

WHY EVOLUTION IS TRUE

進化のなぜを解明する

ジェリー・A・コイン 塩原通緒・訳
JERRY A. COYNE MICHIO SHIOBARA

進化のなぜを解明する

目次

まえがき　8
序章　16
第1章　進化とは何か　26
第2章　岩石に書かれた証拠　58
第3章　遺物――痕跡、胚、粗悪なデザイン　110
第4章　生物の地理学　160
第5章　進化のエンジン　200
第6章　性はいかにして進化を促すか　254
第7章　種の起源　294

第8章 われわれヒトは？ 328
第9章 進化ふたたび 382
訳者あとがき 404
原注 420
用語集 427
さらに読み進めるために 434
参考資料 452
図のクレジット 455
索引 461

表紙カバー
ポール・ゴーギャン
「我々はどこから来たのか
我々は何者か
我々はどこへ行くのか」

まえがき

二〇〇五年一二月二〇日。おそらく多くの科学者がそうだったように、私も不安な心持ちでこの日の朝を迎えた。ペンシルバニア州ハリスバーグの連邦判事ジョン・ジョーンズ三世が、「キッツミラー対ドーバー学区」の訴訟にいよいよ裁定を下すことになっていた。これは重大な分岐点をなす裁判であった。このジョーンズの判決により、今後アメリカの学校の生徒が進化をどのように学ぶかが決まるのだ。

教育と科学の危機は、すでにそれ以前からひっそりと始まっていた。ペンシルバニア州ドーバー学区の役人たちの会合で、地元高校の生物学の教科書にどれを注文するかの選定が行なわれたときのことである。信仰心の篤い教育委員会の数人のメンバーは、現行の教科書におけるダーウィン進化論への偏重にかねて不満だったため、聖書にもとづいた創造論についても触れている別の教科書を採用するべきだと主張した。そして激しい議論の末に、教育委員会は、ドーバー高校の生物学の教師に九年生の授業で次の文言を読むことを求める決議を可決した。

ペンシルバニア州教育基準は、生徒がダーウィンの進化論を学習したのち、最終的に進化の問題を含めた標準テストを受けるよう求めるものである。ダーウィンの進化論は一つの仮説であるため、新たな証拠が発見されるたびに検証を受けなくてはならない。進化論は仮説であって事実ではない。進化論には証拠の揃っていない不明部分が存在する。……インテリジェント・デザイン（ＩＤ）は、ダーウィンとは異なる見方から生命の起源を説明したもので、その参考書として『パンダとヒトの話』（*Of Pandas and People*）という本がある。この考え方に興味がある生徒は、インテリジェント・デザインが実際にどのような説なのかを理解できるようになっている。あらゆる仮説に対してと同様、生徒はつねに柔軟な姿勢を持つよう奨励されるものである。

これが教育関係者の猛反発を呼び起こした。九名の教育委員のうち二名が辞任し、生物学の教師は全員、この文言を授業で読みあげることを拒否し、「インテリジェント・デザイン」は科学ではなく宗教であると抗議した。宗教的な教育を公立学校で行なうのは合衆国憲法に違反するとして、怒り心頭に発した一一名の父兄がこの件を裁判所に持ち込んだ。

裁判は二〇〇五年九月二六日に始まり、六週にわたって続いた。この一件は大いに話題を集め、当然ながら「今世紀のスコープス裁判」と喧伝された。もちろん、その元祖は一九二五年の有名な裁判だ。テネシー州デイトンの高校教師ジョン・スコープスが、人間は進化してきたと教えたこと

で有罪判決を受けたのである。全国の報道機関が活気のないドーバーの町に押し寄せてきたさまは、まさしく八〇年前、さらに活気のなかったデイトンの町に起こったことを髣髴とさせた。チャールズ・ダーウィンのひ孫の息子にあたるマシュー・チャップマンまで現れて、裁判についての本の取材をしていた。

状況を見れば、すでに形勢は決していた。起訴側は抜け目なく周到に準備をしていて、被告側はいかにも精彩を欠いていた。被告側の証人に立った著名な科学者は、占星術まで含めてしまうほど「科学」を広く定義している有り様だ。きわめつけに『パンダとヒトの話』が引き出された時点で、勝負は見えたも同然だった。これは「創造」という言葉が「インテリジェント・デザイン」に置き換えられただけの、純然たる創造論の本なのである。

だが、ことはそう単純にはいかなかった。ジョーンズ判事はジョージ・W・ブッシュ大統領の任命を受けた保守派の共和党支持者で、熱心に教会に通っている人物だった。つまり、どう見てもダーウィニズムを支持する人間とは思われない。誰もが息を詰めながら、そわそわと事態の行く末を見守った。

クリスマスの五日前、ジョーンズ判事は判決を言い渡した――進化の勝訴だった。判事は教育委員会の方針を「驚くべき愚行」と言いきり、宗教的な動機は一切ないとする被告側の言い分も虚言であると裁定した。そして何より重要なことに、インテリジェント・デザインは再生利用された創造論であるとまで明言した。

本法廷の見解は以下のとおりである。良識のある客観的な観察者であれば、本件の膨大な記録と本法廷での陳述の両方を勘案したのち、ＩＤは興味深い神学的主張であるが、科学ではないとの避けられない結論に達するだろう。……要約すれば、［教育委員会の］責任放棄声明は、進化論を特別扱いの対象として選び出し、その科学界における地位を不正確に伝え、科学的な理由のないまま進化論の妥当性に対する疑念を生徒に起こさせ、代わりに科学的な学説に見せかけた宗教的な代替物を生徒に提示して、あたかもそれが科学的なものであるかのように創造論のテキストを生徒の学習の参考にさせ、生徒に公立学校の教室で科学的な探求をさせず、外で宗教的な教育を求めるようにと生徒を指導するものである。

ジョーンズは、進化論は致命的に欠陥があるという被告側の言い分もはねのけた。

たしかにダーウィンの進化論は不完全である。しかしながら、ある科学的仮説があらゆる点を説明できていないことを口実にして、宗教にもとづいた未検証の代替説を強制的に科学の授業に採用させ、すでに確立されている科学的主張をねじまげたりするべきではない。

だが、科学的事実かどうかを決めるのは科学者であって、判事ではない。ジョーンズはただ、すでに確立されている真実が偏見と独善に満ちた反対派によって台無しにされるのを阻止しただけだ。

とはいえ、ジョーンズの判決はアメリカの学校の生徒にとって、進化にとって、そして科学そのものにとって、すばらしい勝利だった。

しかし、それで満足している場合ではなかった。これが最後の戦いでないのは確実で、われわれはこれからも進化が学校で検閲を受けるのを阻止するために戦わなければならないだろう。私は二五年以上にわたって進化生物学を教え、そのあいだずっとこれを擁護してきたが、それにしても創造論というのは、まさに私が子供のころに遊んだ起き上がりこぼしのようなものだと実感する。打撃を与えればいったんは倒れるが、またすぐに復活してくるのだ。ドーバー裁判はアメリカの話だが、創造論はアメリカだけの問題ではない。創造論者――必ずしもキリスト教徒とは限らない――は世界のほかの地域でも、イギリス、オーストラリア、トルコを中心として足がかりを確立している。進化をめぐる争いは果てしなく続くようにも思える。しかも、その争いは代理戦争のようなもので、その奥にはもっと大きな、合理性と迷信との戦いがある。危機に瀕しているのは科学そのものと、科学が社会にもたらすあらゆる利益にほかならない。

進化を認めようとしない人々のスローガンは、アメリカにおいてもどこにおいても、つねに同じだ。「進化論は瀕死である」――これだけ聞くと、ダーウィニズムに矛盾する重要な何かが自然界に発見されているのかと思えるだろう。だが、進化はただの「理論」ではなく、ましてや瀕死の理論でもない。進化は事実だ。そしてダーウィニズムに疑いを向けるどころか、この一世紀半のあいだに科学者によって集められてきた証拠は、ダーウィニズムを完全に支持している。進化は実際に起

こったのであり、しかもほとんどダーウィンが言ったとおりに、自然淘汰の働きを通じて起こったのだ。

この本は、進化のおもな証拠を取り揃えて紹介するものだ。純粋に信仰の問題としてダーウィニズムを否定する人にとっては、どれだけ証拠を揃えられても、大して意味はないだろう。それは理性にもとづいた信仰ではないのだから。しかし、ただ確信がないという人や、進化は認めているけれども、どういう意見を持てばよいのかわからないという人もたくさんいるだろう。この本はそうした人々のために、なぜ現代科学が進化を真実と認めているかを簡潔にまとめたものである。これを読んでくれた人がいたるところで私と同じようにダーウィン進化論の純然たる説明能力に驚嘆し、その言わんとするところを怖がらずに受けとってくれることを祈るばかりだ。



進化生物学の本を書くには共同作業が不可欠である。この分野には、古生物学、分子生物学、集団遺伝学、生物地理学など、さまざまな研究領域が関わってくるからだ。それをすべて一人で修得するなど誰にもできない。そんなわけで、私も多くの同僚のお世話になった。辛抱強く私を教育し、私の誤りを修正して、数々の助言をくださったみなさんにお礼を申しあげる。リチャード・アボット、スペンサー・バレット、アンドルー・ベリー、デボラ・チャールズワース、ピーター・クレー

ン、ミック・エリソン、ロブ・フライシャー、ピーター・グラント、マシュー・ハリス、ジム・ホップソン、デイヴィッド・ジャブロンスキー、ファリシュ・ジェンキンズ、エミリー・ケイ、フィリップ・キッチャー、リッチー・レンスキー、マーク・ノレル、スティーヴン・ピンカー、トレヴァー・プライス、ドナルド・プロセーロ、スティーヴ・プルエット＝ジョーンズ、ボブ・リチャーズ、カラム・ロス、ダグ・シェムスキー、ポール・セレノ、ニール・シュービン、ジャニス・スポッフォード、ダグラス・シオボールド、ジェーソン・ウィアー、スティーヴ・ヤノヴィアック、アン・ヨダー。不注意にも名前を挙げられなかった方々にお詫びするとともに、本書に誤りがあった場合はすべて私一人の責任であることを明記しておく。原稿をすべて読んで批評してくれたマシュー・コッブ、ナオミ・フェイン、ホーピー・フックストラ、ラサ・メノン、ブリット・スミスには格別に感謝したい。私の文章だけではずいぶんと寂しかったはずの本書がこのように豊かになったのは、挿絵を描いてくださったカリオピ・モノイオスのたいへんな苦労と美的手腕のおかげである。最後に、人々に進化の証拠を知ってもらう必要があると同意してくれた私のエージェント、ジョン・ブロックマンと、私を助け、支えながら編集を担当してくださったヴァイキング・ペンギンのウェンディ・ウルフに感謝申しあげる。

序章

ダーウィンが重要なのは進化が重要だからだ。進化が重要なのは科学が重要だからだ。科学が重要なのは、これが私たちの時代の卓越した物語であり、私たちが何者で、どこから来て、どこへ向かうのかを綴った壮大な叙事詩だからだ。

——マイケル・シャーマー

科学によって解き明かされてきたこの世界のさまざまな驚異のなかでも、進化ほど人を魅了し、また激情を起こさせるものはない。これはおそらく、雄大な銀河であろうと一瞬のニュートリノであろうと、それを我が身に引きつけて考えさせることはないからだろう。進化には、それについて知った人の見方を根底から変えるような力がある。その目もくらむほど多彩で壮大な生命の世界において、自分がどういう位置にいるかを教えてくれるのが進化である。われわれを今日の地球上に生きるすべてのものと結びつけ、遠い昔に死んだありとあらゆる生き物にも結びつける。われわれが過去何千年と享受してきた神話に代わって、われわれの起源についての真実の説明を伝えてくれ

る。これに深く恐怖を覚える人もいれば、言いようのない興奮を覚える人もいるということだろう。

チャールズ・ダーウィンは言うまでもなく後者の一人だった。そしてすべての始まりとなった例の本、『種の起源』（一八五九年）の有名な最後の段落で、進化の美しさを語った。

> このように生命を見たとき、そこにあるのはなんという壮麗さだろう。原初、いくらかの力をもった命が、何個かの、いや、ひょっとしたらたった一個の身体に吹き込まれ、そうしてこの惑星が重力の一定の法則に従って回りつづけているあいだに、そのきわめて単純な最初の生物から、これまでになく美しい生物に、これまでになくすばらしい生物にと果てしなく進化してきて、いまもなお進化しつづけているのである。

だが、驚嘆すべきことはまだある。進化のプロセス――すなわち最初の一個の裸の複製分子から、いま生きているものも化石となっているものも含めて、何百万もの多様な生物を生み出してきた自然選択というメカニズム――そのものが、信じられないほど単純で美しい仕組みなのである。これを理解した者だけが、そのすごさを畏敬をもって感じられる。なにしろこのような単純なプロセスが、ランの花からコウモリの翼、クジャクの尾羽まで、じつにさまざまな特徴を生み出せているのだ。ふたたび『種の起源』から、この感覚を伝えるダーウィンの――ビクトリア時代の家父長主義を染み込ませられた――言葉を紹介しよう。

船を見たときの未開人のごとく、まったく理解の範疇を超えたものとして生物を見ることがなくなったとき、そしてあらゆる自然の産物にはそれぞれの長い歴史があるのだと思いやったとき、さらにあらゆる複雑な構造や本能はいずれも持ち主にとって有益となる数々の工夫の集大成であって、それは偉大なる機械的な発明品のすべてが多数の職人の努力と経験と理性と失敗のうえにできあがった集大成であるのとまったく同じことなのだと考えたとき、こうした見方で生物を見たとき――これは私の経験から言うのであるが――自然史の研究はなんといっそうおもしろくなることだろう！

あらゆる生命は進化の産物であり、その進化のプロセスのほとんどを動かしているのが自然淘汰であるというダーウィンの理論は、それまで誰も考えたことがないようなすばらしい着想であると評価されてきた。だが、この理論は単によくできているというだけでなく、美しくさえある。そして幸いなことに、真実でもあるのだ。進化の考えそのものはダーウィンが始祖ではなかったが、彼が集めた豊富な証拠はまさにその考えを裏づけており、生命はたしかに時間とともに変化してきたのだと当時の科学者や教養ある読者を納得させるに充分だった。一八五九年の『種の起源』の出版からたった一〇年で信任を得たダーウィンの理論だったが、それからあとは長いあいだ、科学界はダーウィン理論の主軸となる画期的な発想、すなわち自然淘汰という考えにずっと懐疑的だった。たしかに振りかえってみて、ダーウィニズムが「ただの理論」だった時代、「瀕死」状態だった時

代があったとすれば、それはこの一九世紀後半だろう。このころはまだ進化の仕組みを裏づける証拠が明確でなく、進化を働かせる手段――遺伝子の働き――についてもよくわかっていなかったのだ。それらがすべて整理されたのは二〇世紀に入ってからの数十年で、以後は進化についても自然淘汰についても続々と証拠が出てきて、ダーウィニズムに対する科学的異議をすっかり封じ込めた。ダーウィンには想像もつかなかったような多くの現象――たとえば進化的関係がDNA配列から識別できるなど――を生物学者が次々と解き明かしていくにつれ、ダーウィンが『種の起源』を中心にして提示した理論はますますその信憑性を確固たるものにしていった。いまや科学者は、原子が存在することや微生物が感染症の原因であることを確信しているのと同じぐらいの強さで、ダーウィニズムが真実であることを確信している。

それなら、なぜいまごろダーウィニズムの証拠を集めた本が必要なのか？　これはもうずいぶん前から科学の主流の一端を占めている理論なのではないか？　いまさら原子の存在を説明した本や、細菌が病気の原因であることを説明した本など誰も書かないだろう？　進化はそれらとどこが違うのか？

何も違わない――が、見方を変えれば、すべてが違っている。たしかに進化はあらゆる科学的事実と同様、しっかりと確立されている（このあと見るように、決して「ただの理論」ではない）。科学者はもういまさら説得してもらう必要はない。だが、科学の外の世界となると事情が違う。多くの人にとって、進化は自己意識を不穏に揺さぶるものなのだ。もし進化から教わることがあると

するなら、それはわれわれが他の生物に結びついているというだけでなく、われわれもまた他の生物と同じように、進化という非人間的な無計画な力の産物であるということではないのか？　もし人間が自然淘汰のさまざまな結果の一つにすぎないのなら、結局われわれはそう特殊な存在ではなかったことにならないか？　これがいかに多くの人の心を落ち着かなくさせるか、誰でも想像がつくだろう。自分たちはほかの種とは違うと思っていたのに、神の意図によってできた特別な存在だと思っていたのに、それがほかの生物と変わらない進化の産物だというのだから。それでは自分の存在にはなんの目的も意義もなかったのか？　それが人間をほかの生き物とは違うものにしているのではなかったのか？　さらに、進化は道徳性を蝕むものだとも思われている。もしわれわれが獣にすぎないのなら、実際に獣のようなふるまいをしても当然とならないか？　ただ脳が大きいだけのサルでしかないなら、誰も道徳など守らなくなってしまうのではないか？　このような恐れや、このような心理的抵抗をもたらす科学理論はほかにない。

この抵抗がおもに宗教からきているのは明らかだ。この世に創造論のない宗教はあっても、宗教のない創造論は見たことがない。多くの宗教は人間を特別な存在と見なしているうえに、進化を否定している。人間もほかの種も、すべて神によって瞬時に創造されたものであるとの見方をしているからだ。信仰のある人でも、多くは自分の信仰と進化のあいだにうまく折り合いをつけられているが、特殊創造論を真実そのものだと固く信じている人には、そのような両立はありえない。だからアメリカとトルコでは進化への抵抗がこれほど強いのだ。どちらも原理主義的な信仰が広く行き

わたっている国だからである。

進化という明白な科学的事実を受け入れるのに人々がいかに抵抗を感じているかは、各種の統計にあからさまに表れている。進化が事実であることを示す疑いようのない証拠があるにもかかわらず、世論調査は毎年変わらず、この生物学の一部門を悲しくなるほどアメリカ人が疑っていることを示している。たとえば二〇〇六年に三二カ国の成人を対象にして行なわれた調査に、「人間は周知のとおり、人間より古い動物の種から発展した」という文章に正しい、正しくない、わからないのどれかで答えよという設問があった。この文章はどう見ても正しい。このあと見るように、遺伝学的な証拠や化石からの証拠によって、人間はおよそ七〇〇〇万年前にチンパンジーとの共通祖先から枝分かれした霊長類の一系統の子孫であることがわかっている。にもかかわらず、アメリカ人は四〇パーセント――一〇人に四人――しか、これを正しいと答えていない（しかも一九八五年の調査から五パーセント下がっている）。これとほぼ同じ割合の三九パーセントの人が、これを正しくないと答えていて、残りの二一パーセントは、そもそも最初からわかっていない。

この数字をほかの西洋諸国と比べると、衝撃はいっそう大きくなる。調査対象となったほかの三一カ国のうち、進化を受け入れることに関してアメリカより数字が低かったのは、宗教的原理主義が行きわたっているトルコだけだったのだ（二五パーセントが受け入れ、七五パーセントが拒絶）。それに比べてヨーロッパ諸国ははるかに数字が高い。フランス、スカンジナビア諸国、アイスランドでは、八〇パーセント以上が進化を事実と認めていた。日本でも七八パーセントの人が人間は進

化したと認めている。もしアメリカが原子の存在を認めることに関して下から二番目の国だったら、たいへんなことになっていただろう。人々はすぐさま物理学の補習に行かされていたはずだ。

そして進化が正しいかどうかではなく、進化を公立学校で教えるべきかどうかとなると、これがまたいっそうひどい数字となる。アメリカ人の三分の二近くは、科学の授業で進化を教えるのなら創造論も同じように教えるべきだと思っているのだ。進化は教えるべきだが創造論者の代替説については触れるべきでないと考えている人は、たった一二パーセント――八人に一人――しかいない。「あらゆる面を教えよ」という主張がアメリカ人のフェアプレー感覚に訴えるのはわかるが、この結果は教育関係者にとっては本当に気落ちすることである。いくら信じている人が多いとはいえ、なぜ宗教にもとづいた信憑性もない理論を、すでに明らかに事実と認められている理論と並行して教えなくてはならないのか？　それは医学部で西洋医学といっしょにシャーマニズムを教えろとか、心理学部で人間行動の代替説として占星術を教えろなどと要求するのと同じことではないか？　だが、おそらく最も恐ろしい数字はこれだろう。法的に禁じられているにもかかわらず、アメリカの高校の生物学教師のおよそ八人に一人が、ダーウィニズムに代わる正当な科学的学説として創造論かインテリジェント・デザイン論を教室で紹介したことがあると認めているのだ（教師の六人に一人がこれを信じていると聞けば意外ではないのかもしれないが。「神はこの一万年のあいだに人間を現在とまったく同じ姿のまま創造した」のだそうだ）。

反進化論はアメリカだけの問題だと思われがちだが、残念ながら、いまやドイツやイギリスなど、

ほかの国にも広がりつつある。イギリスでは、二〇〇六年のBBCの調査で、生命がどう形成され、発展してきたかについて二〇〇〇人が見解を求められた。回答者の四八パーセントは進化論の見方を受け入れていたが、三九パーセントは創造論かインテリジェント・デザインを選び、残り一三パーセントはわからないと答えていた。そして回答者の四〇パーセント以上が、創造論かインテリジェント・デザインを学校の科学の授業で教えるべきだと考えていた。これはアメリカでの数値とほとんど変わらない。実際、イギリスの一部の学校は、インテリジェント・デザインを進化論の代替説として提示している。これはアメリカでは違法とされている教育方策だ。キリスト教の福音派が徐々にヨーロッパ本土に足場を固め、イスラム原理主義が中東の全域に広まるのと呼応して、創造論も着々とそのあとを追っている。いまこのときにも、トルコの生物学者は潤沢な資金をバックに声高に叫ぶ自国の創造論者に対して最後の抵抗を試みている。さらに創造論は――究極の皮肉だが――ガラパゴス諸島にまで足場を築いている。かつてダーウィンに霊感を吹き込んだ、まさに進化の象徴であるようなこの土地で、セブンスデー・アドベンチスト教会の学校が純粋な創造論的生物学をあらゆる宗派の子供に施しているのである。

原理主義的宗教との戦いを別にしても、進化には多くの混乱と誤解がついてまわっている。理由は単純で、進化を支持する証拠の強固さと多彩さが認知されていないのである。もちろん、単に興味がないという人もいるだろう。しかし問題は、それより大多数の人のことである。情報が行き届いていないのだ。私と同じ生物学者でさえ、多方面から出ている進化の証拠を知らないままの人が

大勢いる。私の教えている大学生の大半も、高校で進化を学んできたはずなのだが、この生物学の中心的な理論体系についてほとんど何も知らないまま講義に出てくる。一般マスコミは創造論と、その新しい子孫であるインテリジェント・デザインばかりを広く取り上げておきながら、科学者がなぜ進化を認めているかについての基本的背景はほとんど伝えない。これでは多くの人が創造論者のレトリックにだまされて、手の込んだ意図的なダーウィニズムの曲解を鵜呑みにしてしまうのも無理はない。

進化論の証拠を最初に集めたのはダーウィンだったが、その後のさまざまな科学研究により、進化がいまも進行中であることを示す一連の新しい実例が発見されてきた。種が二つに分岐するところも観察されているし、過去の変容を伝える化石も次々と発見されている。羽毛を生やしはじめた恐竜、肢が伸びている魚、そして哺乳類に変わりつつある爬虫類。この本では、遺伝学、古生物学、地質学、分子生物学、解剖学、発達学など、多くの分野の最新の研究成果を紡ぎあわせながら、ダーウィンによって初めて提唱されたプロセスの「消えることのない刻印」を実証していきたい。何が進化で、何が進化でないのか、これほど多くの人を激怒させる理論の正当性をどうやって検証できるのかを、これから詳しく見ていくことにしよう。

進化の重要性を完全に認識するには考え方を根底から変える必要があるのは確かだが、だからといって、創造論者が人々をダーウィニズムから遠ざけようとして大げさに言っているような恐ろしい結果にそのままつながるわけではない。進化を受け入れたからといって、人がいきなり絶望した

ニヒリストになるわけでもなければ、人生から目的や意義が奪われるわけでもない。人が不道徳になることもないし、スターリンやヒトラーのような考えを持つようにもならない。そして、無神論を心配する必要もない。賢明な宗教はいつだって科学の進歩とうまく折りあいをつけてきている。むしろ進化を理解することで、この生物界とそこにおける自分たちの位置に対する感謝の念はますます奥深くなるだろう。この真実――ライオンやアカスギやカエルと同じように、われわれ人間もすべて遺伝子が一個ずつゆっくりと入れ替えられてきた結果であり、その入れ替えのたびにわずかずつ繁殖に有利になってきたのだということ――は、われわれが何もないところからいきなりこの世に存在を命じられたとする神話より、確実に満足を与えてくれるはずだ。これについても例によって、ダーウィンが至言を述べている。

