができます。栽培植物や家畜の品種の多様化は人為的に選択されたものでもあります。そういった人間と他の生物との生態史をさぐる研究が、生物学を超えて文化人類学、経済学、考古学、歴史学、社会学、栄養学、農学などの分野と協力して各地で試みられています。



食用としてゾウを解体するアフリカの狩猟採集民



多様性

# 生物の多様性

多い茂る熱帯雨林の木々をめぐる空中回廊。地上を歩くのが面倒くさい・・・からではありません。「樹冠部」と呼ばれる、いわゆるてっぺん部分での動植物の営みを観察するための足場なのです。さて「樹冠部」は私たちに何を教えてくれるのでしょうか？

# 熱帯雨林研究と生物の多様性

熱帯雨林は陸地の3%をしめるにすぎません。しかし、そこには地球上の生物種の約半数が生息している、まさに生物の宝庫なのです。

その奥深さからこれまで困難であった熱帯雨林の本格的な調査を進めていくことが、生物の多様性の謎を解くカギとなると考えられています。

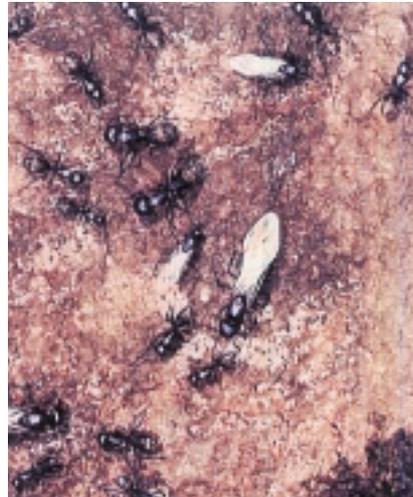
## 熱帯雨林の生物群集

現在、森林は全陸地上の植物のバイオマスの90%を担い、その約半分は熱帯雨林に生育しています。約1000万種と推定される生物種もその半分は熱帯雨林に生息しています。熱帯雨林が陸地面積の3%しかないことを考えると、いかにここが生物多様性の高い場所であるかがわかります。近年、その多様性を支えているのは花や実をつける樹冠部であることがわかり、空中回廊や林冠クレーンが建設されて詳細な観察が続けられています。その結果、さまざまな植物と動物の共生関係が種分化を促進し、熱帯雨林の生物の多様性をもたらしていることがわかってきました。熱帯雨林は生物相互の関係と共進化を追求する最も興味深い世界なのです。



クロオオアリ

初夏になると新女王アリとオオアリが誕生し、結婚飛行の準備が始まる。結婚飛行のタイミングをはかるのは働きアリの役目。(右)結婚飛行が終わると、女王アリは産卵を始める。(左) 写真：山口進(下の2点とも)



## 化学物質によるコミュニケーション

植物は動物による食害を防ぐために、葉や未熟果にタンニン、アルカロイドなどの消化阻害物質や毒物を含んでいます。動物同士もフェロモンという揮発性の化学物質を出して情報交換をしています。アリやカメムシなどの昆虫は体からの水分蒸発を防ぐ体表ワックスをもっていますが、これはすべて種特異的な炭化水素からできていて、同種の仲間を識別するのに役立っていることがわかっています。アリによっては他種のアリの体表成分を体に擦りつけて化学擬態をして、他種にサナギを育てさせるものもいます。ハチ

の分業社会は個体が成長するにつれて幼若ホルモンの量が変わり、これに対応して役割が変化することによって支えられていることが判明しました。こうした化学的なコミュニケーションの働きや変化、神経系とのつながりについて分析が進められています。

生物



ハキリアリ

葉を巣に持ち帰る大型の働きアリと、葉に産卵しようとする寄生バエを監視する小型の働きアリ。(右)

葉を切り取っている大型の働きアリ。巣の中で、この葉を発酵させキノコを育てて食べる。(左)



## 種と生態系の保全

環境破壊は今各地で急速に進んでおり、多くの種や貴重な生態系がまだその実態が解明されないまま消滅しているとしていいます。こうした事態をくい止めようと、絶滅危惧種を記載したレッドリストが国や都道府県、国際保護団体によって作成され、希少種の国際取引を禁じるワシントン条約や生物多様性条約などの国際協定が締結されています。しかし、法的な規制だけでは十分でなく、人間活動が生物の種、群集、生態系に与える影響を評価し、