すべての生物を特殊な創造の産物ではなく、カンブリア系の最初の地層が堆積するずっと前に生きていたいくつかの生き物から系統を下ってきた子孫であると見なすと、私にはそれらがとても気高くなったように感じられるのである。

第1章

進化とは何か

進化論の不思議なところは、誰もがそれを理解していると思い込んでいることだ。

——ジャック・モノー

自然に関して真実と言えるものがあるとするなら、それは植物や動物がすべてそれぞれの一生に見合った、ほぼ完璧なかたちで精妙にデザイン（設計）されているように見えることだ。たとえばイカやカレイは周囲の環境に溶け込むように体の色や模様を変えることができ、それゆえに捕食者にも被食者にも見つからないでいられる。コウモリには自前のレーダーが備わっていて、それにより真っ暗な夜でも狙いをつけた虫に近づいていける。ハチドリは空中の一点に浮かんでいられ、その場で瞬時に体勢を変えることもできる。その敏捷性は人間の作ったどんなヘリコプターよりもはるかに上だ。そして生まれ持った長い舌で、花冠の奥にある蜜を吸う。そのハチドリが訪れる花も、これまたみごとにデザインされているとしか思えない。花はハチドリをうまいこと生殖の補助具に使っているからだ。ハチドリが一心に花の蜜を吸っているあいだ、花はそのハチドリのくちばしに

花粉をつけ、ハチドリが次の花に向かったときにその花を受精させるようにしているのである。このように、自然はたっぷり油を差された機械のごとく、円滑、順調にまわっていて、すべての種がその歯車の精巧な歯となっているように見える。

だとすると、その図から連想されるのは、当然、名工の存在である。この帰結を言い表したものとして最もよく知られているのが、一八世紀のイギリスの哲学者ウィリアム・ペイリーの言葉だ。地面に時計が落ちているのを見たならば、人は誰でもそれを時計職人によって作られたものと見なすだろう。同じように、環境にみごとに適応している生物と、その精巧な特徴の存在は、意識をもった天上のデザイナー、すなわち神をほのめかすものであるとしか考えられない、というのである。哲学史のなかでも非常に有名な一節であるペイリーの主張を紹介しよう。

> 時計を念入りに調べてみると……その各部分が目的を持って考案され、組み立てられているのがわかる。たとえばある部分は動きを生み出すための形成と調整がなされており、その動きは時刻を指し示すための制御がなされている。もしも各部分が現状とは異なる形態や大きさで作られていたなら、あるいは異なる場所に異なる順序で配置されていたなら、その機械は動き出すこともなく、現在その機械が果たしている用途に応えることもない。……時計に存在していた工夫のしるし、設計の具現化が、すべて自然の作品には存在している。ただし違うのは、自然のほうは、あらゆる計算を上回るほどに、すばらしくできているということである。

このようにペイリーが雄弁に述べ立てた主張は、当時の常識に適ったもので、昔から続いてきた考えでもあった。ペイリーら「自然神学者」の一派は動物や植物を描写しながらも、それはみごとにデザインされた創造物に具現化されている、神の偉大さと巧みさを列記していることにほかならないと信じていた。

そしてダーウィンも、一八五九年にこのデザインの問題を――のちに退けてはいるが――やはり一度は提起していた。

生物のある部分が別の部分に、その生物の生態環境に、そして別個の生物の特徴にまで、こうも完璧に適応しているのはどういうわけなのだろうか。そのような美しい共適応を最も明白に体現しているのがキツツキとヤドリギである。そしてそれよりはわずかに劣るが、四足動物の毛や鳥の羽に付着する卑小な寄生生物にも、水中に飛び込むカブトムシの構造にも、ほんの少しの風にも乗って飛ばされる羽毛の生えた種子にも、やはり共適応はよく表れている。要するに、この美しい適応はあらゆるところに、自然界のあらゆる部分に見られるのである。

このデザインという難問に、ダーウィンは彼なりの答えを案出した。徹底した博物学者だったとはいえ、もともとは聖職者となるべくケンブリッジ大学で（皮肉にも、かつてペイリーが使っていた部屋を居室にして）学んでいたダーウィンは、ペイリーの主張したような説がいかに人の心をそ

そるかをよく知っていた。植物や動物について知れば知るほど、人はそれらの動植物のデザインがそれぞれの生態にじつにうまく適合していることに驚嘆する。こんな適合は意識的なデザインの表れにほかならない――そう考えるのがいちばん自然ではないか？　しかしダーウィンは目の前の現象にとらわれず、その奥を見通して、意図的なデザインという論を永久に吹き飛ばす二つの考えを――それを補強する多数の証拠とともに――提出した。それが進化と自然淘汰である。進化という考えを思いついたのはダーウィンが初めてではなかった。彼自身の祖父であるエラスムス・ダーウィンも含め、すでに何人かが、生命は進化してきたのではないかと考えついていた。しかし自然界からのデータを用いて大勢の人々に進化が事実だと納得させるにいたったのはダーウィンが最初であり、その自然淘汰という考えにいたっては、まさしくそれまでにない新しいものだった。一八五九年以前の西洋の一流の教養人に受け入れられていた自然神学の概念が、たった一冊の五〇〇ページの書物によって、わずか数年のあいだに打ち破られたことが、ダーウィンの非凡な才を証明している。その書物『種の起源』により、生命の多様性についての謎は、神学ではなく真の科学の範疇となった。

ここであらためて、「ダーウィニズム」とはなんであるかを考えてみたい。[1] この単純にして非常に美しい理論、すなわち自然淘汰による進化という仮説は、しばしば誤った理解をされてきたばかりか、ひどい場合は悪意による誤った説明をされてきた。したがって、その骨子となる要点と論旨を今一度まとめなおしておくのは決して無駄ではあるまい。これらの論点には、この先それぞれの

証拠を見ていくにあたって繰り返し触れることになる。

端的に言えば、現代進化論を理解するのは難しいことではない。その内容はたった一つの（いささか長くはあるが）文章に要約できる。すなわち地球上の生命は、三五億年以上前に生存していた一つの原始的な種――おそらくは自己複製分子――に始まり、それがいつしか分岐して、多くの新しい異なった種を生み出すというかたちで漸進的に進化したのであり、そのような進化的変化のほとんど（すべてではないが）を実現させたメカニズムが自然淘汰である、ということだ。

この一文を分析してみると、これはまさしく六つの要素から成り立っている。進化、漸進性、種分化、共通祖先、自然淘汰、および淘汰によらない進化的変化のメカニズムである。では、この各要素が意味するところを詳しく見てみることにしよう。

まずは進化そのものである。これは単純に、種が時間の経過とともに遺伝子変化を起こすことを意味する。つまり、種はいくつもの世代を経るあいだにまったく別の何物かに進化する可能性があり、その変容は突然変異をきっかけとしたＤＮＡの変化にもとづいて生じる。現存する動植物の種は過去には存在していなかったが、かつて生存していた何らかの種から派生している。たとえば人間は、サルのようではあるが現代のサルとは同一でない生物から進化したものだ。

種はすべて進化するが、その進化の速さは一様ではない。カブトガニやイチョウのように、何百万年ものあいだほとんど変化していないものもある。進化論は、種が間断なく進化しつづけることを予言したものではないし、また、種が進化の過程でどれほど速く変化するかを予言するものでも

ない。進化の速さは、その種が受ける進化圧により変わるものなのである。クジラやヒトのように急速に進化してきた生物もいれば、「生きた化石」の異名をとるシーラカンスのように、数億年前に生息していた祖先とほぼそっくりな姿をしたままの生物もいる。

進化論の二つめの要素は、漸進性という考え方である。爬虫類から鳥類への進化など、根本的な進化的変化が生じるには何世代もの時間がかかる。哺乳類を爬虫類と区別する歯や顎のような新しい特徴の進化は、一世代や二世代で生じるものではなく、数百や数千――ことによると数百万――もの世代をかけて生じるのが普通だ。もちろん、非常に急速な変化が起こる場合もなくはない。たとえば微生物の個体群は世代交代の期間が非常に短く、わずか二〇分間という種さえある。要するに、これらの種は短時間のうちに多くの進化を遂げられるわけで、病気を引き起こすバクテリアやウィルスの薬剤耐性が悲しくなるほど急速に上がるのもそのせいである。これは極端な例としても、人間の一生と同じぐらいの期間のあいだに進化が起こる例はいくつもある。とはいえ、本当に大きな変化について言うならば、たいていそれは何千年もの時間をかけて徐々に生じる変化となる。ただし、ここでいう漸進性とは、それぞれの種が一定のペースで進化するということではない。進化の速さが種によってそれぞれ違うように、一つの種においても進化圧の増減にともなって進化の速さは変わってくる。動植物が新しい環境に移り住むときのように自然淘汰が強く働く場合は、進化が急速に進むだろう。逆に、種がいったん安定した生息環境に適応すれば、その後の進化はたいていゆるやかになる。

次の二つの要素は、一枚のコインの裏表のようなものだ。現在これだけありとあらゆる種が存在していながら、われわれ生物のすべてが――あなたも私も、ゾウも鉢植えのサボテンも――同じいくつかの基本的な特徴を共有しているというのは、じつに驚くべき事実である。たとえば、生物がエネルギーを生み出すのに使っている生化学的経路や、標準的な四文字のＤＮＡコードや、そのコードを読み取ってタンパク質に翻訳する作法などは、どの種においても同じなのだ。そこからかんがみるに、現在のさまざまな種はすべて単一の共通祖先にさかのぼると考えられる。これら共通の特徴を有していた祖先が、その特徴を子々孫々に受け渡していったというわけだ。しかし、進化が一つの種のなかでの漸進的な遺伝子変化のみを意味するものであるなら、今日この世界には一つの種しか存在していないことになる。最初の種が高度に進化した末の唯一の子孫だ。ところが、周知のとおり、今日の地球上には一千万以上の種が生息しており、さらに二五万の種が化石として確認されている。生命はかくも多様だ。単一の祖先の形態から、いったいどのようにしてこれだけの多様性が生じたのだろう。この問いに答えるには、進化の三つめの考え方が必要になる。すなわち種の分岐、より正確に言うならば「種分化」である。

図1を見ていただきたい。これは鳥類と爬虫類の関係を示した進化の系統樹の一例である。こういう図は誰でも見たことがあるだろうが、これをもっと詳細に検分してみると、その重要な本質が見えてくる。たとえばX点から系統が枝分かれして、トカゲやヘビといった現生爬虫類につながるラインと、現生鳥類やその類縁である恐竜へとつながるラインが生じたとき、具体的には何が起

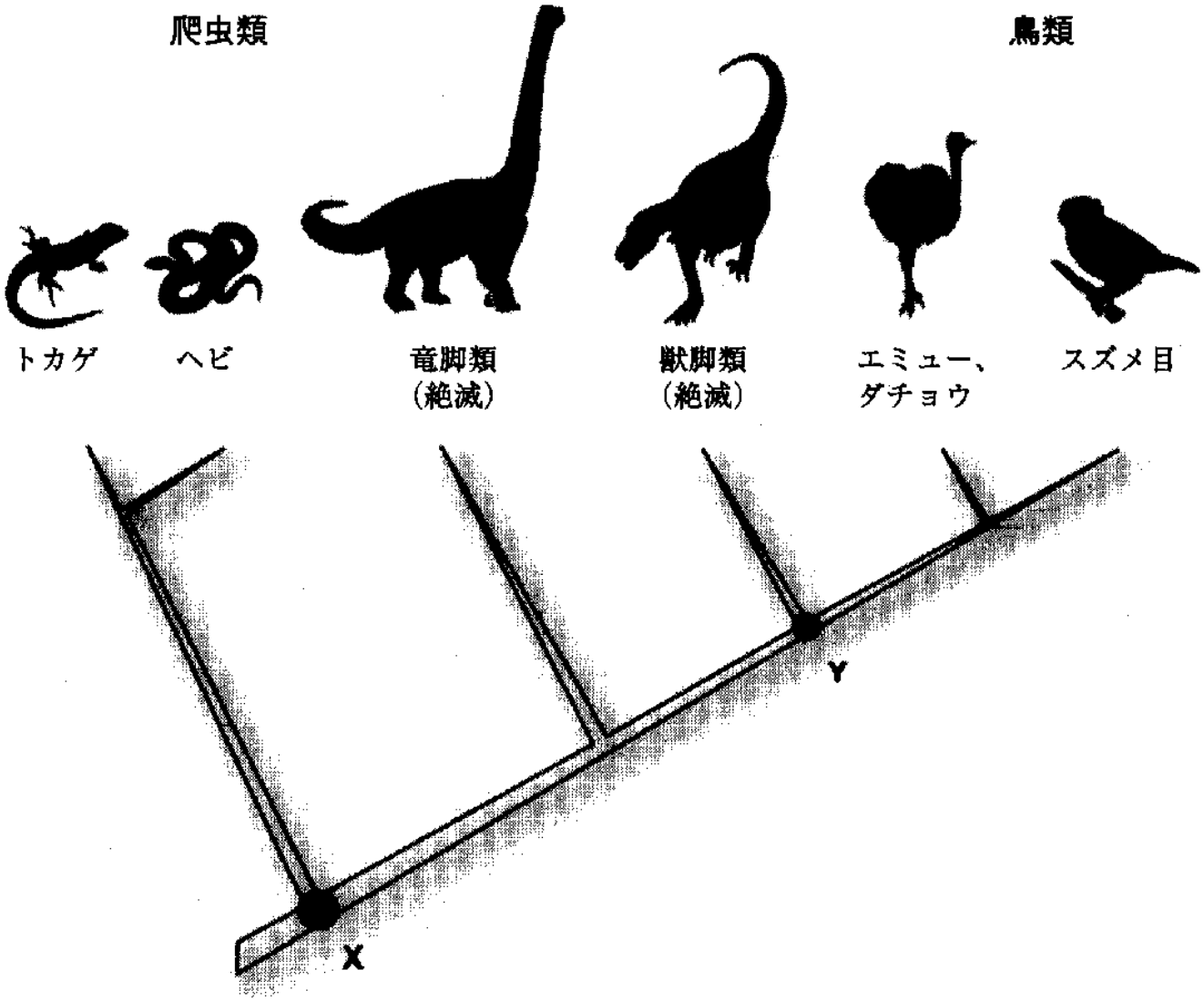


図1　爬虫類の共通祖先の一例。XとYは、のちの進化形態の共通の祖先だった種を表している。

こったのだろうか。分岐点Xは、祖先にあたる単一の種、つまり、子孫が二つの種に分かれる前の古代の爬虫類を表している。子孫の片方は独自の道を揚々と進み、最終的には何度も枝分かれして、あらゆる恐竜と現生鳥類を生じさせた。もう片方の子孫も同じことをしたが、こちらが生じさせたのは現代のほとんどの爬虫類だった。この共通祖先Xは、別々になった子孫の種のあいだをつなぐ、いわゆる「ミッシング・リンク（失われた環）」である。鳥類と現生爬虫類は、この一点によって系図上で結びつく。つまり、それぞれの系統をずっとさかのぼっていって最終的に到達する交点がここなのである。この図には、さらにその後の「ミッシング・リンク」もある。それがY点で、ティラノサウルスのような二足歩行の肉食恐竜（いまではすべて絶滅）と、現生鳥類の共通祖先にあたる種である。これらの共通祖先はもはやこの世に存在せず、化石で立証することもまずできないが（それらは数千の化石種のうちのたった一つの種なのだ）、ときにはそれらに非常に近い、つまり共通の系統を示す特徴を備えた、別の種の化石が発見されることもある。たとえば第2章で見るような、分岐点Yの存在を示唆する「羽の生えた恐竜」などがそれである。

さて、祖先Xが二つの異なる種に分岐したとき、そこで何が起こったのだろう。じつをいえば、大したことは起こっていない。あとで見るように、種分化とは、相互繁殖をしない、すなわち遺伝子交換のできない別々のグループが進化するという意味でしかない。仮にわれわれがこの共通祖先の分岐の始まりに立ち会っていたとして、そこで何が見られたかといえば、単一の爬虫類の種に属する二つの——おそらくは別々の場所に棲んでいる——個体群が、両者のほんのわずかな差異を進

化させはじめるという、ただそれだけのことにすぎない。だが、そのちょっとした差異が、長い時間のあいだに少しずつ大きくなる。そして最終的に二つの個体群は、もはや片方の個体群のメンバーともう片方の個体群のメンバーとが相互繁殖できなくなるところまで両者の遺伝的差異を進化させている（この実現にはいくつもの道がある。たとえば異なる動物の種のメンバーは、もはや互いに配偶者としての魅力を感じないだろうし、もし交尾することがあったとしても、産まれた子には繁殖能力が欠けていたりする。あるいは植物の場合、種はそれぞれ別の受粉媒介者や花を使い、受粉時期を変えることによって、他家受粉が起こらないようにする）。

そして、さらに何度かの分岐を経た数百万年後、子孫の恐竜の種の一つ、すなわち分岐点Yがまた新たな二つの種に分岐する。片方は最終的にあらゆる種類の二足歩行の肉食恐竜を生み、もう片方はあらゆる種類の現生鳥類を生んだ。この進化史の決定的瞬間――あらゆる鳥類の祖先の誕生――は、その時点では決して劇的なできごとには見えなかっただろう。爬虫類とは異なる空飛ぶ生き物が突如として現れたわけではなく、ただ単に、同じ恐竜でありながらわずかに異なる二つの個体群が現れただけにすぎない。その違いは、おそらく現生人類のさまざまな集団間における個体の違いとさして変わらなかっただろう。すべての重要な変化は、種が分岐してから数千の世代を経るあいだに起こった。片方の系統には飛行を促す方向に、もう片方の系統には二足恐竜の特徴を促す方向に淘汰が働いたからである。いまでこそ分岐点Yの種はティラノサウルスと鳥類の共通祖先であると特定できるが、それはあくまでも、あとから振り返ってそうとわかるにすぎない。数々の進

化上のできごとは長い時間をかけてゆっくりと進んできたものであり、枝分かれしていく進化の流れの結果として生じた子孫をすべて並べて整理したときに、初めてその重大さがわかるようなものなのである。

ただし、種は必ずしも分岐するものではない。詳しくは後述するが、種が分岐するかどうかは環境によって決まる。ある環境のもと、異なる個体群のあいだで相互繁殖ができなくなるぐらいに差異が進化したときにのみ分岐は起こる。種の大多数――九九パーセント以上――は子孫を残さないまま絶滅するし、あるいはイチョウのように、多数の新しい種を生むことのないまま何百万年と生きつづける種もある。種分化はそう頻繁に起こることではないのだ。しかし、いったん一つの種が二つに分岐したならば、その後の種分化の機会は二倍になるわけで、可能性として種の数は指数関数的に増大する。種分化は遅々として進まないものではあるけれども、これだけ長い歴史のあいだにはそれなりの回数で起こっているから、現在この地球に生存する植物や動物の種が信じがたいほど多岐にわたっているのも考えてみれば当然のことなのである。

種分化の持つ意味を非常に重く見たダーウィンは、これを彼の最も有名な著作のタイトルにした。実際、この本は種の分岐に関してある程度の証拠を示している。『種の起源』に載せられている唯一の図は、先の図1によく似た仮説上の進化系統樹だ。ただし、ダーウィンは新しい種が生じる仕組みを完全に説明できてはいない。当時のダーウィンには遺伝学の知識がなかったため、種を説明することが遺伝子交換の阻害を説明することになるとは思いもよらなかったからだ。種分化がいか

にして起こるかが本当に理解されたのは、一九三〇年代に入ってからである。私の専門分野でもあるこの仕組みについては、第7章で詳しく述べることにしよう。

一本の幹からあらゆる種が生じている樹木の図に生命の歴史が表されるなら、一番先の小枝のペア（現生種）から順々にもとの枝へとさかのぼって、各枝が共有する大枝の根元で交わるところまでいけば、当然そこにすべての枝の共通の起源が見つかる。この交点が、すでに見たとおり、それらの枝の共通祖先である。そして生命が単一の種に始まって、枝分かれのプロセスを通じて何百万もの子孫の種に分かれたのなら、あらゆる種のペアは過去のどこかの時点で共通の祖先を持っていることになる。近縁の種は、人間における近い親戚と同じように、近い過去に共通の祖先を持っており、遠縁の種は、人間における遠い親戚と同じように、遠い過去に共通祖先を持っている。したがって共通祖先という考えは――つまりダーウィニズムの四つめの原則は――種分化と切り離せない裏表の関係にある。要するに、ＤＮＡ配列や化石といった手段によって時間をさかのぼって見てみれば、子孫がそれぞれの祖先のもとに集結する図が必ず見られるということだ。

一例として、脊椎動物の系統樹（図2）を検証してみよう。この樹形図には、生物学者が進化的関係を推定するときに手がかりとする主要な特徴のいくつかが示されている。まず、魚類、両生類、哺乳類、爬虫類は、すべて背骨を持っているから――なにしろ「脊椎動物」なので――やはり同じように背骨（脊柱）を持っていた共通祖先から派生したに違いない。しかし脊椎動物のなかでも、爬虫類と哺乳類は「羊膜卵」を持つ、つまり胚が羊水を満たした膜（羊膜）に包まれているという

共通点において結びついている（と同時に、魚類や両生類から区別される）。したがって爬虫類と哺乳類は、やはり同じように羊膜卵を持っていた、前述の祖先よりあとの時代の共通祖先から生まれたと考えられる。しかし、このグループにはさらに二つの下位グループがある。片方の下位グループに含まれる種はすべて体毛を生やし、温血で、乳汁を出す（つまり哺乳類である）が、もう片方の下位グループに含まれる種は冷血で、うろこに覆われ、水を通さない卵を産む（つまり爬虫類である）。あらゆる種と同様に、これらは入れ子になった階層を形成している。すなわち、ある一定の特徴を各個体が共有している大きな種の一群が、さらに別の特徴を共有する小さな種の一群に細分され、それがまたさらに細分されていって、たとえばクロクマとハイイログマのように、ほぼすべてに近い特徴を共有した種に行き着くという構図である。

じつのところ、この生命の入れ子構造はダーウィン以前、それもはるか以前から認識されていた。最初は一六三五年、スウェーデンの植物学者カール・リンネが行なったのを皮切りに、生物学者は動植物の分類をするようになり、それらの動植物がいわゆる「自然分類」に一貫して分けられることを発見した。どの生物学者が分類を行なっても、たいていほぼ一定の、驚くほど似通ったグループ分けができあがったのである。つまり、これらのグループ分けは分類の必要性から生じた人間の主観的な作為の結果ではなく、自然についての何か根本的な真理を示しているのだ。とはいえ、その何かが何であるかはダーウィンの登場まで誰にもわからなかった。ダーウィンは生命の入れ子構造が進化の予言する帰結にほかならないことを初めて示したのである。近い過去に共通の祖先を持