種の絶滅や生態系の攪乱を防ぐ実践的な方法を開発して積極的な対策を講じていく必要があります。これには多面的なアプローチからの研究が不可欠で、生態学は言うに及ばず、生物地理学、進化生物学、遺伝学、環境科学、人類学、造園学、野生生物管理学など多くの学問分野と連携することが望まれます。遺伝子レベルから個体群レベルまで絶滅の危険度を測るパラメータを作る必要があるのです。



アフリカ(ガボン)の熱帯雨林で1日に採集した果物

# 深海生物の多様性

熱水の噴き出す深海。生物が生きていくにはあまりにも劣悪な環境に思えますが、実は非常に多くの生物を育てているのです。

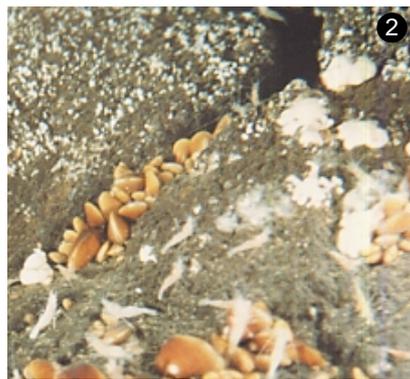
さらにそこには太古の生命の謎を解く鍵があるかもしれないのです。

## 原始生命の子孫たち

地球表面の約70%は海で、その多くは水深1000mより深い水域から成り立っています。かつてこれらの深海域には生物はいないと思われていましたが、最近の調査で無脊椎動物門のほとんどすべてが生息していることがわかってきました。とくに熱水噴出孔があ

る場所では生物の多様性が高く、次々に新しい種、属、科ばかりか門の動物が発見されています。そのひとつチューブワームは口も消化管も肛門もなく、体内に化学合成細菌を共生させ、それが生成する有機物を摂取しています。熱水噴出孔に見られる環境は太古

の地球環境とよく似ており、化学合成に頼っている微生物は原始生命の子孫と思われます。光合成によって形成された陸上の生態系とは別に、深海では太古の化学合成系が継承されてきたのかもしれない。



### 熱水噴出口にすむ生き物たち

- 1) ヘオリムシ(チューブワーム)。相模湾。
- 2) シンカイヒバリガイとエビの仲間。沖縄トラフ。
- 3) シロウリガイ。相模湾。

海底の地殻活動が活発な場所には、高温の熱水を噴出する煙突状の構造(チムニー)が見られ、その周りにはたくさんの生物が高密度で生息している。

4) 熱水を吹き上げる沖縄の伊是名海穴

写真提供: 海洋科学技術センター

# 動物の行動と生態

生態

「社会」はなにも人間だけのものではありません。人間以外の動物にも立派な社会があり、そして「文化」あるのです。そして、動物の社会や文化を詳しく調べていくことは、私たち人間が人間として生きてきた生物学的歴史を知る手がかりとなるのです。

# 動物の行動を変化させる仕組み

個々の動物特有の行動。知れば知るほどその謎は深まるばかり。

しかし、「フィールドワーク」と呼ばれる、野外における綿密な調査と、時としてコンピュータを用いる分析がこの謎をひとつひとつ解明しつつあります。

## 分類とフィールドワーク

動物の行動や生態を理解するためには、まずその動物がどの分類群に属しているかを知らなければなりません。動物はそれぞれの形態に応じて動く範囲や利用する環境が異なっているからです。生物の多様性を知るためにはどんな動物がいるのかを同定し、分類する作業が不可欠になります。フィールドワークはその大切な研究方法の一つです。動物を採集し同定し、その行動をつぶさに記録します。得られた情報をデータ・ベースにして他の生息地の個体や近縁種と比較することによって、その動物の進化や適応の歴史を推定することができます。そういった調査をする中で、アリと共生する植物や魚の口内保育といった興味深い発見があるほか、サルの子殺し行動や魚の曲がった口の適応的意味が解明されます。