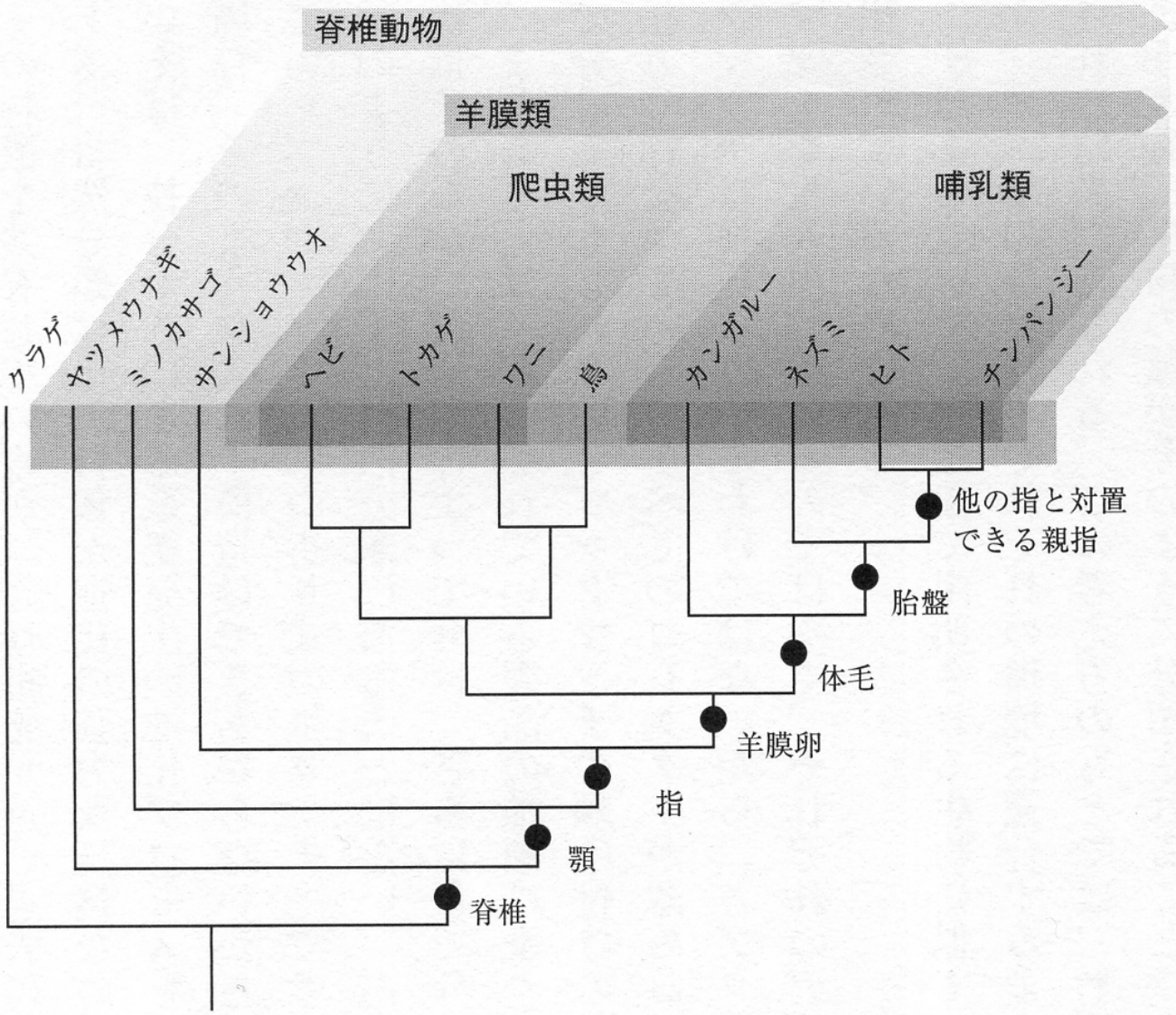


図２　脊椎動物の系統発生の歴史（系統樹）。進化の過程において、各特徴に応じた階層的なグループ分け、ひいてはそれらの特徴を持った種の階層的なグループ分けが、いかにしてできあがったかを示したもの。黒点は系統樹のどこでそれらの特徴が生じたかを示している。

つ生物は多くの特徴を共有しているが、共通祖先が遠い過去にいた場合は子孫の生物のあいだに多くの差異がある。自然分類はそれ自体が進化の強力な証拠なのだ。

なぜかといえば、枝分かれによる系統発生の進化プロセスを通じて生じたのではない物体を並べようとした場合、そのような入れ子構造はできあがらないからである。たとえば、私がかつてコレクションしていたブックマッチ（二つ折り式の紙マッチ）で考えてみよう。これを分類するとしても、生物の種のようにおのずと自然分類になることはない。ある人は、ブックマッチをまず大きさで大別し、次はそのなかで製造国によって分け、さらに色で分けるといった順番で階層をつけるかもしれない。またある人は、宣伝されている製品の種類によって分けてから、それを次に色で分け、さらに日付で分けるかもしれない。ブックマッチの順序付けの基準はいくらでもあり、誰もがそれを独自のやり方で行なっている。すべてのコレクターが認める配列体系などは存在しないのだ。なぜならブックマッチは進化しているわけではないから、各ブックマッチが自分とほんの少し違った別のブックマッチを生み出しているのではなく、それぞれのデザインが人間の思いつきによってゼロから生み出されているためである。

ブックマッチはある意味で、創造論で説明される生物に似ている。創造論に従えば、生物に共通祖先はおらず、すべての生物は、それぞれの環境に適合するように最初からデザインされた形態が瞬時に創造された結果だとされる。この考え方のもとでは、形態の入れ子構造をいくら全生物学者が認めていようとも、生物の種がそのように分類されることはありえない。(2)

約三〇年前まで、生物学者は現生種の祖先を再構築するにあたって、解剖学的構造や繁殖様式といった目に見える特徴を手がかりとしていた。その根拠は、同じような特徴を持った生物なら遺伝子も同じようになっているはずであり、だから系統関係も近いはずだという推論にあった。なるほど、もっともである。しかし現在では、もっと強力で、新しい、自立的な方法によって祖先を確定できるようになっている。遺伝子そのものを調べるという方法だ。さまざまな種のＤＮＡ配列を決定し、その配列がどれだけ似ているかを測定することによって、それらの種の進化上の関係が再構築できるのである。これは、ＤＮＡが似ている種ほど系統関係が近いはず、言い換えれば、それだけ近い過去に共通祖先を持っているはず、という至極もっともな推論によって支えられている。このような分子遺伝学的手法が、ＤＮＡ以前の時代に考えられていた生命の系統樹を大きく変えたかといえば、じつはそんなことはなかった。生物の目に見える特徴も、その生物のＤＮＡ配列も、たいていは系統関係に関して同じ情報を示すのである。

共通祖先という考えは、進化についての強力で検証可能な予言におのずと結びつく。鳥類と爬虫類がそれらの特徴とＤＮＡ配列にもとづいて同じグループにまとめられると認められたのであれば、鳥類と爬虫類の共通祖先が化石記録に見つかるはずだという予言が成り立つ。こうした予言は実際に果たされており、進化を裏づける最大級の証拠のいくつかを提供してきた。共通祖先の化石記録については第2章で詳述しよう。

さて、進化論の五つめの要素は、自らの研究における最大の偉業と明らかにダーウィンが自負し

ていたもの、すなわち「自然淘汰」という考えである。この着想は、じつはダーウィンだけのものではなかった。彼と同時代の博物学者、アルフレッド・ラッセル・ウォレスも、ちょうど同じころに自然淘汰の考えを思いついていた。これはのちに、科学史上最も有名な同時発見の一つと見なされるようになる。しかし、その発見者としての栄誉をおいしくいただいてしまったのはダーウィンのほうだった。彼が著した『種の起源』に自然淘汰の考えが詳細につづられ、その証拠も提出され、そこから推論される多くの帰結も導きだされていたためだ。

だが、自然淘汰の考えはその当時でも進化論全体のなかで最も革命的と見なされた部分であり、今日でもなお多くの人を動揺させている。この考えが画期的であり、不穏でもあるのは、同じ理由による。あらかじめデザインされているとしか見えないような自然界の姿を、超自然的な力による創造や導きを必要としない純粋に物質的なプロセスで説明しているからだ。

自然淘汰の考えは特に難しいものではない。ある種のなかで個体のあいだにわずかな遺伝子の差異があり、その差異が特定の生息環境において個体の生存能力や繁殖能力に何らかの影響を及ぼしていれば、より高い生存率と繁殖率をもたらす「良い遺伝子」は、「あまり良くない遺伝子」よりも比較的多くのコピーを次世代に残す。そして時が経つうちに、その個体群は少しずつ、しかし着実に、生息環境に適合していく。なぜなら、その環境において有益な突然変異がたまたま生じれば、それは個体群のなかに広まっていくが、逆に有害な突然変異はおのずと摘み取られていくからだ。このプロセスを経て、最終的には住環境と生活様式によく適応した生物だけが残ることになる。

わかりやすい例を挙げよう。かつてユーラシア大陸と北米大陸の北のほうには、長い毛に覆われたマンモスが生息していた。その分厚い毛のコートによって、マンモスは寒さによく適応していた[3]（完全凍結体がツンドラのなかから発見されたこともある）。これらの祖先は、おそらくあまり毛の生えていない、ちょうど現生種のゾウのような動物だったのだろう。そうした祖先の種にたまたま突然変異が生じて、子孫の一部の個体が――一部の現生人類と同じように――ほかの個体より毛むくじゃらになった。その後、気候が寒冷になったとき、あるいは種がもっと北方の地域に広がっていったとき、毛の多い個体ほど寒さの厳しい環境に耐えられたため、毛の少ない仲間よりも多くの子孫を残せた。結果、その個体群では毛を生やさせる遺伝子が濃くなる。そして次世代になると、マンモスは平均的に前よりも少しばかり毛が厚くなっている。このプロセスが何千世代と続いていけば、やがて毛のないマンモスは毛深いマンモスに取って代わられるだろう。そして毛のほかにも、寒さへの耐性に関わる多くの特徴（たとえば体の大きさや脂肪の量など）が同じように変化していくだろう。

このプロセスは驚くほど単純だ。これが実現するには、ある種の個体のあいだに、その環境での生存能力や繁殖能力に関わる遺伝的な差異があるだけでいい。それさえあれば、自然淘汰――および進化――は必然の道となる。あとで詳しく見ていくように、この必要条件は、これまでに検証されたすべての種が満たしている。加えて、個体の環境への適応力（専門的に言えば「適応度」）には多くの特徴が影響を及ぼすため、自然淘汰は長い年月のあいだに動植物の形態を、あたかもデザ

インされたものであるかのようにつくりあげていくのである。

しかし、勘違いしてはならない。生物が意識的にデザインされた場合にできあがる姿と、自然淘汰による進化を通じてできあがる姿とのあいだには、まぎれもない違いがある。自然淘汰は名工ではない。むしろ下手な修繕屋だ。デザイナーが最初から想定してつくったのでなければできあがらないような、本当に完璧なものを自然淘汰が生むことはない。自然淘汰は手持ちの駒でできるかぎりよいものをつくるだけだ。完璧なデザインを生むような突然変異は、そもそも起こる確率が低すぎるのだから、起こらなくても当然なのである。たとえば、アフリカ産のサイは縦に並んだ二本の角をもっており、角が一本しかないインド産のサイよりも、身を守ったり、仲間どうしで角を突き合わせたりするうえで、より適応していると考えられる（これらの角は厳密には「角」ではなく、密集した毛の束だが）。この二本の角を生む突然変異が、インドのサイのあいだでは生じなかったのかもしれない。しかし一本でも、ないよりはあったほうがよい。インドのサイも、角がなかった祖先よりはよくなっているのだが、遺伝子の歴史上の偶然が残念ながら完璧な「デザイン」とは言えないものに行き着いてしまったのかもしれない。さらに言えば、寄生されたり病気にかかったりする動植物は、すべて適応の失敗を表した例である。絶滅したすべての種もやはり適応の失敗と言えようが、なんとその割合は歴史上存在した種の九九パーセント以上に及ぶのである（余談だが、これがインテリジェント・デザイン論のとてつもなく大きな問題点である。最終的に絶滅する種を何百万とデザインしておいて、それに代わる似たような種をまた別に用意し、それもまた大部分を

消滅させるのでは、とてもインテリジェントとは思えないのだが)。

しかも自然淘汰が扱うのは生物の全体としてのデザインであり、それはさまざまな適応構造のあいだで妥協を図ることを意味する。たとえばウミガメのメスは産卵のために砂浜に上がって自分のひれ足で穴を掘るが、その作業はたいへんで、時間もかかるうえに、せっかくの卵が捕食者に見つかりやすい不器用なやり方でもある。もっとシャベルのような足を持っていたなら、上手にすばやく作業ができただろうが、それだと今度は泳げなくなる。細心なデザイナーであればウミガメにもう二本の足を用意してやって、使わないときは引っ込められるシャベルに似た付属肢を持たせたかもしれないが、ウミガメはほかのあらゆる爬虫類と同様に、足が四本しか生じない発達プランを押しつけられている。

生物は突然変異のくじ運にただ翻弄されているだけではないが、それぞれの発達と進化の歴史に拘束されているのも事実だ。突然変異は、すでに存在している特徴に生じる変化である。これがまったく新しい特徴を生み出すことはまずありえない。つまり、進化は祖先のデザインをもとにして新しい種をつくりあげるしかない。建築家にたとえるなら、建物をゼロからは設計できず、前から存在する建物を改造することによって新しい構造を組み立てなければならず、しかもそのあいだ、もとの建物にずっと人が住めるようにしておかなくてはならないということだ。これには当然、多少の妥協が入る。たとえば、われわれ人間の男性は、精巣が最初から身体の外にできていればもっとよかっただろう。体外は体内より温度が低く、温度が低いほうが精子にとってはよいからである。(4)

しかし実際、精巣は腹部で発達を始める。胎児が六カ月か七カ月になると、精巣は鼠径管という二本の経路を下って陰嚢に移動し、この時点で体内のほかの部分の危険な熱から引き離される。この鼠径管によって体壁に弱いところができるため、男性は鼠径ヘルニアにかかりやすい。しかも、このヘルニアはたちが悪い。腸をふさいでしまうので、手術をせずに何年も放置しておくと死にいたることさえある。インテリジェントなデザイナーなら、こんな曲がりくねった精巣の旅をわれわれに与えることはあるまい。われわれがこれを押しつけられているのは、精巣を作る発達プログラムを、魚に近かった祖先から受け継いでいるからだ。その祖先の性腺は、完全に腹のなかで発達し、そのままそこに残っていたのである。われわれは魚のように体内に精巣を持ったまま発達を始める。のちに精巣の下降が進化したとはいえ、それは不細工な追加設備にすぎないのだ。

このように、自然淘汰は完璧なものを生じさせない。ただ前にあったものを改良するだけだ。自然淘汰が生むのは「より適応したもの」であって、「最も適応したもの」ではない。たしかに淘汰によってデザインらしきものは生まれるが、そのデザインは往々にして不完全である。皮肉なことに、この不完全さにこそ進化の重要な証拠が見てとれるのだが、それについては第3章で述べることにしよう。

さて、ここから進化論の六つめにして最後のポイントに話がつながる。自然淘汰以外のプロセスも進化的変化を生じさせることがある、という点だ。ここで最も重要なのは、子の数は家族ごとに違うという当たり前の事実から生じる、単純で無作為な遺伝子の割合の変化である。これによって

適応とはまるで関係のない、あくまでも無作為な進化的変化が生じる。ただし、重要な進化的変化にこのプロセスが及ぼす影響はおそらく小さい。このプロセスには、自然淘汰のように何かを形成できるほどの力はないからである。適応構造を生むことのできるプロセスは、やはり自然淘汰ただ一つだ。とはいえ、詳しくは第5章で見るように、この遺伝子の割合の変化（「遺伝的浮動」）は小規模な個体群にある程度の進化的役割を果たす可能性があり、ＤＮＡの非適応的な特徴についても、これである程度の説明がつけられるかもしれない。

以上が、進化論を成り立たせている六つの要素である。[5] その一部は密接に結びついており、たとえば種分化が事実なら、共通祖先もまた事実でなくてはならない。だが、ほかとは無関係に独立している要素もある。たとえば進化が起こったとしても、その進化は必ずしも漸進的とは限らない。二〇世紀初めの「突然変異論者」の何人かは、ただ一回の強烈な突然変異によって根本的に異なる別の種が瞬時に生じることもありえなくはないと考えていた。有名な動物学者のリチャード・ゴールドシュミットも、最初に鳥として認識された生き物は、まぎれもない爬虫類が産んだ卵からかえったのではないかと主張したことがある。このような主張は検証が可能だ。突然変異説に従えば、新しいグループは古いグループから、化石記録に残る移行期間を経ずして瞬時に生じることになっている。だが化石を調べてみるかぎり、進化はそのようにして進むものではない。しかしとりあえず、そうした検証はダーウィニズムの各要素がそれぞれ独立して検証されうることを示している。

また、たとえ進化が事実だとしても、自然淘汰がその原因ではない可能性もある。かつて多くの

生物学者は、人智を超えた目的論的な力によって進化が起こると考えていたものだ。つまり、生物には「内なる推進力」が備わっていて、それが種をあらかじめ定められた方向に変化させるのだという考えである。たとえば漸新世から更新世にかけて生息した剣歯虎の巨大な犬歯も、そうした推進力によって進化させられたものであり、役に立つかどうかとは無関係にひたすら犬歯が長大になりつづけた結果、剣歯虎は口が閉じられなくなり、餓死による種の絶滅に到ったと言われていた。現在では、そのような目的論的な力には何の証拠もないことがわかっている。剣歯虎は餓死したわけではなく、その大きすぎる犬歯を持ったまま何百万年と無事に過ごしたのちに、別の理由によって絶滅したのである。とはいえ、進化に別の原因がある可能性はやはり存在するため、生物学者は進化の考えを受け入れたのちもなお、何十年と自然淘汰の考えを受け入れられなかった。

さて、進化論の主張についてはこのぐらいにしておくとして、進化論には別の重要な根深い疑問がつきまとっている。結局、進化論はただの仮説だろう?——というものである。一九八〇年、当時大統領候補だったロナルド・レーガンは、テキサス州のキリスト教福音派の人々に対して進化をこのように説明した。「もちろん、あれは仮説です。ただの科学の一理論で、近年では科学界においても異論が出されていますし、かつてのように絶対に正しいとまでは科学の識者のあいだでも信じられていません」。

この引用のポイントは「ただの」というところだ。ただの一理論。この一語には、理論にはどこかおかしい部分があるという見方が込められている。それは単なる推論であり、誤っている可能性

がとても高い、というわけだ。たしかに「セオリー（理論・学説）」という言葉を日常的に使う場合、それはたいてい「推測」を意味する。「私の見るところ（マイ・セオリー・イズ……）フレッドはスーに夢中ね」といった具合だ。しかし科学における「セオリー」は、それとはまったく違うものであり、単純な推測よりもはるかに確実で厳密なものを表している。

オックスフォード英語辞典によれば、科学理論とは「知られている事象や観察されている事象の一般法則、原理、原因と見なされるものを説明した論述」である。したがって「重力理論」は、質量のある物体どうしが両者間の距離を含めた厳密な関係にもとづいて互いに引き合うことを示した説、と言える。あるいは「相対性理論」なら、光速と時空の歪みについての科学的主張をなすもの、ということになる。

ここで強調したい点が二つある。第一に、科学における理論は、事象についての単なる推論をはるかに超えたものである。それは現実世界についての事実を説明するべく綿密に考え抜かれた一群の叙述なのだ。「原子論」はただ「原子が存在する」とだけ言っているのではない。これが述べているのは、原子がどのように相互作用し、合成物をつくり、化学的にふるまうかである。同じように、進化論もただ「進化が起こった」と言っているだけではない。これは充分に裏づけのとられた一連の原則から――その主要な六点はすでに述べたとおりだが――進化がなにゆえに、どのようにして起こったかを説明したものなのである。

そこからつながる第二の点は、理論が科学的と見なされるためには、その理論が検証可能でなけ

ればならない、そして立証可能な予言をしていなければならないということだ。つまり、その理論を裏づけるなり無効にするなりの観察が、現実世界においてなされなければならない。原子論も初めは推論だったが、原子の存在を裏づける科学データが蓄積されるにつれ、着実に信憑性を高めていった。一九八一年に走査型プローブ顕微鏡法が開発されるまで、原子を実際に「見る」ことはできなかったが、原子が現実のものとなるずっと前から、科学者はすでにその実在を確信していた(ちなみに顕微鏡を通して見ると、原子は想像されていたとおりの小さな球のような形状をしていた)。優れた理論はこのように、自然をもっと詳細に検分すれば見つかるはずのものを予言する。そして、もしその予言が当たっていれば、その理論が真実であるという信頼性がますます高まる。一九一六年に提出されたアインシュタインの一般相対性理論は、光が大きな天体の横を通過するときに曲げられることを予測していた(専門的に言えば、そうした天体の重力によって歪められた時空が、近傍の光子の軌道を歪めるのである)。そして実際、この予言は正しかったことが一九一九年に証明された。天文学者のアーサー・エディントンが皆既日食のあいだに観測を行なった結果、遠い恒星から発せられている光線が太陽の横を通過するときに曲げられて、そのために恒星が本来の位置からずれて見えることを確認したのである。この予言が正しかったことが証明されて、初めてアインシュタインの理論は広く受け入れられるようになった。

理論が「真実」として受け入れられるには、その主張と予言が何度も繰り返し検証され、そのたびに正しいと認められなければならないため、科学理論がいきなり科学的事実となるようなことは

決してない。理論が事実（あるいは「真実」）となるのは、それを正しいと見なす証拠が充分に蓄積されて――および、それを覆す決定的な証拠が一つもなくて――もはや常識的な人間であれば誰でもそれを受け入れざるをえなくなったときである。とはいえ、「真実」とされた理論が永久に誤りを証明されないとは限らない。科学的真実はすべて暫定的なものであり、新しい証拠が出てくればつねに修正を受ける。いきなりベルが鳴り響いて、自然に関する究極不変の真実にようやく突き当たったのだと科学者に教えてくれるなんてことはありえない。このあと見るように、ダーウィニズムを裏づける観察がどれほどたくさん出ていようと、新しいデータによって誤りを証明される可能性はつねにある。実際にそうなる可能性はかなり低いと私は見ているが、それでも科学者は狂信者とは違って、自分が真実として受け入れているものに傲慢になれる余裕はないのである。

真実、あるいは事実となる過程において、科学理論はたいてい別の理論との比較によって検証される。どんな種類のものであれ、一つの現象にはいくつかの説明がつけられるのが普通だからだ。そこで科学者は、ある説を競合説と比較して検証するための決め手となる明確な観察や実験を行なうことをめざす。たとえば地球上の陸塊の位置は、生命の歴史が始まって以来ずっと同じであると長いあいだ信じられてきた。しかし一九一二年に、ドイツの地球物理学者アルフレート・ウェーゲナーが「大陸移動説」という新たな競合説を思いつき、大陸は昔からずっと動きまわっているのだと提唱した。ウェーゲナーの理論の発端は、南米とアフリカなど、離れた大陸の形状がジグソーパズルのピースのようにぴたりと合うのに気づいたことだった。以後、化石証拠が蓄積され、古生物

学者による古代種の分布研究において大陸が以前つながっていたことが示唆されるにつれ、大陸移動説はますますその確実性を高めていった。そして後年、ちょうど進化のメカニズムとして自然淘汰の考えが出されたように、大陸移動のメカニズムとして「プレート・テクトニクス」という理論が提出される。地球表面下の地殻とマントルからなる岩板（プレート）が、地球深層部の流動性の高い物質に乗って浮動していたという説である。プレート・テクトニクスも最初は地質学者から懐疑の目で迎えられたが、多方面で厳密な検証を受けた結果、これが真実であることを納得させる確かな証拠がもたらされた。いまでは全地球測位システム（ＧＰＳ）衛星のおかげで、大陸が離れていくのを実際に目で確認することさえできる。その移動速度は一年間に五～一〇センチメートル、指の爪が伸びる速度とほぼ同じだ（ちなみにこの速度は、別々の大陸が昔はつながっていたことを示す確固たる証拠とあわせて、地球が誕生してから六〇〇〇～一万年しか経っていないと主張する「若い地球」創造論者への反証となっている。もし地球がその年齢なら、現在スペインの西海岸に立ったとき、そこからニューヨークの摩天楼が見えることだろう。なぜならヨーロッパとアメリカは二キロと離れていない計算になるからだ）。

ダーウィンが『種の起源』を書いた当時、西洋の科学者のほとんどは――というより、ほぼすべての西洋人は――創造論を信じていた。創世記に書かれている話をすべて鵜呑みにしていたわけではなかったかもしれないが、生物が現在の姿とまったく変わらないかたちで創造され、全能の創造主によってデザインされたままに今日まで続いてきたものと思っていた。ところが『種の起源』で、

ダーウィンが発達や多様化や生命のデザインに関する別の仮説を出してきた。この本には、進化を肯定すると同時に創造論を論駁するだけの証拠がぎっしりと詰まっていた。しかしダーウィンの時代、その理論を支える証拠はそれなりの説得力を持っていたものの、完全に決定的とは言えなかった。つまりダーウィンが初めて提唱したとき、進化は一つの理論にすぎなかったが（綿密な裏づけがなされていたにせよ）、その一八五九年以降、理論を裏づける証拠が次々と蓄積されるにつれ、進化は「事実」としての性格をしだいに確固たるものにしていった。今でも進化は「理論」と称されるが、重力理論と同じように、これは事実と認められてもいる理論なのである。

では、いまだ権勢を誇る別の説、すなわち生命は創造主によって創造され、そのときのままの姿で現在につながっているという見方に対し、進化論はどのようにして検証されるのだろうか。これについては二種類の証拠がある。第一は、ダーウィニズムの六つの要素を用いて検証可能な予言をすることから得られるものだ。予言といっても、生物が将来的にどう進化するかをダーウィニズムが予言できると言いたいのではない。そうではなく、現存する種やかつて生存していた種を詳しく調べたときに、何が見つかるはずであるかを予言するということだ。進化論が予言するところは、次のようなものである。

●古代生物の化石が残っているので、進化的変化のなんらかの証拠が化石記録に見つかるはずである。最も深い（すなわち最も古い）岩石層には最も原初的な種の化石が含まれているわけだから、

岩層が新しくなるとともに化石はより複雑になり、最も新しい層に現生種に似た形態の生物が見つかるはずだ。また、種が時間の経過とともに変化して、「修正を加えながらの世代の移り変わり」（適応）を示した系統を形成しているところも見られるはずである。