「右利き」「左利き」の魚

左側は右利き個体、右側は左効き個体（口が右、左にそれぞれ曲がっている）。

## ナチュラル・ヒストリーと進化

ナチュラル・ヒストリーは自然史学、あるいは博物学と訳され、物の収集と記載をする学問と思われてきましたが、実は個々の動物が繰り広げるドラマに科学的なストーリーを付けて説明する学問です。それは、なぜその動物がそんな行動をするのか、という質問を発することから始まります。1) 生理学的メカニズム、2) 発達過程、3) 機能や適応度、4) 進化史的理解、という4つの問いをティンバーゲンは設定しましたが、それぞれの質問に適合する異なった分野の説明があります。なぜハチやアリにはカーストがあるのか。なぜヤドカリは殻を借りるのか。なぜつがいの鳥でも浮気をするのか。とくに、4つ目の質問には、自然淘汰や性淘汰という進化現象について

ダーウィン以来の謎を解く鍵が隠されています。数理モデルを作ってそれを

コンピュータ上に再現するという方法も使われています。



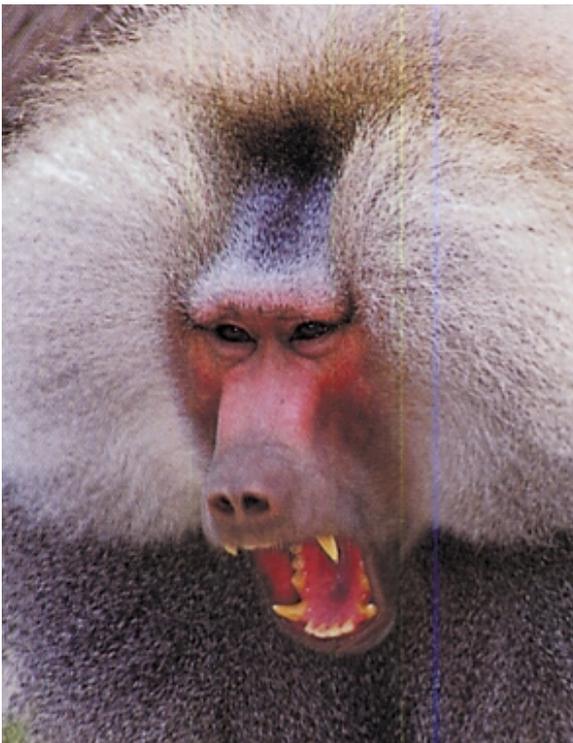
ヤドカリ同士の貝殻の交換

貝殻を奪われたヤドカリは攻撃したヤドカリが捨てた貝殻に入る。

## 性の不思議に挑む

多くの動物では性差は卵と精子の違いに発し、顕著な形態や行動上の性的二型を生み出しています。それは雄と雌で繁殖成功度を左右する条件が異なっているからです。卵に比べてコストの低い精子を生産する雄は、交尾の機会や配偶相手の獲得に投資します。一方、高価な卵の生産や育児に投資する雌は配偶相手を選択します。雄の方が交尾相手をめぐる競争が強いので、シカの立派な角やヒヒの長い犬歯のように武器となる形質が雄だけに発達するのです。しかし、武器にならないクジャクの羽のような形質も、雌に好まれて繁殖相手を獲得できるために発達したと考えられます。コウホウジャクの長い尾を切って、さまざまな長さにして調べた結果、雌が長い尾の雄を好むことがわかりました。雌は今まで考えられていた以上に積極的に雄を選び、