●化石記録には、一つの系統が二つ以上に分かれていく種分化のなんらかの事例が見つかるはずである。また、新しい種が野生において現在進行形で形成されているところも見つかるはずだ。

●鳥類と爬虫類、魚類と両生類など、共通の祖先を持つと思われる主要なグループをつなぎあわせる種の実例が見つかるはずである。そして、そのような「ミッシング・リンク」（より適切に言えば「移行型」）は、それらのグループが分岐したと思われる時代の岩石層に現れるはずである。

●種は多くの特徴に関して遺伝的差異を示しているはずである（そうでなければ進化は起こりえない）。

●不完全さは進化のしるしであり、意識的なデザインを示唆するものではない。創造主ならば実現できるような最適性に進化のプロセスではたどりつかないはずなので、それを示すような不完全な適応の事例が見つかるはずだ。

●自然淘汰が野生において現在進行形で働いているところが見られるはずである。

これらの予言に加え、ダーウィニズムは別のものによっても裏づけがとれる。それは私が「遡及語法（レトロディクション）」と称するもので、進化論が必ずしも予言してはいないが、進化論に照らして考えたときに初めて納得がいく事実やデータのことである。「遡及語法」は科学にとって有効な方法だ。たとえばプレート・テクトニクスを裏づけている証拠のいくつかは、科学者が大昔の地球磁場の方向変化を海底の岩の形態から読み取れるようになったときに初めて得られた。進化の場合、これを（特殊創造説に対抗して）裏づけている「遡及語法」は、たとえば地球上の種の分布パターンであり、生物が胚から発達するときの特徴であり、いまでは何の役にも立っていないさそうな痕跡構造（退化器官）の存在などである。これらについては第3章と第4章で詳しく見ることにしよう。

ともあれ、進化論から導かれる予言は大胆にして明確なものである。ダーウィンは、約二〇年をかけて自分の理論を支える証拠を集めた末に『種の起源』を出版した。それは一五〇年以上も前のことだった。以来、どれだけ多くの知識が蓄積されてきたことだろう。そのあとたくさんの化石が発見された。たくさんの種が採集されて、その世界中での分布が確認された。異なる種のあいだの進化的関係を解明しようとするさまざまな研究が重ねられた。そしてダーウィンには想像もつかなかったようなまったく新しい科学の分野ができて、その分子生物学や系統分類学などから、生物同士の関連性が研究されるようになった。

そしてこれから見るように、古い証拠も新しい証拠も、すべての証拠がつねに行き着く先は、進化論が正しいという避けられない結論なのである。

第2章

岩に書かれた証拠

地球の外殻は巨大な博物館である。ただし、自然界のコレクションは、果てしなく長い時間をかけなければできあがらない。

——チャールズ・ダーウィン（『種の起源』）

地球の生命の歴史は岩に書かれている。もちろん、その歴史書は引き裂かれ、ねじまげられ、ページの切れはしが散乱しているが、それでもそれはそこにあり、かなりの部分がいまでもきちんと判読できる。古生物学者は不屈の努力によって、進化を裏づける明確な歴史的物証をつなぎあわせようとしてきた。すなわち化石記録である。

自然史博物館を飾る巨大な恐竜の骨格のような、思わず息をのむほどの化石には誰もが感嘆するが、その一方で、それらを発見して地中から引き出し、下準備をして展示するまでに、どれほどの労力がかかっているかは忘れられやすい。荒れ果てた遠い世界の片隅への、時間も費用もかかる危険な遠征もしなければならない。たとえば私の同僚のポール・セレノは、シカゴ大学でアフリカの

恐竜を研究しているが、最も興味深い化石の多くはサハラ砂漠のど真ん中に埋まっている。セレノたち一行は、政治的困難をはじめ、山賊やら病気やら、そしてもちろん砂漠そのものの過酷さにも果敢に耐えて、アフロベナトールやジョバリア・ティギデンシスなどの驚くべき新種を発見した。それらの標本は、恐竜の進化の歴史を書き換える一助となった。

こうした発見をなしえるには、科学への心底からの献身と、何年ものたいへんな研究と、粘り強さ、勇気、そして多少の幸運が必要だ。それでもそうした発見をしようと、多くの古生物学者は命懸けで挑戦する。生物学者にとっての化石は、砂金に劣らぬ価値がある。化石が掘り起こされなかったら、進化については概略しかわからなかっただろう。現生種だけを研究して、形態や発達過程やＤＮＡ配列の類似性から、進化的関係を推論するしかなかっただろう。たとえば哺乳類が両生類よりも爬虫類に近いことはわかっても、その共通祖先がどのようなものであったかは知りようもない。トラックほどもある巨大な恐竜が存在したことにも気づかなかっただろうし、脳は小さいけれども直立歩行をしていた大昔のわれわれの祖先、アウストラロピテクス属のことも知らなかっただろう。そして進化について知りたいことの大部分は、いまもって謎のままだっただろう。幸い、物理学や地質学や生化学の発展のおかげで、そして世界中の科学者の勇気と粘り強さのおかげで、いま挙げたような貴重な過去の知識がわれわれのものとなっている。

記録をつくる

化石の存在は古代から知られていた。アリストテレスも化石について論じているし、ひょっとするとギリシャ神話の怪獣グリフォンも、くちばしを持った恐竜プロトケラトプスの化石から生まれたものかもしれない。しかし、化石の本当の意味が認められるようになったのはずっと後のことだった。一九世紀になってもなお、化石は超自然的な力の産物だとか、ノアの洪水で地中に埋まった生物だとか、遠い未開の地に生息する現生種の遺骸だとか、そうしたいいかげんな説明で流されていた。

だが、このような化石化した遺骸のなかにこそ生命の歴史は潜んでいる。その歴史をどうしたら判読できるのか？　まずはもちろん、化石が、それも大量の化石が必要である。化石が集まったら、今度はそれを古いものから新しいものへと順々に並べていく。そして、それらの化石が形成された時期を正確に割り出す。これらの要件にはどれもそれなりの苦労がともなう。

化石の形成過程はごく単純だが、実際に化石ができるにはいくつかのきわめて限定的な環境が必要になる。第一に、動物や植物の死骸がどうにかして水中に入り、水底に沈んだのち、ただちに堆積物に覆われなければならない。さもないと、すぐに腐敗したり、死骸や腐敗物を餌にする清掃動物に食い散らかされてしまうからだ。死んだ植物や陸上生物が湖や海の底に沈むことになるケースはきわめて稀なので、われわれの手に入る化石の大部分はおのずと海洋生物のそれになる。それら

はもともと海底に生息していた生物であり、そうでなくとも、死んだら自然と水底に沈む生物だ。

いったん無事に堆積物に埋まってしまうと、化石の硬い部分は溶解した鉱物の浸透を受け、これに置き換えられる。こうして残った生存時の生物の型が、その上に積み重なった堆積物に圧縮されて石化する。ただし動植物の柔らかい部分は化石化しにくいため、結果として、古代の種についてわかることには深刻な偏りが生じる。骨や歯なら豊富に事例があり、昆虫や甲殻類の硬質な外殻（がいかく）や外骨格についても同様だが、蠕虫（ぜんちゅう）やクラゲやバクテリア、および鳥などの繊細な生物ははるかに事例が少ない。同じように、陸生の種は水生の種に比べてはるかに希少である。生命の歴史が始まってからの八割以上にわたって生物の種はすべて軟体であったから、進化における最も古い、最も興味深い部分の進展について、化石からは曖昧なことしかわからないし、生命の起源については何もわからないに等しい。

ひとたび化石が形成されても、その化石は果てしない地殻の変動、褶曲、過熱、破砕といった、大半の化石を跡形もなく消し去ってしまう過程を耐え抜いて生き残らなければならない。そしてそのうえで、発見されることが必要になる。地表面の奥深くに埋まっている化石は、よほどのことがないかぎり人目にはつかない。堆積物が隆起して風雨の侵食にさらされたとき、初めて化石は古生物学者のハンマーに突き当てられる。しかもその機会は非常に短く、一瞬だけ姿を現しかけた化石もすぐに風や水や天候によって消し去られてしまう。

これらすべての要件を考慮に入れれば、化石記録が不完全にならざるをえないのもまったくの道

理だ。どう不完全かと言えば、まず、これまで地球上に存在した種の総数は一七〇〇万（目下の現生種が一〇〇〇万以上あることからすれば、きわめて低めに見た数字だろうが）～四〇億と見積もられる。このうち実際に発見されている化石が二五万種前後だから、種全体の〇・一～一パーセント程度しか化石証拠を得られていない計算になる。これではとうてい生命の歴史の有効なサンプルとは言いがたい！　過去には驚嘆するような生物がたくさん存在していたに違いないが、それらは永遠にわれわれの知るところとはならないだろう。しかしそれでも現在得られているだけの化石から、進化がどのように進行したかを推測し、生物の主要グループがどのように分岐していったかを識別するのは不可能ではない。

皮肉なことに、化石記録を最初に順序立てて整理したのは進化論者ではなく、創造論者でもある地質学者たちだった。創世記に書かれている生命の説明をそのまま受けとっていた人々である。これら初期の地質学者は、発見された多様な岩石層（その多くは英国の工業化にともなう運河の掘削で見つかったもの）を、常識にもとづいた原則に従って単純に配列した。化石が含まれている堆積岩は、もともと海や川や湖のなかのシルト（沈泥）からできたものだから（まれに砂丘や氷積土からできることもあるが）、下にある地層は上にある地層よりも前にできたものに違いない。古い岩石の上に新しい岩石が積もっていくという構図だ。しかし、すべての時代の地層がどの場所にも積み重なっているとは限らない。水がないために堆積物が形成されないときもあるだろう。

したがって岩石層の完全な配列を突きとめるには、世界中のさまざまな場所の地層を比較して相

互関連を探らなければならない。同じタイプの化石を含んだ、同じタイプの岩石からなる層が二つの異なる場所にあったとしたら、その層はどちらの場所でも同じ時代にできたものだと考えるのが普通だろう。たとえばある場所で四層になった岩石層を発見し（仮にこれを上から下にＡＢＤＥと称する）、また別の場所で、そのうちの二つの層にもう一つ別の層が挟まっているもの（ＢＣＤ）を発見したなら、これは少なくとも五層の岩石層、つまり新しい順にＡＢＣＤＥの地層が記録されたのだと推論できる。この「地層累重の法則」を初めて考案したのが一七世紀のデンマークの博識家、ニコラウス・ステノだった。彼はのちにカトリックの司教となり、一九八八年にはローマ教皇ヨハネ・パウロ二世により聖人の地位に列せられている。重要な科学的貢献を果たした聖人の唯一の事例だ。このステノの地層累重の法則を用いて、一八～一九世紀のあいだに地質記録が苦労して整理され、カンブリア紀から現世までの途切れない記録が整った。ここまではよい。だが、この手法では岩石の相対的な年齢がわかるだけで、実年齢はわからないのである。

しかし一九四五年からは、岩石の実年齢を測定するのが不可能ではなくなってきた。これは放射能のおかげだ。火成岩が地下の溶岩から結晶化するとき、ある特定の放射性元素（「放射性同位体」）がそこに取り込まれる。放射性同位体は一定の速度で少しずつ崩壊して別の元素に変わる。この所要期間を一般に「半減期」と呼ぶ。同位体の半分が消滅するのにかかる時間、ということだ。この半減期がわかっていて、なおかつ岩石が形成されたときに放射性同位体がどれだけあり（これは地質学で正確に特定できる）、そして現在どれだけ残っているかがわかっていれば、比較的単純にそ

の岩石の年齢を見積もれる。同位体の崩壊速度はそれぞれの同位体によって異なる。古い岩石の年齢を測るのによく使われる同位体は、ジルコンという一般的な鉱物に含まれているウラン238（U－238）だ。U－238の半減期は、およそ七億年前後である。一方、はるかに新しい岩石には、半減期が五七三〇年である炭素14が使われる。ちなみにこれは、死海文書のような人工遺物に用いられることもある。放射性同位体はたいてい何種類かがいっしょに生じるので、測定年齢を照合確認することもできるが、結果的に年齢はつねに一致する。ただし化石を含んでいる岩石は、火成岩ではなく堆積岩であるため、年齢を直接測定することはできない。しかし堆積岩の層と、放射性同位体を含んだ隣接する火成岩の層の年齢とをひとまとめにして考えることにより、化石の年齢を推定できる。

進化論に反対する人々は、こうした測定年齢の信頼性にもけちをつけ、放射能の崩壊速度は長い年月のあいだに、あるいは岩石にかかる物理的圧力の影響により変わってきているかもしれないではないかと攻撃する。この反論をよく持ち出すのは、地球の年齢が六〇〇〇～一万年ぐらいだと主張する「若い地球」説を信奉した創造論者である。だが、その言い分はもっともらしいだけだ。岩石に含まれる放射性同位体はそれぞれ異なる崩壊のしかたをするのだから、もし崩壊速度が変わっていれば、算出された年齢がすべて同じになるはずはない。さらにいえば、科学者が実験室で同位体を極端な温度や圧力にさらしても、同位体の半減期はつねに変わらない。また、炭素14を使った手法のように、放射能から測定された年齢は歴史的記録物から測定した年齢とも比較照合できる

が、その結果はつねに一致する。隕石を放射年代測定法で測定してみれば、地球と太陽系の年齢は四六億年だ（地球の最古の岩石はもう少し若い――カナダ北部で採取されたサンプルでは四三億年になる――が、これは地殻の移動によって、それ以前の岩石が破壊されてしまっているためである）。

放射年代測定の正確さを確認するには、また別の方法もある。その一つは生物学を用いたもので、これにはコーネル大学のジョン・ウェルズによる化石珊瑚の独創的な研究が大きな役割を果たした。放射年代測定によれば、これらの珊瑚はデボン紀のもの、つまり約三億八〇〇〇万年前の生物であると推定された。しかしウェルズは、実物を詳細に調べるという単純な方法によっても珊瑚が生きていた時代を突きとめることができた。ウェルズが利用したのは、潮によって生じる摩擦のせいで長い年月のあいだに地球の自転が少しずつ遅くなっているという事実である。各一日――地球の一回転――は、つねに前の一日よりほんの少しだけ長くなっている。もちろん気づけるような変化ではない。正確に言えば、一日の長さは一〇万年につき約二秒の割合で伸びていっている。一年の期間――地球が太陽の周りを回るのにかかる時間――はどんなに年月が経っても変わらないから、一日の長さが年月とともに増えていくなら、一年ごとの一日の数は年月とともに減っていくことになる。自転の遅れの割合はわかっていたので、ウェルズはそこから計算して、珊瑚が生きていた時代――放射年代測定が正しければ三億八〇〇〇万年前――は一年が三九六日で、一日が二二時間だったと割り出した。もし化石そのものに自分の生きていた時代の一日が何時間だったかを伝えるすべがあったなら、その長さが放射年代測定から予言される二二時間という数字と合致するかどうかを

確認できるのだが。

ところがなんと、珊瑚にはそのすべがある。というのも、珊瑚は成長とともに一年につき何日経験したかを自分の体に記録する。生きている珊瑚は一日ごとと一年ごとの成長輪を作るのである。化石標本を調べてみれば、たしかに一日ごとの成長輪が一年ごとの成長輪のあいだに何本挟まっているかが見てとれる。つまり、珊瑚が生きていた時代の一年のあいだに何日あったかがわかるのだ。潮による遅れの割合はわかっているわけだから、これで「潮」年齢と「放射測定」年齢を照合できる。ウェルズがデボン紀の珊瑚の輪を数えたところ、それらの珊瑚は一年につき約四〇〇日を経験していた。換算すれば、一日は二一・九時間。予言されていた二二時間からほんのわずかな差しかない。この巧みな生物学的照合法により、放射年代測定の正確さに対する信頼はまた一段と高まったと言えよう。

もろもろの事実

進化の証拠が化石記録に示されているとして、その証拠はどういうものなのだろう。これにはいくつかのタイプがある。まずは進化の全体像だ。連続した岩石層の全体を一瞥してみれば、初期の生命がきわめて単純で、複雑な種はしばらく時間が経たないと出てこないとわかるだろう。そして、いまのところ最も新しいと見なされる化石は、現生種に最も似ているはずである。

あるいは生物の系統内に進化的変化の事例を見ることもできる。ある動物や植物の種が長い年月のあいだに別のものに変わっていく様子である。あとに出てきた種は、初期の種の子孫なのだと思わせるような特徴を持っているはずだ。そして生命の歴史には共通祖先からの種の分岐がともなうので、化石記録にもそうした分岐が見られる――および、それらの祖先の証拠も見つかる――に違いない。たとえば一九世紀の解剖学者は、身体構造上の類似点を理由に、哺乳類が大昔の爬虫類から進化したのだろうと予言した。だとすれば、だんだんと哺乳類のようになっていく爬虫類の化石が見つかるはずだ。もちろん化石記録は完全なものではないから、主要生物の移り変わりを漏れなく証拠立てるのは無理だろう。しかし少なくとも、その一部は突きとめられるはずである。

ダーウィンも、化石記録の不完全さを嘆きながら『種の起源』を書いていた。当時は進化的変化を実証できるような一連の化石がなく、主要生物間の「ミッシング・リンク」も欠落していたのだ。たとえばクジラ類などは、いきなり記録に現れて、何が祖先なのかわからないままだった。しかし、それでもダーウィンは進化を裏づける化石証拠をいくつか見つけていた。古い時代の動物や植物が現生種とはまるで違っていて、新しくできた岩から見つかるものほど現生種に似てくるというのがその一つだ。また、隣接した層に見つかる化石は離れた層に見つかる化石よりも互いに似ており、この点も連続した漸進的な分岐の過程をうかがわせた。さらに、最も時代の新しい堆積岩に埋まっている化石は、どこのものであれ、そこは別の場所に生息している現生種よりもその地域に生息している現生種に似ている傾向があった。たとえば有袋類の化石が豊富に見つかっていたのはオー

ストラリアだけであり、そこは現生有袋類の生息地にほかならない。これは現在の種が化石となっている種の子孫であることを示していた（これらの化石有袋類には、これまでに存在した哺乳類のなかでもとりわけ奇妙なものが含まれている。あるカンガルーの種は体長三メートルもある巨大なもので、平坦な顔面と大きな鉤爪をもち、左右の足には一本しか指がなかった）。

ダーウィンには化石が足りなくて、種のなかでの漸進的な変化や共通祖先の明白な証拠を示すことはできなかった。しかしダーウィンの時代以降、古生物学者はたくさんの化石を掘り起こして、前述した予言をことごとく証明した。いまでは動物の系統内における連続的な変化を明確に示すことができる。共通祖先の証拠も、生物の移り変わりの証拠も豊富に得られている（たとえば見つかっていなかったクジラの祖先も判明した）。系統をずっとさかのぼって、複雑な生物のそもそもの始まりまでわかるようになったのである。

大まかなパターン

あらゆる時代の地層を整理して、その年代を推定できた現在では、化石記録を下から上まで読み取ることができる。図3は、最初の生物が現れた三五億年前以降に起こった主要な生物学上のできごとと地質学上のできごとを簡略に年表化したものである。[6] この記録は、単純な形態から始まって順々に複雑になっていった生命の変化の歴史を明確に伝えている。この図には爬虫類や哺乳類といったグループの「最初の登場」が示されているが、もちろん現生の爬虫類や哺乳類がどこからと

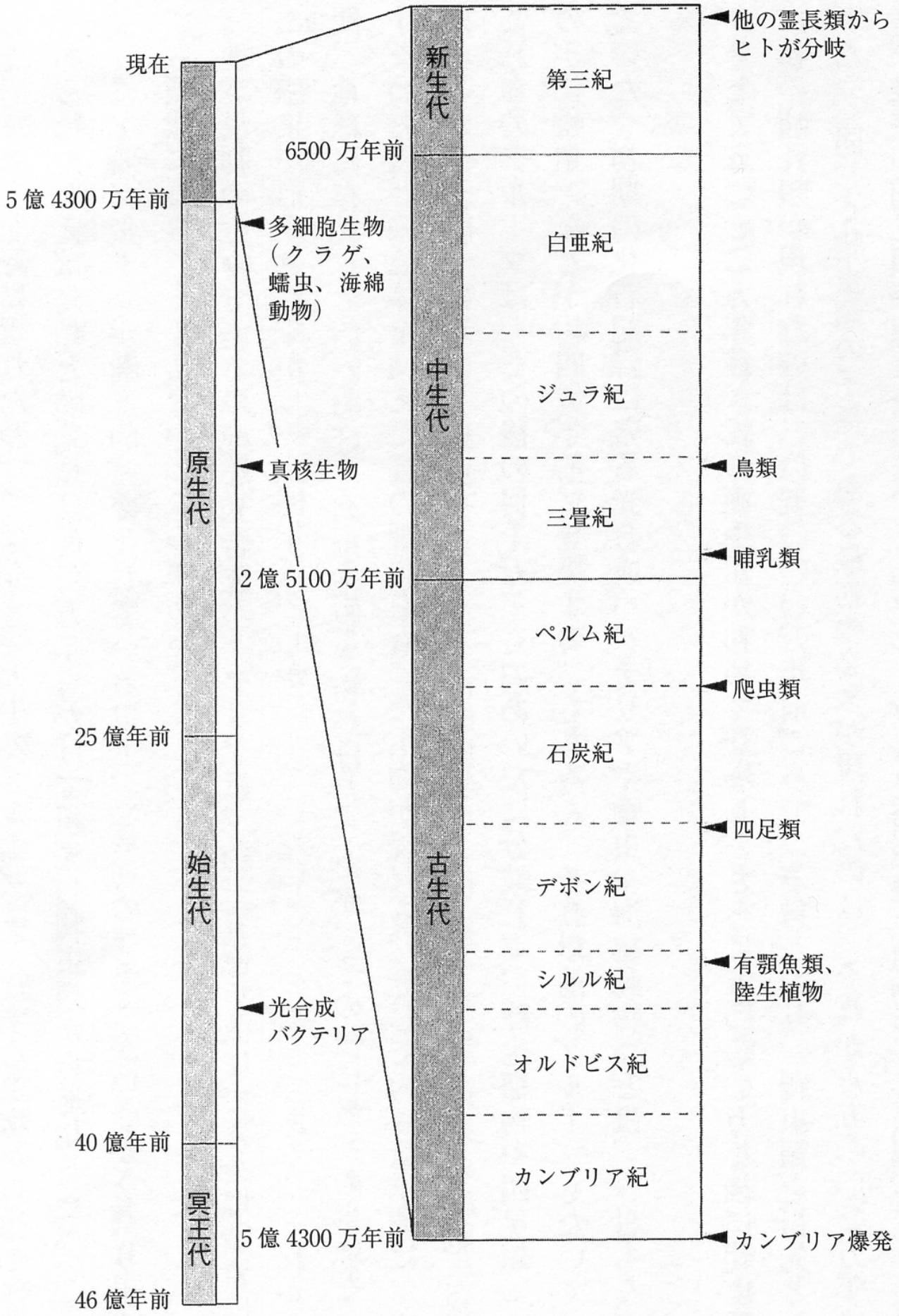


図3　46億年前の地球の形成以降に生じた多様な生物の最初の登場を示した化石記録。多細胞生物が初めて生まれて分岐したのは生命史の末尾15パーセントになってからであることに注目されたい。各グループは通常の進化の過程を経て登場しており、どの化石も祖先から変化して現れたものがほとんどである。

もなく忽然と記録に現れたわけではなく、大半のグループは先行する生物から徐々に進化したものである（たとえば鳥類と哺乳類は何百万年もかけて祖先の爬虫類から進化した）。このあと述べるように主要グループが漸進的に変化している以上、「最初の登場」がいつかを割り出すのはどうしても曖昧にならざるをえないところがある。

地球最初の生物である単純な光合成バクテリアは、約三五億年前にできた堆積岩に現れている。この惑星が形成されてから一〇億年ほどしか経っていないころのことである。それから約二〇億年間、地球に存在していたのはこの単細胞生物だけだったが、その後に最初の単純な「真核生物」、すなわち核と染色体を備えた真の細胞をもった生物が現れる。そして約六億年前に、比較的単純ではあるが単細胞ではない、蠕虫（ぜんちゅう）やクラゲや海綿動物などのありとあらゆる多細胞生物が生まれる。これらのグループは、その後の何千万年ものあいだに分岐して、陸生植物や四足類（その最古のものが総鰭（そうき）類）などが約四億年前に登場する。もちろん、それ以前のグループもたいていはまだ残っていた。初期の化石記録に残る光合成バクテリアや蠕虫や海綿動物などは、今日もなお生息している。

そして五〇〇〇万年後、真の両生類が初めて登場し、さらに五〇〇〇万年後に爬虫類が出現する。最初の哺乳類が現れたのは二億五〇〇〇万年前ごろで（予言どおり、爬虫類を祖先として生まれていた）、同じく爬虫類の子孫である最初の鳥類が現れたのは、それから五〇〇〇万年後のことである。最古の哺乳類が現れたのち、このグループも昆虫や陸生植物などと同様にますます多様化し、

岩石層を下のほうから上のほうへと探ってみれば、出てくる化石はますます現生種に似てくる。この流れのなかで、人間はいちばんの新顔だ。われわれヒトの系統が他の霊長類の系統から枝分かれしたのは、たかだか七〇〇万年前であり、進化の歴史のほんの先っぽの部分でしかない。この点を強調するのに、これまでにもさまざまな想像を凝らしたたとえがなされてきたが、また一つ新しいのを考えてみる。進化の過程全体を一年間に凝縮したとすると、最古のバクテリアが登場するのは三月の終わりだが、最初のヒトの祖先がようやく現れるのは一二月三一日の午前六時になってからである。紀元前五〇〇年ごろにあたるギリシャの黄金期が訪れるのは、午後一二時のたった三〇秒前のことだ。

植物の場合、容易に化石化する硬質部がないために動物よりも化石記録は少ないが、やはりこれも同様の進化パターンを示している。最も古いのは苔や藻で、そのあとにシダが現れ、針葉樹、落葉樹と続き、最後に花木が登場する。

こうした化石記録に見られるとおり、種は長い年月のあいだに決してでたらめに現れてくるわけではない。単純な生物が進化したのちに複雑な生物が生まれ、予言されていた祖先が進化したのちに子孫が生まれている。最も年代の新しい化石は最もよく現生種に似ている。そして現在見つかっている太古からの一連の化石は、多くの主要生物グループをつなぎあわせている。特殊創造論はもちろんのこと、進化論以外のどんな理論でも、このようなパターンは説明できない。

化石に見る進化と種分化

ある一本の系統内での漸進的な進化的変化を示すには、ある程度の連続した堆積層が必要となる。できれば各層は急速に積み重なったものが望ましく（そうすれば各時代が一つの厚い岩石層に表され、変化がわかりやすくなる）、さらに欠落した層もないほうがよい（途中の層が欠けていると、なだらかな進化的変遷がいきなりの「飛躍」のように見えてしまう）。

プランクトン（浮遊生物）などの非常に小さな海洋生物は、この条件に理想的に当てはまる。なにしろ数が膨大で、ほとんどは硬質部を持っており、しかも好都合なことに死んだあとはまっすぐ海底に落ちて、連続した層状に積み重なっていく。これらの層から順番にサンプルをとるのは容易なことだ。海底に長い管を突き刺して、円柱形のコアサンプルを抜き取り、それを下から上まで解析（および年代特定）すればよい。

一つの化石種をコアの下から上まで追いかけていけば、たいていその種の進化が見てとれる。図4は、単細胞の微小な海洋原生生物における進化の一例を示したものだ。この生物はらせん状の殻をつくり、成長するにつれて殻内の部屋（「室」）を増やしていく。図4のサンプルは、ニュージーランド近辺の海底で採取された長さ二〇〇メートルのコアからとられたもので、ある一つの特徴、すなわち殻の最後の渦巻きにある室の数がしだいに変化していく様子が示されている。ここに見られるのは相当になだらかな、漸進的な変化である。最初、個体群は平均して渦巻きに約四・八個の室をもっていたが、最後には三・三個となる。およそ三〇パーセントの減少だ。

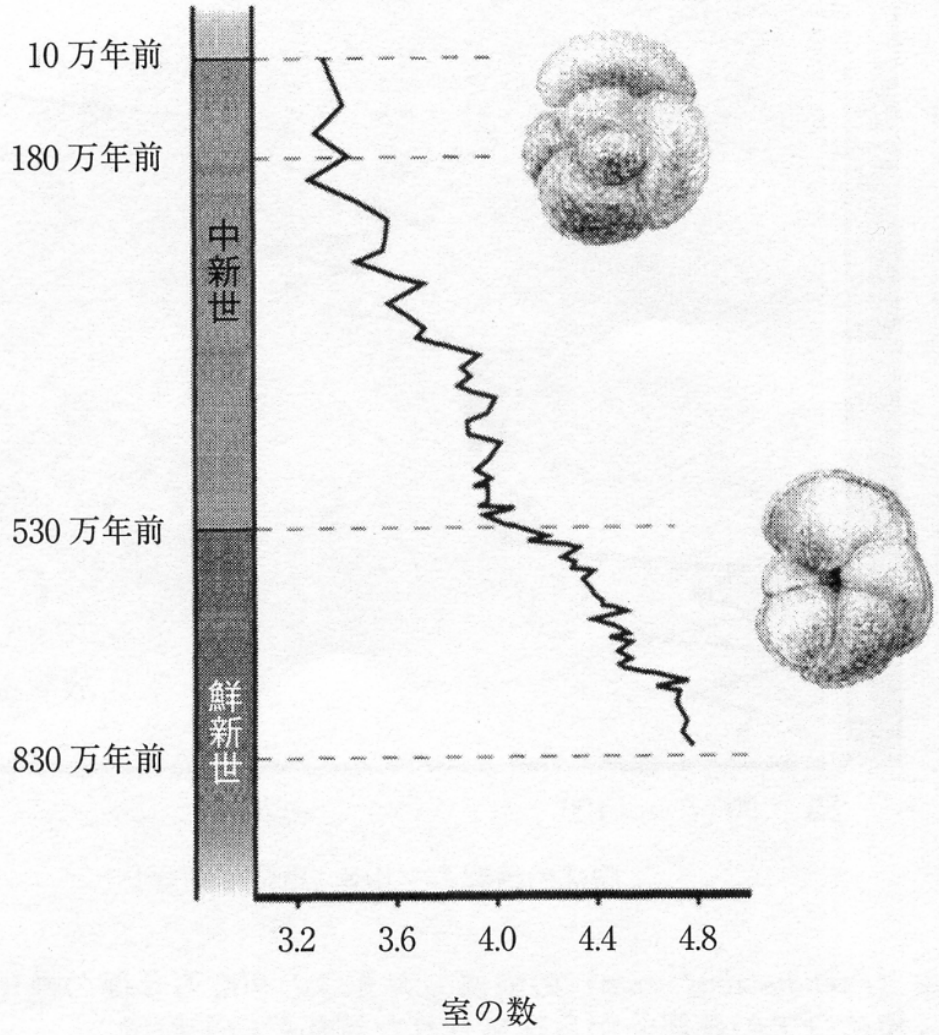


図4　海洋性の有孔虫（*Globorotalia conoidea*）の800万年以上にわたる進化的変化を示した化石記録（海底のコアに保存されていたもの）。横軸の目盛りとなっている殻の最後の渦巻きにある室の数は、コアの各部分で勘定された全個体の平均値。

しかし、進化はつねになだらかに進むとは限らない。漸進的ではあっても、そのペースは必ずしも一定ではない。図5は、また別の海洋微生物である放散虫（*Pseudocubus vema*）を例に、もっと不規則なパターンを示したものだ。このケースでは、南極大陸の付近で採取された長さ一八メートルのコア――約二〇〇万年にわたる堆積層――から一定の間隔でサンプルがとられた。ここで測定された特徴は、放散虫の円柱形の基部（いうなれば「胸部」）の横幅である。その値は長い年月のあいだに五〇パーセント近く大きくなっているが、一貫してその傾向が続いたわけではない。大きさがほと

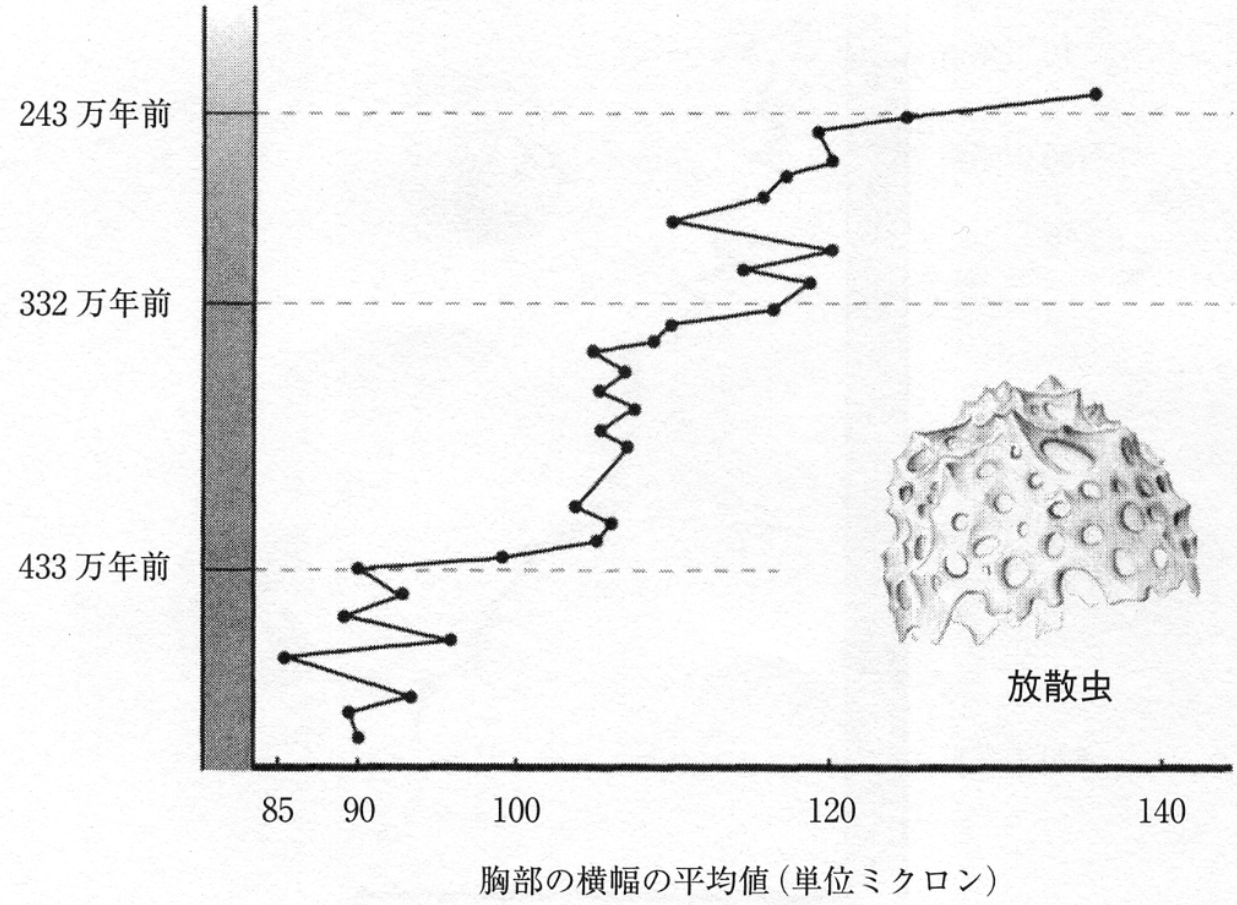


図５　放散虫（*Pseudocubus vema*）の胸部の大きさの 200 万年間の進化的変化。横軸の数値はコアの各部分から採集された個体群の平均値。

んど変化しない時期もあれば、急激に変化している時期もある。これは化石によく見られるパターンであり、こうした変化が気候や塩分の変動のような環境要因によって促されていると考えれば、まったくもって納得がいく。環境自体が突発的に、不規則に変わるものなのだから、自然淘汰の強弱もそれにともなって変わるのである。

次に、もう少し複雑な種における進化の事例も見てみよう。今度は三葉虫だ。三葉虫は節足動物で、昆虫やクモと同じグループに属する。硬い殻に守られているため、古い岩石に非常によく見られる生物である（お近くの博物館の売店でも普通に買えるのではなかろうか）。古生物学者のピーター・シェルドンはダブリン大学のトリニティ・カレッジにいたころに、ウェールズの頁岩（けつがん）層から三葉虫の

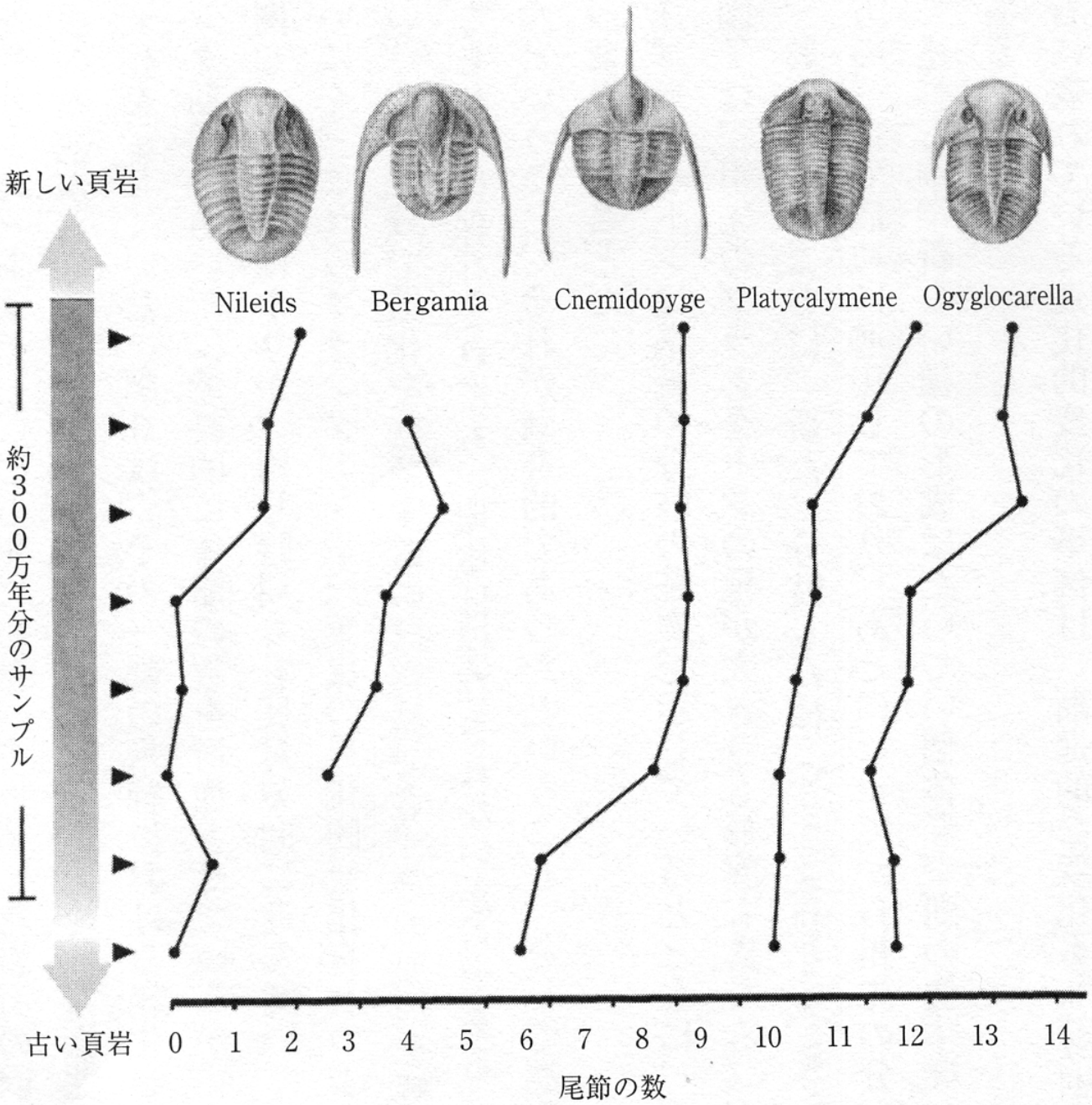


図6　オルドビス紀の5種類の三葉虫における「尾節」(体の末尾部分の体節) の数の進化的変化。数値は300万年の頁岩サンプルの各部分から採取された個体群の平均値。五つの種はすべて——および、ここには記されていない別の三種も—— 一定期間のあいだに尾節の数を最終的に増加させており、長期的には自然選択が働いていることを示唆しているが、同時に、これらの種が完全に並行して変化したわけではないことも明らかである。

化石を採集した。およそ三〇〇万年にわたって堆積した岩石の内部には、八種類の明らかに異なる三葉虫の系統があり、それぞれが時間の経過にともなう「尾節」（体の末端部分の体節）の数の進化的変化を示していた。図6は、その一部の系統における変化を示したものだ。すべての種はサンプリング期間のあいだに最終的に体節の数を増加させているが、それぞれの種における変化の推移は相関していないばかりか、同じ時期でも反対方向に進んでいる場合さえある。

あいにく、これらプランクトンや三葉虫の進化的変化をどのような淘汰圧が促したかは知るよしもない。化石記録で進化を立証するのは容易でも、その原因を解明するのは決して容易ではない。なぜなら化石は保存されても、環境は保存されないからである。とりあえず言えるのは、進化があったということ、それが漸進的であったということ、そして進化の経緯はペースも方向もさまざまだったということだ。

海洋プランクトンは系統の分岐の証拠を示しているとともに、系統内での進化の証拠も示している。図7は、祖先のプランクトンの種が大きさも形態も異なる二つの子孫に分かれた様子を示している。おもしろいことに、新たに分岐した種（*Eucyrtidium matuyamai*）は、コアが採取された地帯の北方の一帯で最初に進化しており、あとになってから祖先の分布域に侵入していた。詳しくは第7章で述べるが、新しい種の形成はたいてい個体群が別の個体群と地理的に隔絶したときに始まるのである。

化石に表れている進化的変化の事例は、漸進的な変化も断続的な変化も含めて、このほかにも軟

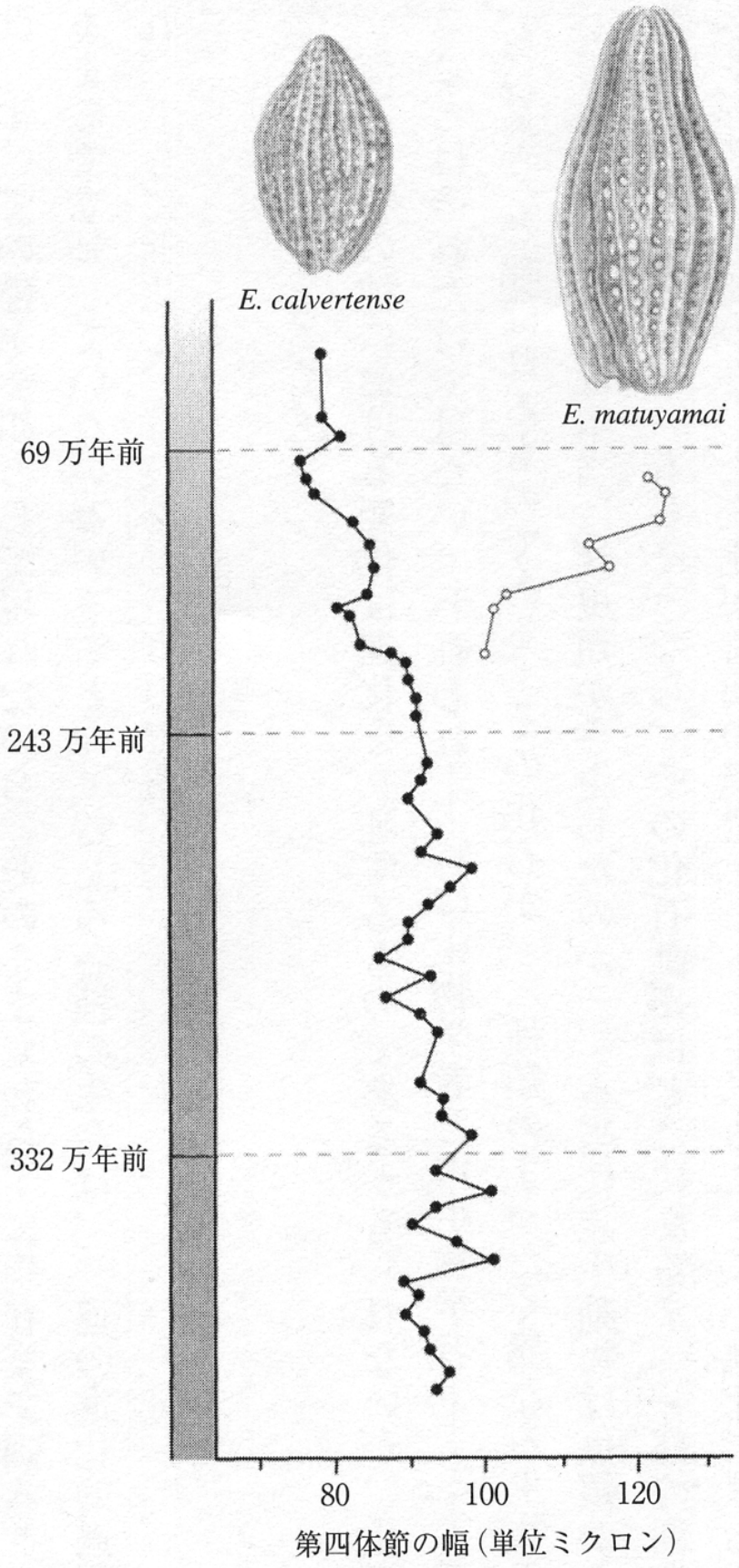


図7　浮遊性放散虫（*Eucyrtidium*）の進化と二つの種への分化。350 万年以上にわたる堆積物のコアから採集されたもの。各点は第四体節の幅の広さで、コアの各部分で採集されたそれぞれの種の平均値で示してある。このコアが採取された地帯の北方の一帯で、*E. calvertense* の個体群が少しずつ大型化し、やがて *E. matuyamai* と称される種になった。その後、*E. matuyamai* は祖先を同じくする近縁種の分布範囲にあらためて侵入し（その時点で図に登場）、同じ一帯に生息するようになった両種は体の大きさの面でますます分岐していった。この分岐は、二つの種のあいだでの食料争奪を緩和するように自然淘汰が働いた結果だったのかもしれない。

体動物、齧歯類、霊長類など、さまざまな種に見られる。また逆に、時間を経てもほとんど変わっていない種の事例もある（前にも述べたように、進化論はすべての種が必ず進化するとは言っていないのだ）。しかしそれらの事例を列挙したところで、私の言いたいことは変わらない。化石記録は、すべての種が突如として現れたのち、そのまま変わらずに現在まで到るという創造論者の予言をまるで立証していないということだ。むしろ各種の生命は、一連の進化的過程のなかで記録に現れ、さらに進化し、分岐しているのである。

「ミッシング・リンク」

海洋生物の種における変化は進化を立証するものであるかもしれないが、化石記録から教えられることはそれだけではない。われわれ――特に生物学者と古生物学者――を本当に興奮させるのは、「移行型」と呼ばれるものである。その化石が、二種類のまったく異なる生物のあいだの橋渡しをしてくれる。鳥類は本当に爬虫類から生じたのか？　本当に陸生動物は魚類から、クジラは陸生動物から生じたのか？　もしそうなら、その化石証拠はどこにある？　一部の創造論者でさえ、大きさや形態のちょっとした変化が時間の経過とともに生じること（小進化）はありうるだろうと認めているが、まったく異なる種類の動物や植物が別の動植物から生じうるという考え（大進化）は彼らもきっぱりと否定する。インテリジェント・デザイン論者に言わせれば、そのような差異を生むには創造主の直接的な介入が必要なのだ。[7] ダーウィンは『種の起源』において移行型を一つも挙げ

られなかったが、現代古生物学の成果によって自分の説が確認されたと知れば大喜びすることだろう。その存在がずっと前から予言されていながら長らく発見されていなかった無数の種が、数十年前からようやく発掘されてきたのである。

だが、大きな進化的移行を裏づける化石証拠であると認められるのはどんなものなのだろう。進化論に従えば、ある二つの種がどれだけ違っていようと、そのどちらにとっても祖先である一つの種がかならず過去に存在している。この単一の種を「ミッシング・リンク」という。前にも述べたように、その単一の祖先の種が化石記録に見つかる確率はほぼゼロに近い。それを期待するには化石記録は散発的すぎるのだ。

とはいえ、あきらめることはない。実際の「ミッシング・リンク」の近縁である別の種なら発見も可能であり、それによっても共通系統を同じぐらい充分に立証できるからだ。一例を挙げよう。ダーウィンの時代の生物学者は、心臓や頭骨の構造が似ているといった解剖学的証拠から、鳥類が爬虫類の近縁であると推測していた。彼らの推論では、もともとは一つの共通祖先がいて、それが種分化を通じて二つの系統を生み出し、その片方が最終的に現生鳥類のすべてを生み、もう片方が現生爬虫類のすべてを生んだに違いなかった。

では、その共通祖先とはどのような姿をしていたのだろう。直感的には、現生爬虫類と現生鳥類の中間のようなもので、その両者の特徴を混ぜあわせていたのではないかと思いがちだ。しかし、それは必ずしも事実ではない。ダーウィンも『種の起源』においてこう明言している。