雄の姿や行動を変えているらしいのです。このような性淘汰によってつくられた形質は自然界にたくさん存在しています。



### 上：ウォーターバック

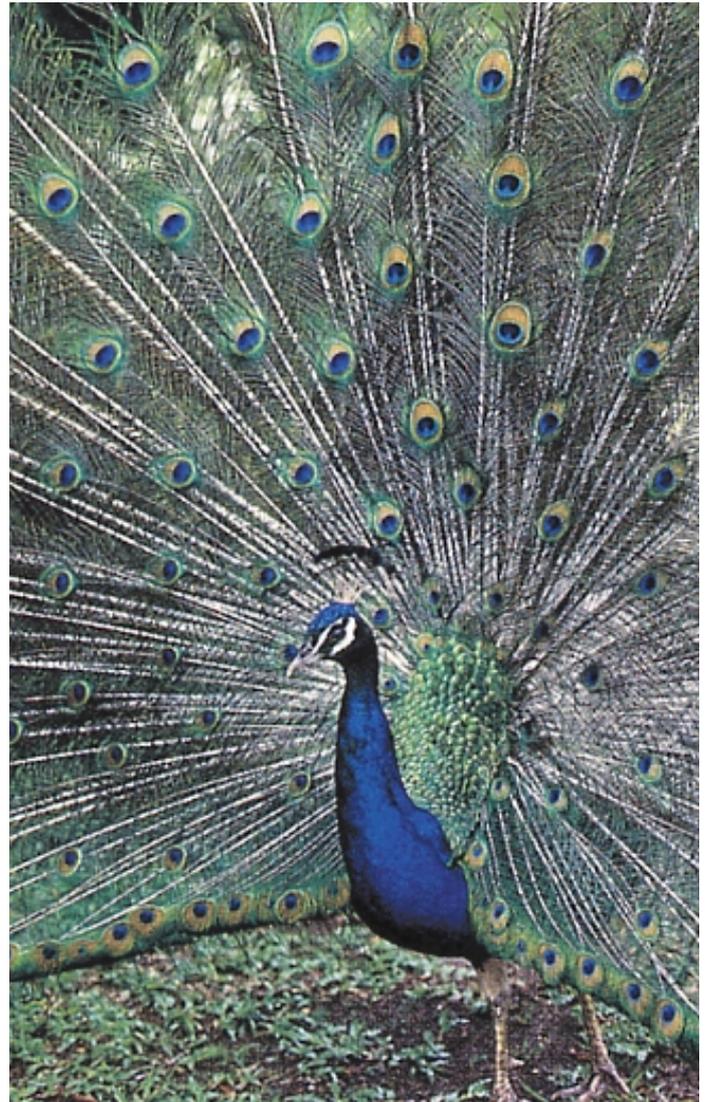
雄がもつ立派な角は雄間競争によって進化したと考えられている。

### 下左：ヒヒ

マントヒヒの雄はライオンの雄のような立派なたてがみと長い犬歯をもっている。

### 下右：クジャク

豪華な羽は雄が雌に好まれるための手段として発達した。



# 社会の仕組みと文化の起源を探る

「一匹狼」 本当にオオカミは一匹で暮らしているのでしょうか？

「猿まね」 本当にサルは他人のまねをするのでしょうか？

動物それぞれの独自の社会や文化の一端をご紹介します。

## 社会の多様性をつくり出す要因とは何か

動物は種によってさまざまな集団をつくります。単独生活をしていて交尾をするときだけ雌雄が一緒になるトラやクマ、つがいで暮らすオオカミ、雄がなわばりを構えて雌の集団を取り込むインパラやガゼル、大きなハレムをつくるオットセイ、複数の雌雄が一緒に暮らすニホンザルなど、多種多様です。なぜ動物は群れをつくるのでしょうか。その主たる理由は食物の摂取と捕食者からの防衛によって説明されます。小さな群れでは捕食者にねらわれる危険が大きく、大きな群れでは食物をめぐる競合が高くなります。この傾

向は食物の種類によっても、似たようなニッチを占める他の動物種の存在によっても、さらに交尾相手をめぐる雄の競合状態によっても異なってきます。生態学的条件の他に、おそらく系統的な制約や問題を解決する社会的知性のあり方がこうした違いを生み出していると思われるのです。

右：絶滅寸前にあるツキノワグマ

写真提供：社団法人高知県生態系保護協会

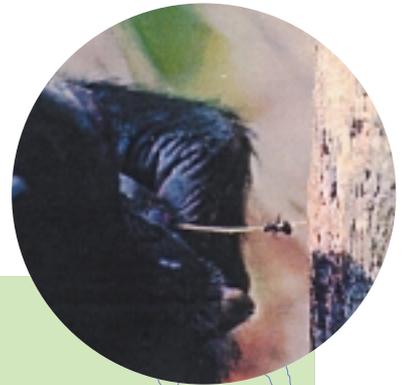


サツマイモを洗うニホンザル

## 文化的行動と道具使用

宮崎県の幸島に生息するニホンザルは、人から与えられたサツマイモを海水で洗い、砂を落とし塩味を付けて食べます。これは4歳の雌が始め、しだいに群れの仲間へと伝播していきました。こういった文化的な行動は霊長類によく見られます。とくに、チンパンジーは多種多様な道具を使うことで有名です。アフリカでは、チンパンジーの生息地に対応してそれぞれ違う道具が発見されており、文化圏と呼び得るものがあると考えられています。霊長類以外でも、カラス、ササゴイ、ダーウィンフィンチなどの鳥類にも道具を使って食物をとる行動が観察されています。これらの動物で文化的な行動がどのようにして定着し、他の集団や地域に伝播していくのか。人間が文化を獲得した生態学的背景や社会的条件は何か。人間以前の文化がしだいに明らかになりつつあります。

大アリを釣るチンパンジー

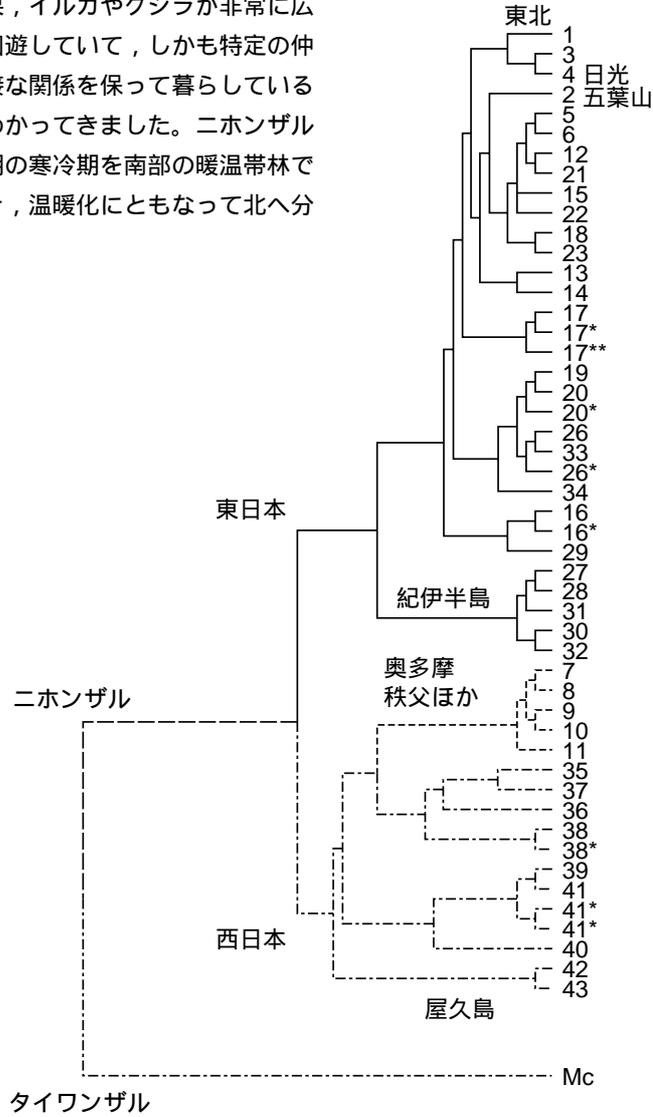


チンパンジー文化圏の地図

## 繁殖と行動を結びつけて考える

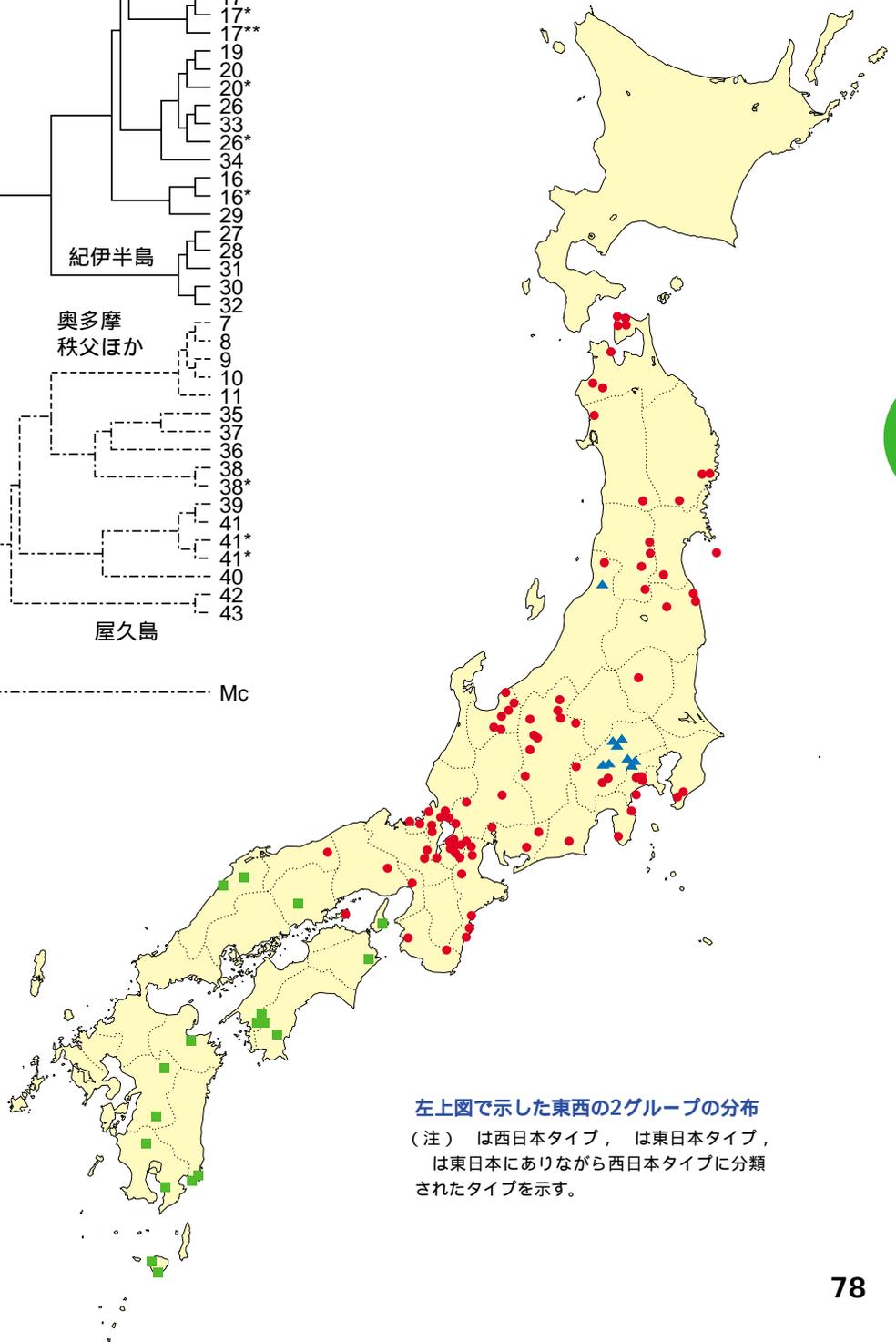
近年、わざわざ動物を捕獲して血液を採取せずに、体毛や糞といった残存物の資料から得られるDNAの配列を比較する手法を用いて、同一種の地域集団間の類縁関係を調べたり、子どもの父親を判定できるようになりました。その結果、イルカやクジラが非常に広範囲を回遊していて、しかも特定の仲間と密接な関係を保って暮らしていることがわかってきました。ニホンザルも氷河期の寒冷期を南部の暖温帯林で生き抜き、温暖化にともなって北へ分

布を広げた過程が推定できるようになりました。それぞれの動物種の繁殖特性が、社会の動態や分布域の拡大にどう関与しているかを分析できるようになったのです。