ある二つの種を見比べてみたとき、両者のちょうど中間のような生物を思い描かないようにするのはたしかに難しかった。しかし、それは完全に誤った見方である。われわれが探すべきは、それぞれの種と未知の共通祖先との中間にある生物なのだ。その祖先はおおむね何らかの点において、姿の変化したどの子孫とも違っていることだろう。

爬虫類は鳥類よりも前に化石記録に現れているから、鳥類と爬虫類の共通祖先は古代爬虫類であり、姿もそのようであったと推測できる。そしていまでは、この共通祖先が恐竜だったとわかっている。恐竜の全体的な外観からは、これが本当に「ミッシング・リンク」だった――すなわち、子孫の一方の系統がのちに現生鳥類のすべてを生み、もう一方の系統がさらなる恐竜を生んだ――と確信できる手がかりはほとんど得られない。たとえば翼や、飛翔筋を支えるための大きな胸骨など、これぞまさしく鳥類のしるしだとされる特徴は、のちに実際の鳥類につながる系統が分岐したときに進化したのだろう。そして、その系統そのものが爬虫類から鳥類へと移行するにつれ、鳥類のような特徴と爬虫類のような特徴をあわせもった多くの種が発生したのだ。それらの種の一部は絶滅し、残ったものが進化を続けて、やがて現生鳥類となった。その古代の種の「グループ」、すなわち分岐点付近にいる近縁の種にこそ、共通系統の証拠を探さなければならないのである。

二つのグループの共通系統を示すのに、両者の厳密な共通祖先であった単一の種の化石を掘り出す必要はないし、祖先から子孫へとまっすぐつながる直系上の種を見つける必要さえない。それよ

りも、二つのグループをつなぎあわせる特徴を持った化石を掘り起こすだけでよい。そして重要なのは、それらの化石が地質記録の適切な時期に現れていることを示す年代上の証拠をつかまなければならないということだ。「移行種」は「祖先種」と同義ではない。それは単に、その前後に生きていた生物の両方の特徴をあわせもった種であるにすぎない。しかし化石記録が不完全であることを考えれば、適切な年代の記録にそうした生物を見つけることこそ妥当にして現実的な目標である。たとえば爬虫類から鳥類への移行の場合、移行型は初期の爬虫類に似ているものの、鳥類のような特徴も何かしら備えているはずだ。そうした移行型の化石が残っているとすれば、爬虫類がすでに進化したあとの時代で、なおかつ現生鳥類が現れる前の時代に見つかるはずである。さらにいえば、移行型は祖先から現生の子孫へと到る直系上にいなくともかまわない。それは絶滅した進化上の近縁であってもよいのである。あとで見るように、のちに鳥類へとつながる恐竜はその特徴として羽毛を生やしていたが、そうした羽毛恐竜の一部は、もっと鳥類に似た生物が進化したあとまでずっと生き残りつづけた。この後代の羽毛恐竜も、鳥類の起源を示唆するという点で、やはり進化の証拠となっている。

このように移行生物の生息年代と、ある程度までの身体的な外観は、進化論から予言できる。もっと最近の劇的な予言で、実際に確認されているもののいくつかは、われわれ自身のグループに関係している。つまり脊椎動物に関するものだ。

陸に上がる——魚類から両生類へ

実際に確認された進化生物学の予言のなかでもとりわけ重要だったのが、魚類と両生類のあいだの移行型の発見である。二〇〇四年に発見されたその化石種は、ティクターリク・ロゼアエといって、脊椎動物がいかにして陸生になったかについて多くのことを教えてくれる。この驚くべき発見はまさしく進化論を立証するものだ。

約三億九〇〇〇万年前まで、この世にいた唯一の脊椎動物は魚類だった。しかし三〇〇〇万年後には、明らかに四足類とわかる生物が存在していた。四本の肢で陸上を歩行する脊椎動物である。これら初期の四足類はいくつかの面で現生両生類に似ていた。頭と体が平坦で、はっきりとした首があり、よく発達した足と肢帯（四肢の基部となる骨格組織）を持つ。それでいながら初期の魚類、特に「総鰭類」と呼ばれるグループとの強いつながりも示している（総鰭類は骨に支えられた大きな「鰭」を持っていたため、それによって浅い湖や小川の底で自分の体を支えられた）。たとえばうろこや肢骨や頭骨など、初期の四足類には魚のような構造が備わっている（図8）。

初期の魚類はどのように進化して陸上で生きられるようになったのだろう。シカゴ大学の私の同僚であるニール・シュービンは、それを知りたいと考えた。ニールは何年もかけて鰭から肢への進化を研究し、その進化の最初の段階を解明しようと必死に取り組んだ。

そこで例の予言の出番だ。三億九〇〇〇万年前には総鰭類がいて、しかし陸生の脊椎動物はいなかった。そして三億六〇〇〇万年前には明らかに陸生の脊椎動物がいた。これが事実なら、その移

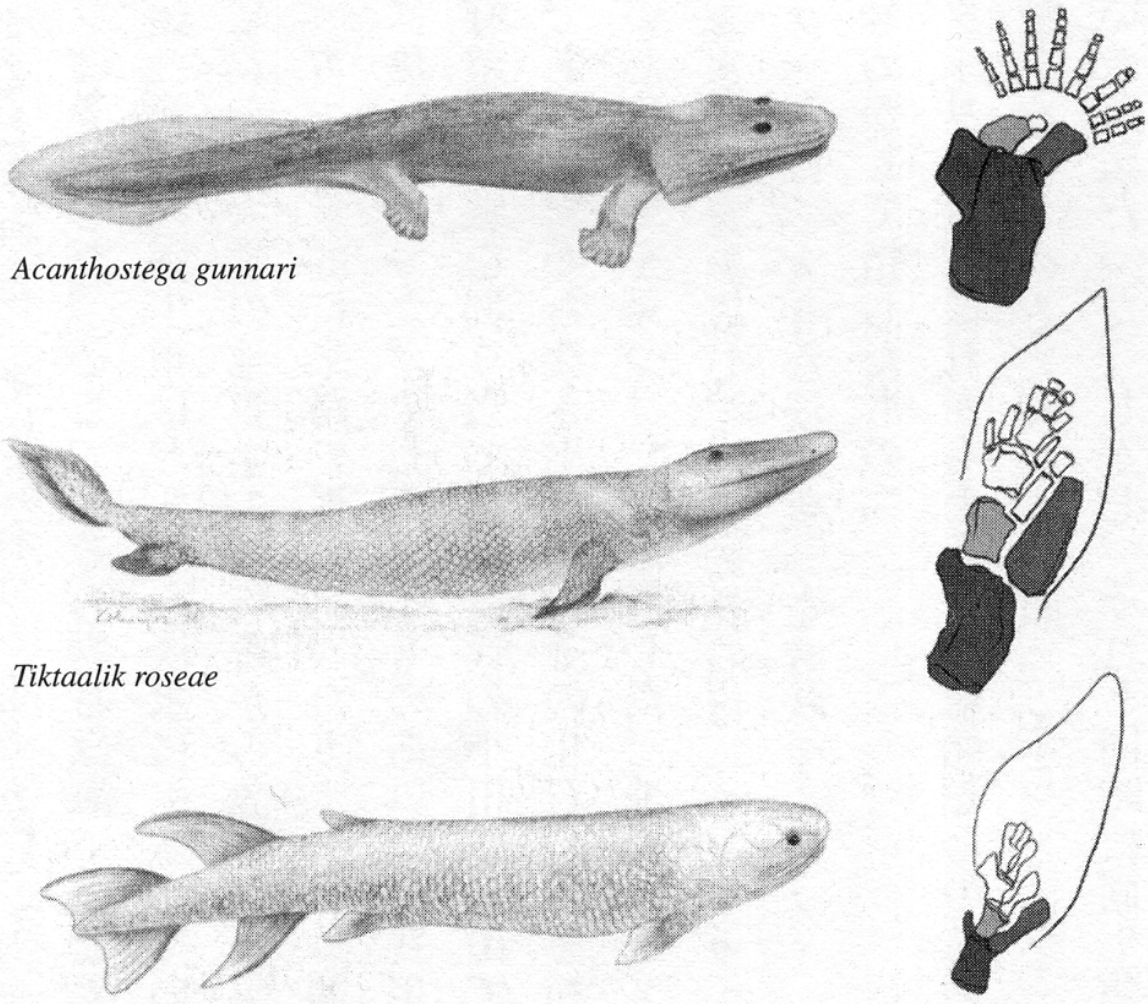


図８　脊椎動物の上陸。約３億8500万年前の初期の総鰭類エウステノプテロン・フォオルディ（*Eusthenopteron foordi*）、グリーンランドに生息していた約３億6500万年前の陸生の四足類アカントステガ・グンナリ（*Acanthostega gunnari*）、および、その移行型である、約３億7500万年前のエルズミア島にいたティクターリク・ロゼアエ（*Tiktaalik roseae*）。ティクターリクの体の形態の中間性をよく表しているのが肢の骨格の中間性で、総鰭類の頑丈なひれの骨格と、四足類のさらに頑丈な歩行できる肢の骨格のちょうど中間にある。成形された骨はのちに現代の哺乳類の腕の骨に進化するもので、陰の最も濃い部分の骨は上腕骨に、中間の部分は橈骨（前腕の母指側の骨）に、最も薄い部分は尺骨（前腕の小指側の骨）になる。

行型はどこに見つかると予想される？　当然、その中間である。このロジックに従って、もし移行型が存在するとすれば、その化石は三億七五〇〇万年前ごろの地層から発見されるだろう、とシュービンは予言した。そして、その岩石は海ではなく淡水の堆積物から見つかるに違いない。後期の総鰭類と初期の両生類はどちらも淡水に生息していたからだ。

シュービンらは大学の地質学の教科書から該当する年代の淡水堆積物が露出している場所の地図を探して、古生物学的に未踏の地であったカナダ北極圏の一部、カナダ北方の北極海に浮かぶエルズミア島に焦点を絞った。そして五年ものあいだ、費用ばかりかさむ実りのない探索を続けた末に、ようやく有望な鉱脈を掘り当てた。古代の小川から出てきた堆積岩に一群の化石骨格が積み重なっていたのである。岩から突き出ていたその化石の顔を初めて見たとき、シュービンはようやく自分の探していた移行型を見つけたと確信した。地元のイヌイットの人々と、遠征に資金を提供してくれた某篤志家に敬意を表して、その化石は「ティクターリク・ロゼアエ」と名づけられた（「ティクターリク」とは「大きな淡水魚」を意味するイヌイットの言葉で、「ロゼアエ」は匿名の資金提供者を暗号めかして指したもの）。

ティクターリクは、これがもともとの総鰭類とのちの両生類との直接的なリンクだと確信させるだけの特徴を持っている（図8を参照）。えら、うろこ、ひれがあるから、これは明らかに水中に生息していた魚類だった。しかし、それと同時に両生類のような特徴も備えている。たとえばティクターリクの頭はサンショウウオの頭のように平坦で、目と鼻は頭蓋骨の横ではなく上についてい

る。これはティクターリクが浅瀬に生息していたこと、水面から上がって外を凝視できたこと、そしておそらくは呼吸もできたことを示している。ひれは一段と頑丈になっていたから、体を上にそらせて周囲の環境を調べることもできただろう。そして初期の両生類と同様に、ティクターリクには首があった。魚に首はない。魚の頭蓋骨は肩と直接つながっているからだ。

さらに重要なことに、ティクターリクには二つの新しい特徴があり、それはどちらも子孫が陸に侵入するのに役立つものだった。まず一つは、肺に空気を送り込み、酸素をえらから移動させるのに有効なしっかりとした肋骨だ（ティクターリクはどちらの方法でも呼吸できた）。そして二つめに、総鰭類のひれが小さな多数の骨でできていたのに対し、ティクターリクの肢の骨はもっと頑丈で数が少ない。これは数の点でも位置の点でも、のちに出現する――われわれヒトも含めた――あらゆる陸生生物の骨に似ている。実際、ティクターリクの肢は「部分的にひれで部分的に肢」と称するのが最もふさわしいだろう。

生息地の浅瀬を這いまわり、水面から顔を出して前を見つめ、空気を吸うのに、ティクターリクは明らかによく適応していた。この構造から考えると、次の決定的な進化のステップも想像できる。それはおそらく新しい行動に関することだろう。ティクターリクの子孫の一部にかなり大胆なのがいて、頑丈な「ひれ足」を使って水から出て行き、おそらくはそのまま進んで別の水流に行き着いた（今日、トビハゼという熱帯地方の奇妙な魚がするように）。捕食者を避けるためだったかもしれないし、すでに進化していた無数の大きな昆虫のなかから餌を探すためだったかもしれない。い

ずれにしても、わざわざ陸に上がることに利点があったなら、自然淘汰がそうした大胆な冒険家を魚類から両生類につくりかえたとしても不思議ではない。その最初の小さな上陸の一歩が、結果的には脊椎動物にとっての大きな飛躍だった。これがやがて、背骨を持ったあらゆる陸生生物の進化につながったのである。

ただしティクターリク自体は、陸上で生きる準備が整っていなかった。たとえば歩行ができるほどの肢はまだ進化していなかったし、水中で呼吸するための内えらを残してもいた。ここからまた別の予言ができる。約三億八〇〇〇万年前の淡水堆積物のどこかに、えらを退化させ、ティクターリクの肢よりも少しだけ頑丈な肢を持った、ごく初期の陸生生物が見つかるはずだ。

ティクターリクは、われわれの祖先が平坦な頭を持った、川の浅瀬で待ち伏せをする捕食魚であったことを示している。ただの化石と言うなかれ、これが驚くほどに魚類と両生類を結びつけるのだ。そして同じぐらい驚異的なのは、その発見が単に期待されていただけでなく、ある特定の場所の、ある特定の年代の岩でなされると予言されていたことである。

進化のドラマを経験する最善の方法は、化石を自分の目で見てみること、そしてできれば、自分の手で触ってみることだ。私の学生たちは幸いにしてその機会を得た。ニールがティクターリクの化石を教室にもってきて、皆に手渡し、それがいかに本物の移行型の条件を満たしているかを見せてくれたのだ。これは学生たちにとって、進化が事実であることの何よりも具体的な証拠だった。進化史の一端に実際に手を触れる機会などそうそうあるものではない。ましてやそれが自分の遠い

祖先だったかもしれないとなれば、その価値は言うに及ばずだろう。

高い空へ——鳥類の起源

半端な翼がいったい何の役に立つ？　これはダーウィン以来、進化と自然淘汰に疑問を投げかけるために繰り返し使われてきた問いである。鳥類は爬虫類から進化したと生物学者は言うが、陸生生物がどうやって飛翔能力を進化させられたのだ？　自然淘汰ではこの移行を説明できない、と創造論者は主張する。なぜならその場合、動物が未発達な初期形態の翼しかもっていなかった中間段階が必要となる。そんな翼は生物にとって邪魔なばかりで、淘汰に対する利点にはならないだろうというのである。

だが、少し考えてみれば、飛翔の進化の中間段階はそれほど苦労せずとも思いつく。つまり、半端な翼があることが持ち主にとって有益だったかもしれない段階のことだ。まず、滑空は明らかな第一段階である。有胎盤哺乳類でも有袋類でもトカゲでも、滑空はそれぞれ独立して進化してきた。たとえばムササビは、体の側面に沿って伸びる皮膚をはためかせて滑空することによって大いに利益を得ている。捕食者から逃れたり木の実を探したりするために木から木へと移動するのに、とても便利な方法であるからだ。東南アジアには「空飛ぶキツネザル」という英語名を持った驚くべき生物さえいる。このヒヨケザルは、頭から尾までみごとに伸びた皮膜を持っていて、一四〇メートル近く滑空しながら——およそテニスコート六面分だ——一〇メートル余りしか降下しないという

驚異的な場面を目撃されている。そして進化の次の段階を想像するのも難しいことではない。ヒヨケザルのような四肢ではばたきをすれば真の飛翔につながるだろう。それを現在やっているのがコウモリである。幸い、いまではもうこの段階を想像に頼らなくてもよくなった。飛翔する鳥類がいかにして進化したかを明らかに示す化石が出てきているからだ。

一九世紀以降、鳥類の骨格と一部の恐竜の骨格に類似点があることから、古生物学者はこの二つの共通祖先がいるに違いないと考えるにいたった。なかでも最有力候補だったのが獣脚類である。二足歩行をする敏捷な肉食竜だ。化石記録を見るかぎり、二億年前ごろには多数の獣脚類がいたが、おぼろげにでも鳥に似たものはいっさい存在していなかった。しかし七〇〇〇万年前ぐらいになると、現生種にかなり近い鳥類の化石が見つかっている。もし進化が事実なら、爬虫類から鳥類への移行が七〇〇〇万～二億年前のあいだの岩石にきっと見つかるはずである。

そして、それは実際に存在している。鳥類と爬虫類との最初のリンクは、じつはダーウィンにもわかっていた。おもしろいことに、ダーウィンはそれについて『種の起源』の改訂版でほんのわずか触れているだけで、しかもそれを奇異なものとしてしか扱っていなかった。それはあらゆる移行型のなかでも最も有名なものである。一八六〇年にドイツの石灰岩の採石場で発見された始祖鳥（*Archaeopteryx lithographica*）のことだ（学名の*Archaeopteryx*は「古代の羽」を意味し、*lithographica*は発見地ゾルンホーフェンの石灰石に由来する。この石は非常に粒子が細かいため、リトグラフの板を作るのにも、柔らかい羽毛の感触を保つのにも適していた）。始祖鳥は、まさに移行型に予想

されるような複数の特徴をあわせもっている。化石はおよそ一億四五〇〇万年前のもので、これもまた予想どおりの年代だ。

始祖鳥はまぎれもなく鳥類より爬虫類に近い。その骨格は一部の獣脚恐竜の骨格とほぼ同じだ。始祖鳥を丹念に調べなかった生物学者がうっかりその羽毛を見落として、獣脚類に誤って分類した例もある（始祖鳥と獣脚類の類似性は図9に示されている）。始祖鳥が持っていた爬虫類の特徴は、たとえば歯の生えた顎であり、骨でできた長い尾であり、鉤爪であり、翼についている分かれた指であり（鶏の手羽肉をかじったあとによく見てみればわかるとおり、現生鳥類ではこの部分の骨が結合している）、首が頭蓋骨に下から（現生鳥類のように）連結しているところである。一方、鳥のような特徴といえば二つしかない。たっぷりした羽毛と、おそらくは木に止まるためと思われる、ほかの指と対置できる足の親指だ〔ただし最近の研究によれば、現生鳥類とは違い親指が他の指と対向していないこと、すなわち枝をつかんで樹上に止まるのは困難だったことが判明している〕。たっぷりと羽毛に覆われていたとはいえ、この生物が実際に空を飛べたかどうかはいまだに判然としていない。しかし非対称の羽を持っていた――それぞれの羽の片側がもう片側より長い――ことからすると、これは飛べたと考えられる。飛行機の翼と同様に、非対称の羽は空気力学的な飛行に必要な「翼形」をつくるからである。とはいえ、仮に空を飛べたとしても、始祖鳥はやはり大部分が恐竜である。このようなものを進化学者は「モザイク」と称する。鳥類の特徴と爬虫類の特徴の中間のように見える特徴を余さず持っているのではなく、一部の

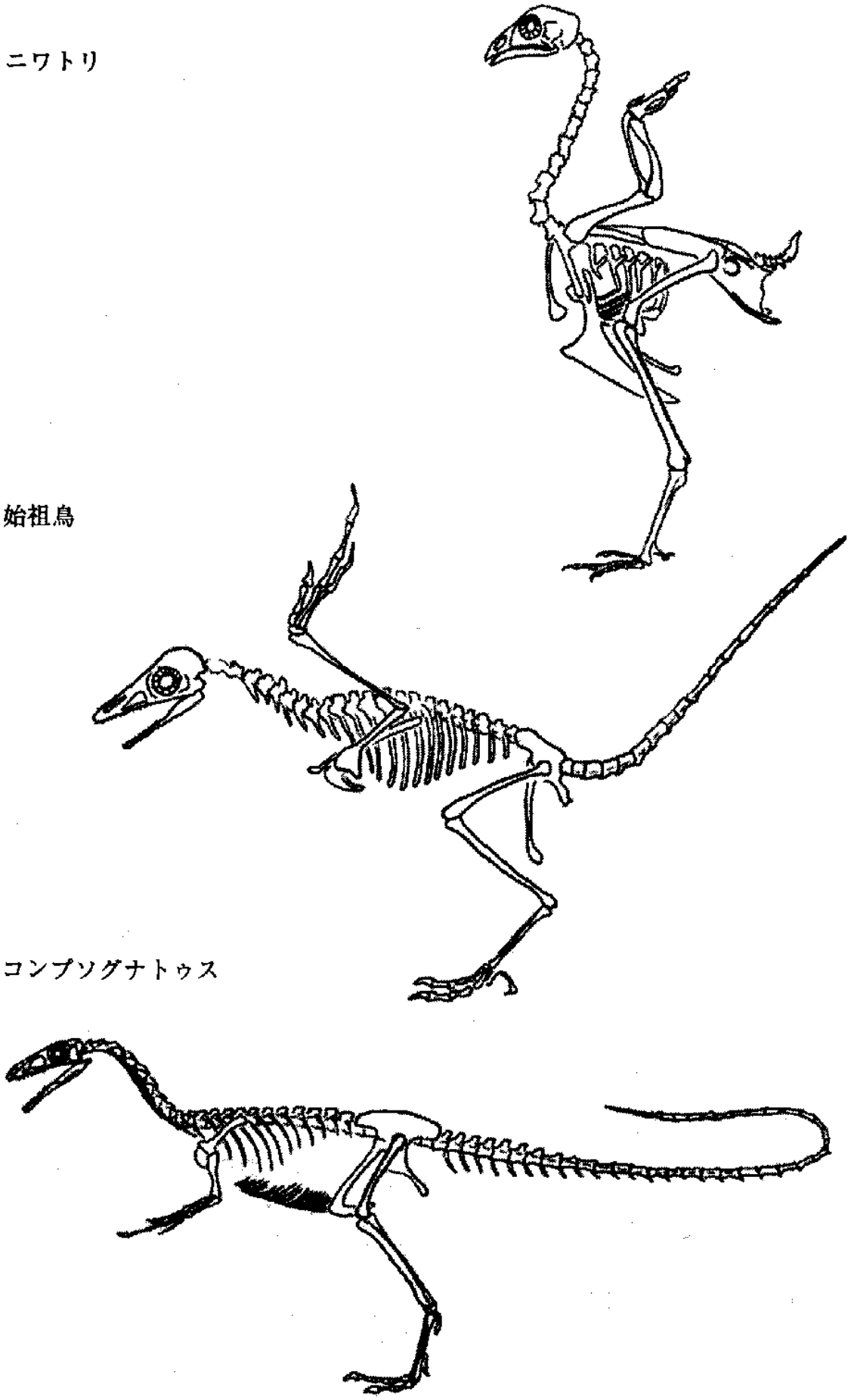


図９　現生鳥類（ニワトリ）と、移行型（始祖鳥）と、始祖鳥の祖先の一つによく似た二足歩行の小型肉食性獣脚恐竜（コンプソグナトゥス）の骨格を比較したもの。始祖鳥は現生鳥類と同じような特徴をいくらか備えているが（羽毛と対向した親指〔本文の訳注を参照〕）、歯や爬虫類型の骨盤や骨のある長い尾など、その骨格はきわめて恐竜に近い。始祖鳥の大きさはカラスほどで、コンプソグナトゥスのほうが少しだけ大きい。

特徴だけはきわめて鳥類に似ているが、残りの大部分の特徴はきわめて爬虫類に似ているのである。

始祖鳥の発見後、爬虫類と鳥類の中間をなす生物のほかの事例はしばらく発見されず、現生鳥類とその祖先との溝は埋められないままだった。しかし一九九〇年代半ばに入ると、中国から驚くべき発見が次々と起こって、その溝が埋められはじめた。軟質部の刻印を保存した湖沼堆積物から続々と見つかったそれらの化石は、まさしく羽毛の生えた獣脚恐竜のものだった[8]。そのうちの一部は、非常に小さな繊維状構造で全身を覆われていて、おそらくこれが初期の羽毛だったと思われる。たとえばシノルニトサウルス・ミレニイという驚くべき生物は（シノルニトサウルスとは「中国の鳥トカゲ」という意味）、全身が長い薄い羽毛で覆われている。ただしこの羽毛は、飛翔の役に立つにはあまりにも小さい（図10aを参照）。さらに、鉤爪、歯、骨のある長い尾といった特徴は、この生物が現生鳥類とは明らかに程遠かったことを示すものだ[9]。このほかにも、そこそこの長さの羽毛を頭と前肢に生やした恐竜もいれば、まるで現生鳥類のように前肢と尾に長い羽毛を生やした恐竜もいる。しかし何よりも特筆すべきは、「四枚羽の恐竜」ミクロラプトル・グイだろう。現生種のどんな鳥とも違って、この体長七五センチメートル程度の奇妙な生物は前肢だけでなく後肢にもびっしりと羽毛を生やしており（図10bを参照）、おそらくはこれを広げて滑空に使っていたと思われる[10]。