ミトコンドリアDNA配列から各地のサルが示すタイプ(番号で表示)の関係を推定した結果

(注) ニホンザルは単一系統で、東西の2グループに大別できる。ただし奥多摩、秩父など一部のサルは、西日本のサルに似たタイプを示す。



左上図で示した東西の2グループの分布

(注) は西日本タイプ, は東日本タイプ, は東日本にありながら西日本タイプに分類されたタイプを示す。



人類

# 人類の由来を求めて

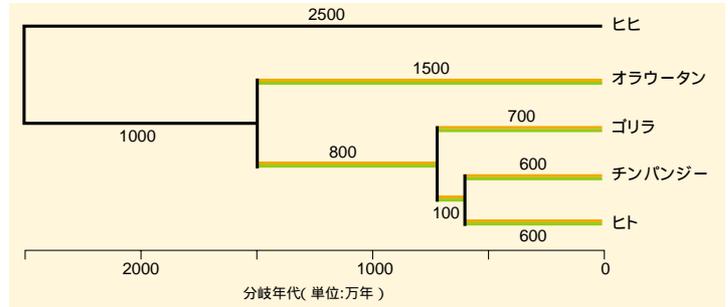
二本足だけで歩行する霊長類である人間。動物としてはきわめて「特殊」な存在ではありますが、決して「特別」な存在ではありません。しかし、なぜ人間が生まれたのか？この問題には、生物学の様々な手法を用いたアプローチが続けられています。