獣脚恐竜は、ただ鳥類のような特徴を――発達途上だが――持っていただけでなく、鳥類のような行動様式まで持っていたらしい。アメリカの古生物学者マーク・ノレルとそのチームが、古代の

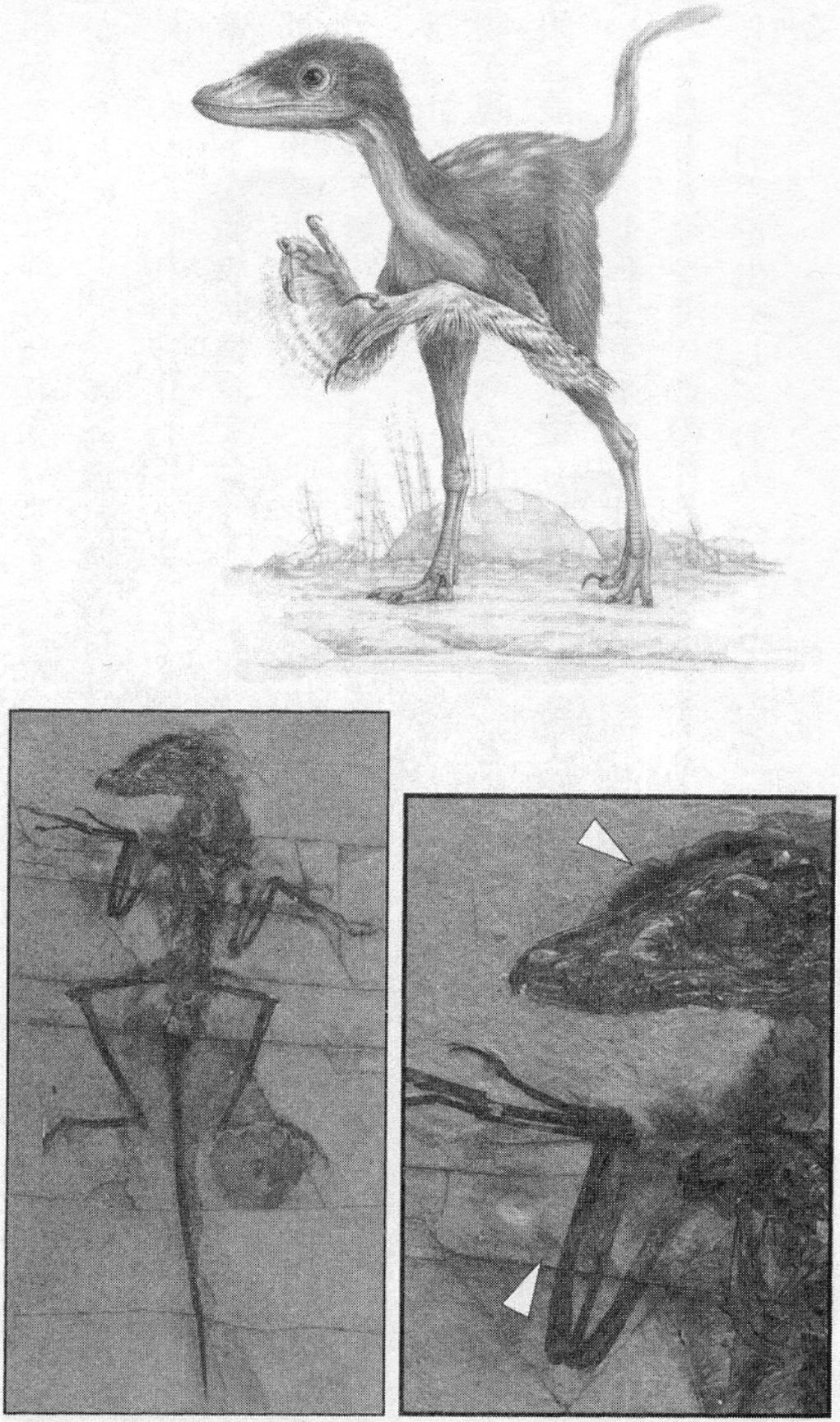


図 10a　羽毛恐竜シノルニトサウルス・ミレニイ。中国で発掘された化石（約 1 億 2500 万年前）と、それをもとにした復元画。化石は繊維状の羽毛の刻印をはっきりと示している。特に目立つのが頭と前肢の羽毛（矢印の部分）。

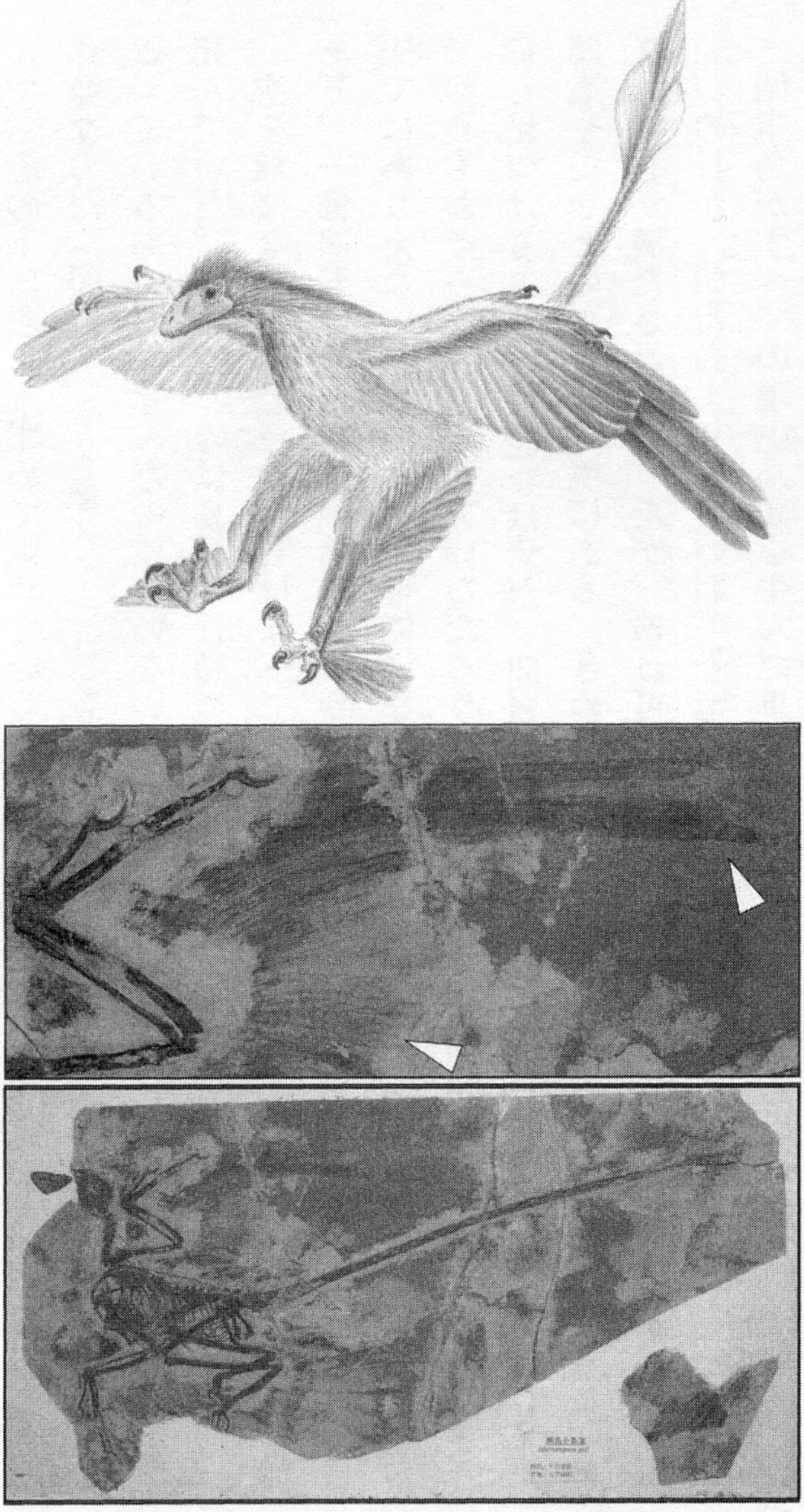


図 10b 「四枚羽」の奇妙な恐竜、ミクロラプトル・グイ。前肢と後肢の両方に長い羽毛を持つ。これらの羽毛（矢印の部分）は 1 億 2000 万年前の化石にもはっきり見てとれる。ミクロラプトルが飛翔できたのか、それとも滑空できただけなのかは明らかでないが、復元画にあるように後肢の「翼」が着陸に役立っていたのはほぼ確実と思われる。

行動様式を示した二つの化石について述べている。もし化石を「感動的」と呼べることがあるとするなら、これらはまさしくそれである。そのうちの一つは、小さな羽毛恐竜が翼のような前肢を組んで、その下に頭をうずめて眠っているものである。つまり、現生鳥類が眠るときとまったく同じ体勢なのだ（図11）。学名をメイ・ロンという（中国語で「熟睡する竜」を意味する）この動物は、眠っているあいだに死んだのに違いない。もう一つの化石はメスの獣脚類で、巣で卵を抱きながら死んでいた。卵を抱くのは鳥類の行動様式と同じである。

空を飛ばない羽毛恐竜の化石はすべて一億三五〇〇万年前から一億一〇〇〇万年前までのものであり、一億四五〇〇万年前の始祖鳥よりも後代に属する。したがって、これらは始祖鳥の直接の祖先ではありえないが、いとこの可能性ならある。こうした羽毛恐竜は、近縁のどれかが鳥類を生んでからもおそらく生き残っていただろう。そうであれば、始祖鳥の祖先にあたるさらに古い羽毛恐竜も見つけることが可能なはずだ。問題は、特殊な堆積物にしか羽毛が保存されないことである。湖底や潟などの平穏な環境にある、きめ細かい沈泥が必要なのだ。そしてそのような条件は、ごくまれにしか満たされない。だが、検証可能な進化の予言をもう一つすることはできる。われわれはいつの日か、始祖鳥よりも古い羽毛恐竜の化石を見つけることだろう。[11]

始祖鳥がすべての現生鳥類を生んだ単一の種であるのかどうかはわからない。これが「ミッシング・リンク」である可能性はおそらくないと思われる。しかしとりあえず、これは現生鳥類の出現を明らかに立証するたくさんの化石の一つである（恐れを知らぬポール・セレノが発見したものを

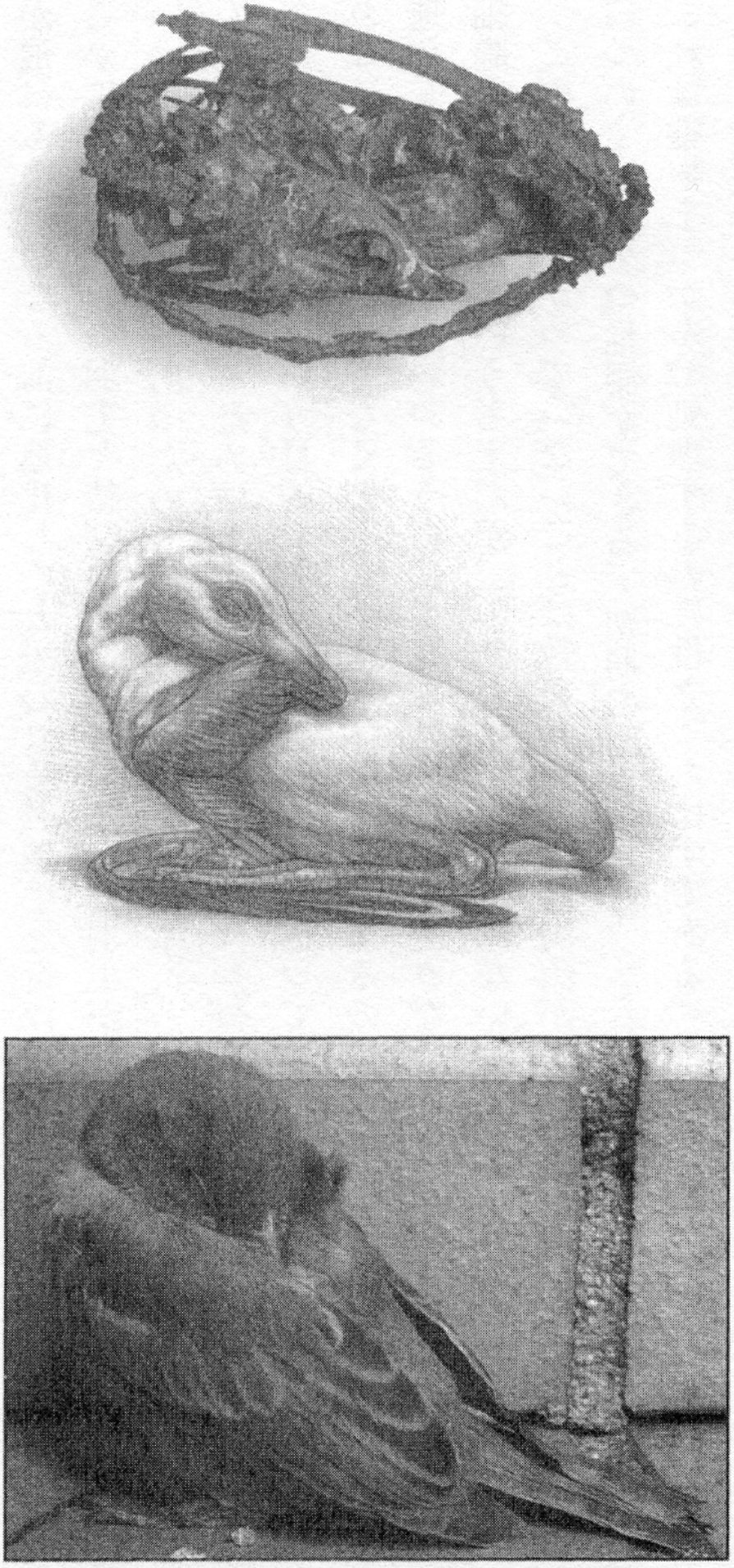


図 11　化石に示された行動。上：羽毛の生えた獣脚恐竜メイ・ロンが鳥類のような睡眠姿勢で化石化したもの。前で組んだ前肢の下に頭をうずめて眠っている。中：メイ・ロンの化石からの復元画。下：同じ姿勢で眠っている現生鳥類（イエスズメの幼鳥）。

筆頭に)。これらの化石は年代が新しくなるにつれ、爬虫類のような尾が短くなり、歯が消滅し、鉤爪が結合し、飛翔筋を支える大きな胸骨が現れてくる。

こうした化石の推移を考えあわせると、鳥類の基本的な骨格プランとそれに不可欠な羽毛は、鳥が飛べるようになる前に進化したと思われる。羽毛恐竜は過去にいろいろと存在し、その羽毛は明らかに現代の鳥類の羽毛と結びついている。しかし羽毛が飛翔への適応として生じたのでないなら、いったい何のためにあったのか？　これも真相はわからない。飾りやディスプレーとして——たぶん配偶者を引きつけるために——使われていた可能性もあるだろう。しかしそれより可能性が高いのは、断熱のためという目的である。現生爬虫類と違って、獣脚類は部分的に温血だったのかもしれない。たとえそうでなくとも、羽毛は体温を保持するのに役立っただろう。そして羽毛が何から進化したかは、なおいっそうの謎である。最もありそうなのは、爬虫類のうろこを生んだのと同じ細胞から生じたという考えだが、これも統一見解ではない。

このようにわかっていないことは数あれど、自然淘汰がいかにして現生鳥類をかたちづくったかについては多少の推測ができる。初期の肉食恐竜は、それまでよりも長い前肢と手を進化させた。これは獲物をつかんで処理するのに役立ったはずである。この「つかむ」という行動が、前肢をすばやく伸ばしては引っ込める筋肉の進化を促した。そしてこの動きは、まさしく真の飛翔において下向きの羽ばたきに使われるものである。そのうちに、おそらくは断熱のためだろう、体が羽毛で覆われるようになってきた。これらの変化から考えるに、飛翔の進化には二通りの可能性がある。

一つは「樹上からの降下」というシナリオだ。一部の獣脚類は、少なくとも部分的に樹上で生活していた証拠がある。羽毛の生えた前肢はそうした爬虫類が木から木へ、あるいは木から地上へと滑空するのに好都合であっただろう。滑空できれば捕食者から逃げるのも食物を見つけるのも容易になるし、降りたときの衝撃も和らぐ。

もう一つの、そしてもっと可能性の高いシナリオは、「地上からの上昇」説である。こちらの考えでは、羽毛恐竜が獲物をつかまえるために腕を広げながら走って跳び上がる行動を繰り返していた結果、その副産物として飛翔が進化したと見ている。長くなった羽も、走りの補助として進化したのではなかろうか。モンタナ大学のケネス・ダイアルが研究しているイワシャコという狩猟鳥は、この第一段階の生きた実例である。イワシャコはめったに飛ばないが、おもに坂を駆け上がるために翼を羽ばたかせる。そうすることでいっそうの推進力が得られるだけでなく、地面を蹴るときのはずみもつく。産まれたばかりのヒナでも四五度の斜面を駆け上がれるし、成鳥ならば、翼を羽ばたかせながら走るだけで一〇五度の斜面（なんと垂直以上のオーバーハング！）を登れる。その明らかな利点は、坂をよじ登れることによって捕食者から逃れやすくなることだ。飛翔の進化の次の段階は、七面鳥やウズラが危険から逃れるときにするような、きわめて短い跳躍だろう。

「樹上からの降下」説にしろ「地上からの上昇」説にしろ、自然淘汰はただ滑空したり跳び上がったり一瞬だけ飛翔したりする個体より、もっと遠くまで飛べる個体を選びはじめたのだろう。そして、そののち重量を軽くするための含気骨や、前述の大きな胸骨など、現生鳥類にも共通する

ほかの変化が続いたのだろう。

推測するしかない細部はともかく、移行型の化石が存在すること――および爬虫類から鳥類が進化したこと――は事実である。始祖鳥や、その後代の近縁の化石は、鳥類と初期爬虫類の特徴をあわせもち、しかも妥当な年代の化石記録に現れている。科学者は、鳥類が獣脚恐竜から進化したと予言した。そして実際に、羽毛を生やした獣脚恐竜が見つかった。体をうっすらと繊維に覆われた初期の獣脚類から、はっきりと目立つ羽毛を備えた、おそらくは滑空の名人であろう後期の獣脚類への進行が、きちんと筋道の通る時代に起こっている。鳥類の進化には、古い特徴（指のある前肢、皮膚に生えた薄い繊維）が改造され、新しい特徴（指のない翼、羽毛）に変わることが明白に示されている――そう、進化論が予言しているとおりに。

海へ還る――クジラの進化

デュエイン・ギッシュは、進化論を攻撃した威勢のいい大好評の（とんでもなく見当違いでもある）講演で知られる有名なアメリカの創造論者だ。私も一度聞いたことがあるが、ギッシュはその講演で、クジラの祖先がカラスと類縁の陸生動物であるとする生物学者の説をからかいの種にしていた。そんな移行が起こるわけないだろう、と彼は言う。その中間型は陸にも水にもうまく適応できていないだろうから、そんなものが自然淘汰でつくられるはずがないというのである（鳥類の進化を否定する「半端な翼」論のようなものだ）。ギッシュはこの言い分を明白に示すため、上半身

がまだら模様の乳牛で下半身が魚になっている人魚のような動物を描いたマンガのスライドを見せた。この明らかに適応不全の動物は、自分がどう進化すればいいかわからないといった顔つきで水際に立ち尽くし、その頭上に大きなクエスチョンマークを浮かべている。マンガは目論見どおりの効果を上げていた。聴衆がいっせいに爆笑したのである。進化論者はいったいどれだけ馬鹿なんだ？

たしかに「人魚牛」は――ギッシュが「乳房不全」と揶揄したように――陸生哺乳類と水生哺乳類の移行型の滑稽な例だろう。しかしジョークやレトリックはさておいて、自然界を眺めてみれば、陸にも水にも棲んでいる哺乳類、つまり適応不全で進化するはずがないと思われている生物が思い当たらないだろうか？

深く考えるまでもない。一つの好例はカバである。カバは陸生哺乳類の近縁ではあるが、陸生哺乳類としては限りなく水生に近い（カバにはコビトカバと「普通」のカバの二種があり、後者には *Hippopotamus amphibius*――「水陸両生のカバ」――という生態そのままの学名がついている）。カバは熱帯の川や沼に潜ったまま大半の時間を過ごし、頭頂部についた目と鼻と耳であたりを見回すが、それらの器官はいずれも水中では固く閉じられるようになっている。交尾も出産も水中で行なわれ、産まれた赤ん坊は歩けるようになる前から泳ぐことができ、水中で母親の乳を飲む。このように水中での生活が主であるため、カバは草を食みに岸に上がるときのために特殊な適応を果たしている。たとえば食べる時間はたいてい夜だ。また、日焼けをしやすいので色素を含んだ「ヒポスドール

酸」という赤い粘液を分泌し、それを日焼け止め剤として働かせている。この液体は抗生物質としての役目もあるらしい。カバが古くから「血の汗を流す」と言われてきたのは、この液体のせいである。カバは自らの進化に明らかによく適応しており、もしも水中で充分な食料が得られていたなら、最終的に完全な水生となってクジラのような生物に進化していたとしても不思議ではない。

だが何よりも、クジラの進化は、現生種からの推定でその経緯を想像するしかないという類のものではない。幸いにも、水生の習性と頑丈で化石化しやすい骨のおかげで、クジラはすばらしい化石記録を残してくれている。しかもクジラがどう進化したかがわかってきたのは、ようやくここ二〇年ばかりのことである。年代順に並べられる一連の化石があり、それはおそらく祖先から子孫にいたる一系統を映していて、クジラがどのように陸から海へと移動したかを教えているという点で、これは進化的移行の最高の例の一つと言えよう。

クジラとその類縁であるイルカとネズミイルカが哺乳類であることは、一七世紀からわかっていた。これらはすべて温血で、胎生で出産し、産まれた子を母乳で育て、噴気孔のまわりに毛を生やしている。さらに、クジラのDNAからの証拠にしても、未発達な骨盤や後肢などの痕跡が残っていることにしても、クジラの祖先が陸上で生活していたことを示している。クジラはほぼまちがいなく、ラクダやブタのような偶数個のひづめを持った哺乳類の一グループ、偶蹄目の種から進化したものだ[12]。目下、生物学者の考えでは、クジラと最も近縁の現生種は——お察しだろうが——カバと見なされている。つまりカバからクジラへというシナリオは、あながち見当違いでもないのかも

しれない。

しかしクジラには、ほかの陸生の類縁とは異なる独自の特徴がいくつかある。たとえば後肢はなく、前肢は櫂のような形状をしていて、錨鉤のような平たい尾、噴気孔（頭頂部にある鼻孔）、短い首、単純な円錐形の歯（陸生動物の複雑な多咬頭歯とは対照的）、水中でも音を聞ける特殊な耳、尾の強い遊泳筋を支えるために発達した頚骨の上の頑丈な突起部などを持つ。中東で発見された一連の驚くべき化石のおかげで、これらの特徴それぞれが――骨のない尾だけは化石化しないので除外されるが――どのように陸生向きの形状から水生向きの形状へと進化したかを追うことができるのである。

六〇〇〇万年前の哺乳類の化石は豊富にあるが、その時代のクジラの化石は存在しない。現生クジラに似た生物が現れるのは、それから三〇〇〇万年後のことである。したがって、そのあいだの期間に移行型が見つかるはずだ。そして今回も、まさに予測どおりの結果となっている。図12で年代順に示してある化石の一部は、ちょうどその移行期にあたる五二〇〇万年前から四〇〇〇万年前までのあいだにあったものだ。

この移行を言葉でいちいち説明しなくとも、陸生の動物がいかにして水生になったかは絵を見てもらえれば一目瞭然だ。一連の推移は、まず近年発見されたクジラの近縁の化石に始まる。アライグマほどの大きさのインドヒウスという動物である。四八〇〇万年前に生息していたインドヒウスは、予言されていたとおり、偶蹄目だった。現生クジラとその水生の祖先にしか見られない特殊な