## 人類の系図をつくる

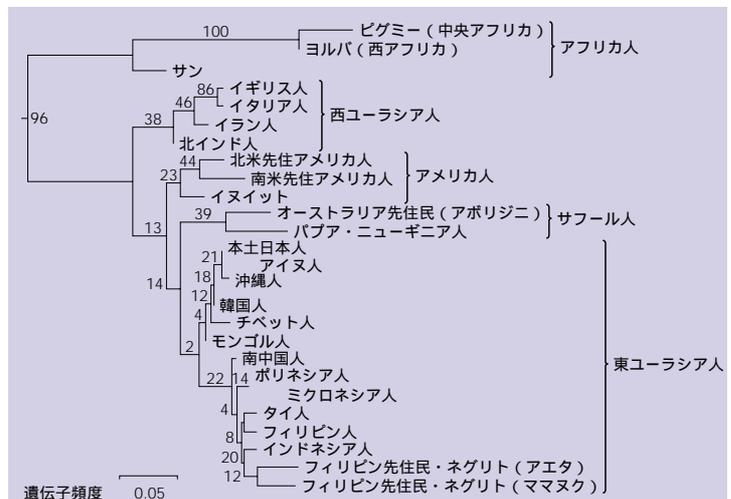
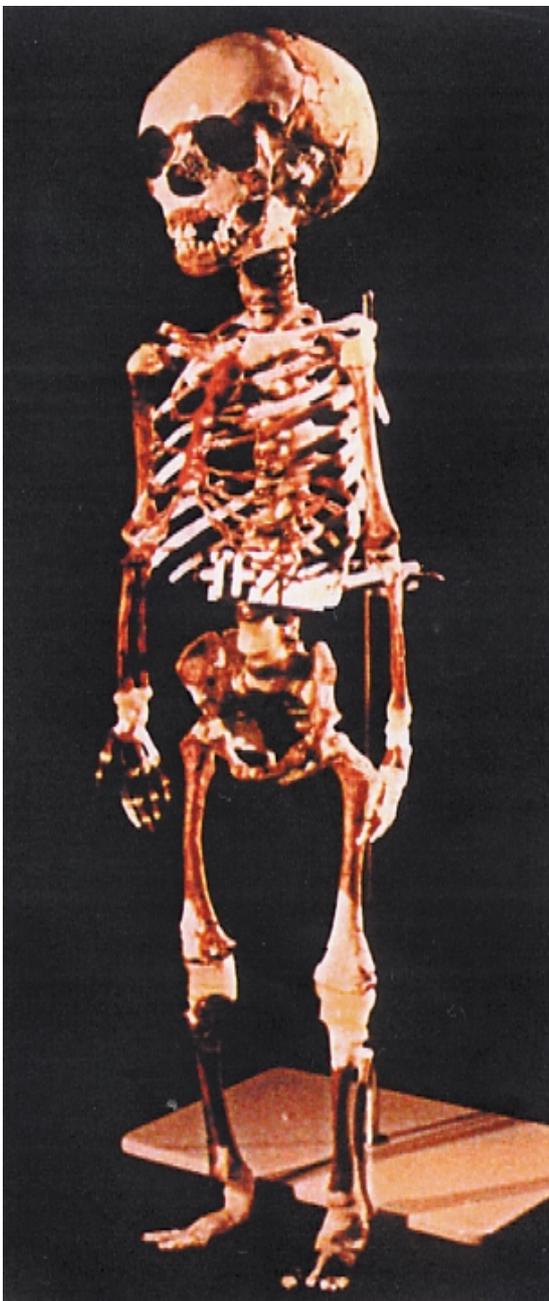
近年、DNAの塩基配列の比較から人類と類人猿の分岐時期を推測できるようになりました。この方法によれば、人類の祖先はチンパンジーの祖先と約600万年前に分かれ、両者の共通祖先はゴリラの祖先と約700万年前に分かれたこととなります。また、ミトコンドリアDNAが母性遺伝をすることを用いて、現代人の共通祖先である女性のDNAに到達しようという試みも行われています。その結果、現代人の共通祖

先はアフリカで誕生したことや、モンゴロイドは新大陸へ複数回の移動を行っていることなどが推測されるようになりました。現在、類人猿のゲノム解析が急ピッチで進められています。今後は人類と類人猿の間でゲノムが比較

され、人類はどういった特徴をもとに類人猿と分化したのか。人類の多様化はどんな特徴に關与する遺伝子によるのか、などの疑問が明らかにされていくでしょう。



DNAの塩基配列から推測される人類と類人猿の分岐時期



遺伝子頻度からみた遺伝的な近縁関係

## 人類の祖先はどんな姿をしていたか

近年、人類発祥の地アフリカでは類人猿と人類をつなぐ祖先の化石や、人類最古の化石が次々に発掘されています。その結果、人類は類人猿の祖先と分かれてすぐ直立二足歩行で歩き始めたことがわかってきました。しかも、生息地は樹木の多い環境で、長い間果実を中心とした植物食をしていたことが地層や歯の形態から推定されています。また、ネアンデルタール人、縄文人、現代人の骨格、さらには人類に近縁な霊長類の骨格と比較することによって、人類の形態進化がどのようにして起こったかが詳しく分析されています。

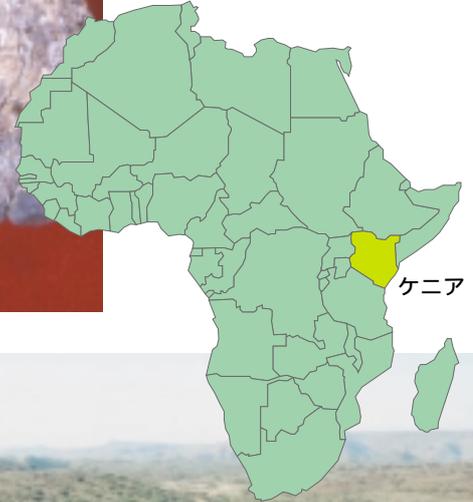
写真：シリア・デデリエ洞窟出土のネアンデルタール人幼児の骨格復元



**中新世ヒト上科化石とその発掘場所**

左の化石は北ケニアのサンプルヒルズから発見されたサンプルピテクス・キプタラミ（学名）の上顎の化石。950万年前（中新世後期）の人類の祖先のもの。

下の2点の写真が発見場所（北ケニア，サンプルヒルズの第22化石産地）。日本の調査隊として初めてアフリカ中新世ヒト上科化石を発見した。



生物

**さらに祖先を遡って**

北ケニアのナチョラで始まった京都大学の発掘プロジェクト。中新世中期，1500万年前の地層からヒト上科のナチョラピテクスが大量に発見されている。



## 類人猿から人類の心と社会の進化を探る

人間の行動や心の進化をたどるには、化石や遺伝子からではなく、生きている類人猿からヒントを得なければなりません。これまで人間に独自と思われていた特徴が類人猿にもあることがわかってきました。例えば、チンパンジーは食物をよく分配します。とくに、共同で狩猟をした時は分配行動がよく起こり、最優位の雄が肉の分配を権力の維持に利用します。ボノボでは性行動が日常的になっており、授乳中でも雌が発情して雄と性関係をもちます。ゴリラは特定の雄と子どもの関係が長期間維持される人間家族の原型のような集団を作って暮らしています。チンパンジーにコンピュータを操作させる実験では、人間の文字をある程度まで使いこなし、数字を記憶できることがわかっています。また、相手の心を理解したり、だましたりする高度な社会的駆け引きがあることもわかってきました。

人間性の進化の道筋が類人猿の目を通して明らかにされようとしているのです。



### 対面位の交尾

ボノボによく見られる人に似た対面位での交尾。他の類人猿と比べて、雌の性器がやや前についているため、このような交尾姿勢がとりやすくなっている。おとなの交尾が始まると、どこからともなく子どもが駆け寄ってきて、背中の上に乗って遊ぶ。

写真：古市剛史



### ゴリラの家族

ゴリラは特定の雄と子どもの関係が長期間維持される人間家族の原型のような集団を作って暮らしている。

### コンピュータを操作するチンパンジーの親子

生まれてからずっと親の後ろ姿を見ることで、子どもは知識や技術を学んでいく。