耳と歯の特徴をもつことから、これは明らかにクジラの近縁と見なしてよい。インドヒウスの登場は、ほぼ水生となったクジラの祖先の登場よりもいくぶん遅いが、それでもこれはクジラの祖先の姿にかなり近いと思われる。それに、インドヒウスは少なくとも部分的に水生だった。なぜそれがわかるかといえば、インドヒウスの骨は完全な陸生の哺乳類の骨よりも密度が高く、水中で体が揺れないようになっているからだ。また、インドヒウスの歯から抽出された同位元素を調べてみると、これが水から大量の酸素を吸収していたことがうかがえる。おそらくインドヒウスは植物を食(は)むため、あるいは敵から逃れるために、浅瀬や湖に入って水中を歩いていたのだろう。ちょうど現在、これによく似たアフリカ産のミズマメジカがやっていることと同じである。[13] この部分的な水中生活をきっかけに、クジラの祖先は完全な水生にいたる道へと足を踏み出したのだろう。

インドヒウスはクジラの祖先ではなかったが、クジラのいとこであったことはほぼ間違いない。しかし、もう四〇〇万年ほどさかのぼって五二〇〇万年前をあたってみると、これぞクジラの祖先だったかもしれないというものに遭遇する。それはオオカミほどの大きさのパキケトゥスという生物の頭蓋骨の化石で、インドヒウスよりも単純な歯とクジラのような耳を持っている分、インドヒウスよりも少しだけクジラに近いものになっている。それでもパキケトゥスの姿は現生クジラとはまったく違うから、その周囲をぐるりと回ってよくよく眺めても、パキケトゥスやその近縁がのちの劇的な進化のもとであるとは想像もつかないだろう。この先は、一連の化石が時間とともに急激に水生の特徴を増していく。五〇〇〇万年前にはアンブロケトゥス（その名も「歩くクジラ」）と

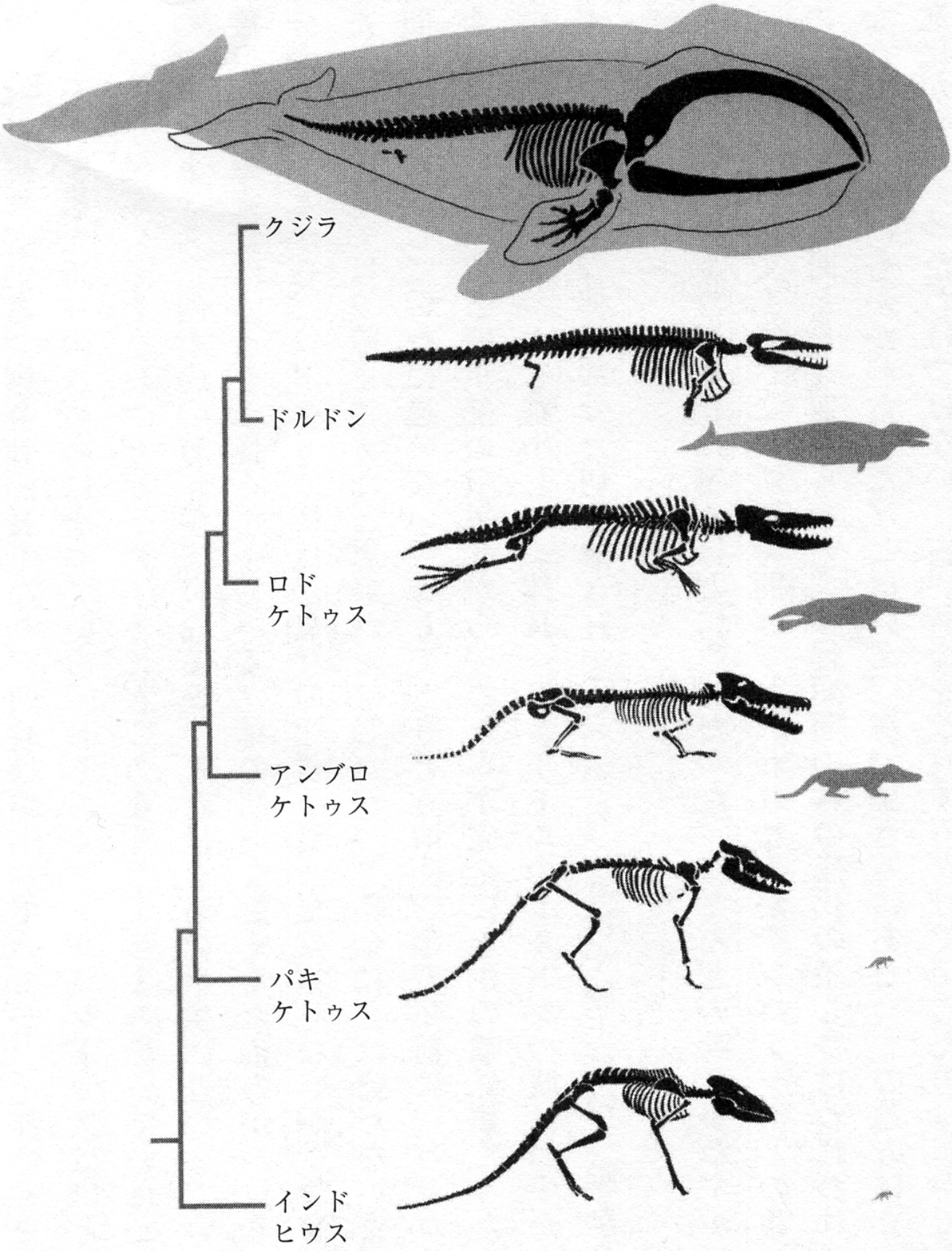


図 12　現生クジラの進化における移行型。「クジラ」は現生ヒゲクジラの図で、骨盤と後肢が痕跡器官になっている。ほかはすべて移行型の化石。相対的な大きさは右側の絵を参照。左側の系統図はこれらの種の進化上の関係を示している。

いう驚くべき生物がいる。頭蓋骨が長くなり、四肢は縮小しているが、それでもまだ頑健で、足先はあいかわらず祖先譲りのひづめになっている。おそらくアンブロケトゥスはほとんどの時間を浅瀬で過ごし、陸にいるときはアザラシのようにぎこちなく、よろよろ歩いていたと思われる。そのあとのロドケトゥス（四七〇〇万年前）になると、これはさらに水生に近づいている。鼻孔がいくぶん後退し、頭蓋骨はいっそう長くなっている。尾の筋肉を支えるためのがっしりとした背骨の伸長部分があることから、ロドケトゥスはかなりの泳ぎ手だったに違いないが、骨盤と後肢が小さくなったために陸上では支障を抱えたと思われる。したがって完全にとは言わないまでも、ほとんどの時間は海で過ごしていたに違いない。そしてとうとう四〇〇〇万年前に、バシロサウルスとドルドンが現れる。短い首と頭頂部の噴気孔から、これらが完全に水生の哺乳類だったことは明らかである。骨盤と四肢がすっかり縮小して（体長一五メートルのドルドンの肢はわずか六〇センチメートルだった）、骨格の他の部分と切り離されていたから、もはや陸上には一瞬たりともいられなかっただろう。

陸生動物からのクジラの進化は驚くほどに急速だった。ほとんどの動きがわずか一〇〇〇万年のあいだに起こったのである。この所要時間は、われわれヒトがチンパンジーとの共通祖先から分岐するのにかかった時間とそう変わらない。移行期間の体の変化の激しさはわれわれの場合と比べものにならなかったにもかかわらずだ。とはいえ、海で生きるにあたっての適応にまったく新しい特徴の進化が必要だったわけではない。古い特徴を改良するだけで済んだのは確かである。

だが、このように一部の動物が海に還ったのはそもそもなにゆえなのだろう？　すでに何千万年も前に、それらの祖先は陸に上がっていたのだ。なぜそれに逆行する移住が起こったのか、確実なところはわからないが、いくつかの推測はできる。可能性の一つとしては、恐竜とともに獰猛な海生のいとこたち、すなわち魚を餌とするモササウルスや、イクチオサウルス（魚竜）や、プレシオサウルス（首長竜）が消えたことが考えられる。これらの生物がいたなら水生哺乳類と餌を奪いあっていただけでなく、水生哺乳類そのものを餌にしていたことだろう。競争相手の爬虫類が絶滅した結果、クジラの祖先は捕食者のいない、餌がふんだんにある悠々たるニッチを見つけられたのかもしれない。海に入る時機は熟していた。たった数回の突然変異を経れば、その利益のすべてが手に入るのだった。

化石は何を語るか

ここまで読んできて、もう化石については食傷気味だとうんざりしている人がいたとしたら、ぜひ安心していただきたい。私はこれでも、同じように進化を表しているほかの例を何百と省いてきたのである。たとえば爬虫類から哺乳類への移行がある。これはあまたの本の主題となっている「哺乳類のような爬虫類」の中間型によって充分に立証されていることだ。あるいはウマの例もある。小柄な五本指の祖先から始まった進化の枝分かれが、最終的に今日の立派なひづめを備えた種

を生んでいる。そしてもちろん、ヒトの化石記録もある。詳しくは第8章で見ていくが、これこそ進化についての予言が立証された最たる例と言えるだろう。

もう結構というお叱りは承知の上で、もういくつか重要な移行型のことを簡単に紹介しておこう。まずは昆虫だ。解剖学的構造に共通点があることから、昆虫学者は古くから、アリは非社会性のハチから進化したのだろうと考えていた。一九六七年、E・O・ウィルソンらによってコハクに保存されているのを発見された「過渡的」なアリは、昆虫学者が予言していたアリのような特徴とハチのような特徴をほとんどそっくりあわせもっていた（図13）。

同じように、ヘビも前々から、肢を失ったトカゲのような爬虫類から進化したのだろうと考えられていた。肢のある爬虫類はヘビよりもずっと前に化石記録に現れていたからだ。二〇〇六年、古生物学者がパタゴニアで発掘作業をしていたときに、現時点で最古とされる九〇〇〇万年前のヘビの化石を発見した。予言されていたとおり、この化石には小さな腰帯（後肢の基部となる肢帯）と退化した後肢が残っていた。だが、何よりも衝撃的だった発見は、中国から出てきた五億三〇〇〇万年前のハイコウエラ（*Haikouella lanceolata*）の化石だろう。これは小さなウナギに似た生物で、フリルのような背びれがついている。しかし頭もあり、脳も心臓もあり、さらに背中に沿って棒状に伸びた軟骨質の器官、すなわち脊索（せきさく）もついていた。これは、ハイコウエラがおそらく最古の脊索動物であることのしるしだ。その太古の脊索動物から、ヒトを含めたすべての脊椎動物が生まれている。つまりわれわれヒトの進化のルーツは、このわずか三センチメートルほどの複雑な生物にあ

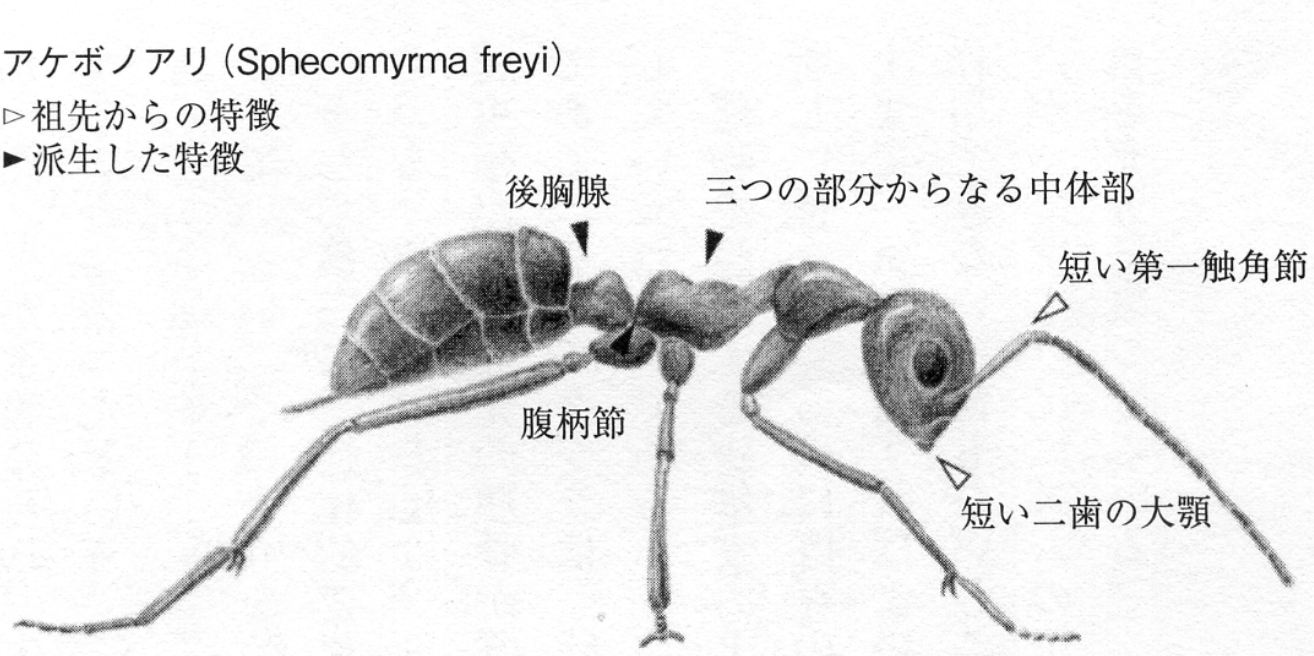


図13　過渡的な昆虫。初期のアリは、祖先と目されていたハチの原始的な特徴と、アリの派生的な特徴の双方を示している。このアケボノアリ（*Sphecomyrma freyi*）の唯一の見本は9200万年前のコハクに保存されていた。

るのかもしれない。

化石記録は三つのことを教えてくれる。第一に、化石は進化について雄弁に物語る。岩に刻まれた記録が進化論のいくつかの予言を立証している。系統内での漸進的な変化、系統の分岐、そして、まったく異なる種類の生物をつなぐ移行型の存在だ。この証拠を避けて通ることはできないし、払いのけることも不可能だ。進化はたしかに起こったのであり、どう起こったかも多くの事例から知ることができる。

第二に、移行型が見つかるたびに、それは決まってあるべきところの化石記録に現れている。最古の鳥類は恐竜よりもあとに現れるが、現生鳥類よりは前に現れる。先祖代々のクジラは、さらにその祖先である陸しか知らなかった生き物と、完全に現生種となったクジラとのあいだをつなぐ存在だ。進化が事実でないのなら、化石がこれほど進化論どおりの順番で現れることはありえない。もしも進化論を反証できるとしたら、それは何が見つ

かったときかと尋ねられ、生物学者のJ・B・S・ホールデーンはいつもの気難しい口調で吐き捨てるように言ったという。「先カンブリア時代のウサギの化石だな！」（先カンブリア時代は五億四三〇〇万年前に終わった最古の地質時代）言うまでもなく、先カンブリア時代のウサギは見つかっていない。そのような時代錯誤の化石は一つとして見つかっていないのだ。

そして第三に、進化的変化はたとえ大きなものであれ、ほぼ例外なく旧来のものを新しく改造している。陸生動物の足は、魚の祖先種の頑丈な肢が変化したものである。哺乳類の小さな中耳骨は、爬虫類だった祖先の顎骨が改造されたものである。鳥の翼は、恐竜の足からつくられていったものである。そしてクジラは、陸上動物の前肢がいつしか櫂のような形状になり、鼻孔が頭頂部に移動していった結果である。

建物を設計する建築家のように、天上のデザイナーがゼロから生物をつくりあげているのなら、新しい種をつくるのに既存の種の特徴をつくりかえる必要はどこにもない。どの種であれ、下から上まで一気に建造すればよい。しかし自然淘汰は、すでにあるものを変化させることによってしか作用できない。何もないところから新しい特徴をいきなりつくりだすことはできないのである。したがってダーウィニズムの予言では、新しい種はつねに古い種の改良版になる。化石記録はこの予言を充分に裏づけている。

第3章

遺物——痕跡、胚、粗悪なデザイン

進化論を考えに入れないかぎり、生物学におけるすべては意味が通らない。

——テオドシウス・ドブジャンスキー

紙ができる前の中世ヨーロッパでは、文書は羊皮紙に書かれていた。羊皮紙とは動物の皮を加工して乾燥させた薄いシートである。これを作るにはけっこうな手間がかかったため、中世の人々はしばしば古い写本の再利用を行なった。前に書かれていた文字を削り取り、あらためて白紙にしたページに新しい文字を書き込む。このように再利用された写本のことを「パリンプセスト」という。「ふたたびこすり落とされた」という意味のギリシャ語（palimpsestos）から来た言葉だ。

しかしながら、前に書かれていた文章の跡がうっすらと残っていることもよくあった。これが現在、古代の世界を知るうえで非常に重要なものとなっている。なにしろ多くの古代文書は、中世の何層もの重ね書きの下を必死に見透かして元の文書を解読するという方法を通じて初めてその内容が判明したのである。最も有名なのは、おそらく「アルキメデスのパリンプセスト」だろう。この

写本はもともと一〇世紀にコンスタンティノープルで書かれたが、のちに消されて、三世紀後にある修道士に祈祷書を上書きされた。そして一九〇六年、デンマークのある古典学者がこの元の文書をアルキメデスの著作だと確認した。以後、その最初に書かれていた文書を判読するべく、X線やOCR（光学式文字認識）や、その他さまざまな複雑な手法が駆使された。このたいへんな作業を経て、ついに古代ギリシャで書かれたアルキメデスの三つの論文が現れた。そのうち二つはこのとき初めて世に知られたものであり、科学史においてきわめて重要なものとなった。こうした複雑な方法で、われわれは過去を取り戻している。

これらの古代文書と同じように、生物も歴史のパリンプセストである。もっと厳密に言えば、進化の歴史のパリンプセストだ。動物や植物の体内には、その祖先を示す手がかり、進化を立証する手がかりが隠されている。しかもその数は少なくない。たとえば「痕跡器官」という特殊な特徴がある。これはかつて祖先の時代に有益だった形質の名残であり、そう見なさなければ意味をなさないものである。それから「隔世遺伝」が現れることもある。これは長いあいだ眠っていた祖先の遺伝子がたまたま呼び起こされることによって生じる先祖がえりの形質のことだ。DNA配列を直接読み取れるようになったいま、生物の種は分子のパリンプセストだと言うこともできよう。生物のゲノムには、過去に役立っていた遺伝子の残存物も含め、種の進化の歴史の大部分が刻まれているのだ。また、多くの種の生物は、胚からの発達過程において形状の奇妙なねじれを経験する。各器官やその他の特徴がいったん現れたのち、産まれる前に大幅に変化したり、場合によっては完全に

消失したりするのである。そして、生物の種はそれほどすばらしくデザインされてもいない。たいていの種には不完全な部分があり、その不完全さこそ、生物の種が神の巧みな設計によってではなく、進化によって生まれたことのしるしなのだ。

これらの生物学的パリンプセストを、スティーヴン・ジェイ・グールドは「歴史の無意味なしるし」と称した。だが、それらは決して無意味なものではない。むしろ、進化の最も強力な証拠の一部となりえている。

痕跡

かつてボストンの大学院にいたとき、私はある先輩科学者の論文発表の手伝いをすることになった。温血動物にとって二足で走るのと四足で走るのとではどちらが有益かをテーマにした論文だった。彼はこれを最も権威ある科学誌の一つ《ネイチャー》に提出しようとしており、それにあわせた印象的な写真を撮ってほしいと私に頼んできた。そう、雑誌の表紙を飾れるぐらい、そして自分の論文に注目を集めさせるぐらい衝撃的な写真をだ。研究室から抜け出せるのをこれ幸いと、私はある日の午後をめいっぱい使って、囲い柵のなかのウマとダチョウを追いかけまわした。ウマとダチョウが並んで走っているところを一枚の写真に収め、両方の走り方を一目で見比べられるようにしたかったのだ。言うまでもなく、動物たちは協力を拒んだ。そしてすべての種が疲れきったとこ

ろで、この計画はついに断念された。結局、写真は撮れなかったが[14]、私はこの経験で一つの生物学上の教えを得た。ダチョウはたしかに飛べないが、それでもその翼は利用できる。ダチョウは走るときに翼を使ってバランスを保っていた。翼を横に広げることで体がつんのめらないようにしているのだ。そしてダチョウは興奮すると——囲い柵のなかで追いかけまわされればたいていそうなるが——自分を興奮させた相手をめがけて一直線に走ってくる。このときも、威嚇のしるしとして翼が広げられる。これを見たらよけるしかない。腹を立てたダチョウはいともたやすく素早い蹴りで相手の腹を切り裂けるからだ。そのほか、ダチョウは交尾のときのディスプレーにも翼を使うし[15]、アフリカの灼熱の太陽からヒナを守るための日除けとしても翼を広げる。

だが、この教えにはさらに奥がある。ダチョウの翼は痕跡的な形質だ。つまり、その種の祖先においては適応的だったが、現在では当時の有用性が完全に失われているか、さもなければダチョウのように、新しい別の用途に鞍替えされている特徴のことである。ほかのすべての飛べない鳥と同様に、ダチョウもその祖先は飛べていた。これは化石証拠からも、あるいは飛べない鳥のＤＮＡが持っている先祖代々のパターンからもわかっている。だが、もはやこれらの鳥にとって、翼は飛ぶための役には立っていない。いまだに存在はしていても、これを使って餌を探しに行ったり、捕食者やわずらわしい大学院生から逃げたりすることはできないのだ。しかし、それでも翼は役立たずではない。翼は新しい機能を進化させている。飛べない鳥が体のバランスを保ち、交尾し、敵を威嚇するのに役立っている。

飛べない鳥はアフリカ産のダチョウだけではない。南米産のレア（アメリカダチョウ）、オーストラリア産のエミュー、ニュージーランド産のキーウィといった「走鳥類」と称される大型の飛べない鳥のほか、十数種の鳥がそれぞれ独立に飛ぶ能力を失っている。たとえば一部のクイナやカイツブリやカモ、そしてもちろんペンギンもそうだ。なかでも最も奇妙なのは、フクロウオウム（カカポ）というニュージーランド産のずんぐりした飛べないオウムだろう。この鳥はおもに地上で生活するが、木に登ることもでき、樹上から森の地面にふわりと「パラシュート落下」をする。フクロウオウムは深刻な絶滅の危機に瀕していて、いまだ野生に存在する個体は一〇〇に満たない。なにしろ飛べないので、ネコやネズミといった外来の捕食者にあっさり餌にされてしまうのである。

飛べない鳥にも必ず翼はある。キーウィなど一部の鳥においては翼が非常に小さくて――一〇センチ程度しかなく、しかも羽毛の下に隠れているので――何らかの機能を果たしているとはとても思えない。これらはまさに遺物である。しかしダチョウのように、翼が新しい用途を得ていることもある。たとえばペンギンの場合、祖先の翼が進化してひれとなっており、これのおかげでペンギンは水中を驚異的な速さで泳ぐことができる。しかし、これら飛べない鳥の翼も、飛べる鳥の翼に見られるのとまったく同じ骨を持っている。それは飛べない鳥の翼が決して計画的なデザインの産物ではなく（なぜ創造主が飛べる翼にも飛べない翼にも、泳ぎに向いたペンギンの翼にさえも、まったく同じ骨を使う必要があるか？）、飛べていた祖先から進化した結果の産物であるからだ。

進化論を認めようとしない人々は、痕跡的な形質が進化の証拠として引きあいに出されると決

まって同じ反論をする。「それらの特徴は役立たずではない」と言うのである。「それらは何らかの役に立っているか、さもなければ用途がまだ発見されていないのである」。つまり言い換えれば、まだ発見されていない機能も含め、ある形質にいまだ機能があるのなら、それは痕跡ではありえないと主張しているわけだ。

だが、この抗弁は的外れである。進化論は痕跡的な特徴に機能がないとは言っていない。ある形質が痕跡であるということと、機能的であるということは両立する。痕跡は機能しないから痕跡なのではなく、それが進化した理由であるもともとの機能をすでに果たさなくなっているから痕跡なのだ。ダチョウの翼は役に立っている。しかし、だからといって、その翼が進化と無関係ということにはならない。もし創造主がダチョウに体のバランスを保たせるのに、たまたま退化した翼とそっくりな外観をしている付加物、飛ぶための翼とまったく同じ構造でできている付加物を与えたのだとしたら、それこそおかしな話ではないか？

そもそも考えてみれば、祖先の持っていた特徴が新しい用途を進化させるのは当然のことだ。進化が古い形質から新しい形質を作るときには必ずそうなる。ダーウィン自身、「生活習慣が変わっていく過程において、ある目的にとって用をなさなくなったり有害になったりした器官は、あっさり改造されて別の目的に使われるようになるのかもしれない」と書いている。

だが、ある形質が痕跡であると確認されたとしても、疑問は残る。その形質はどの祖先のときに機能していたのか？　何のために使われていたのか？　なぜその機能を失ったのか？　なぜ完全に

消失しないで残っているのか？　もし新しい機能が進化しているのなら、それはどういう機能なのか？

ここでふたたび、翼を例にして考えてみよう。翼を持っていることには明らかに多くの利点があり、飛べない鳥の祖先である飛べていた種はすべてその利点を共有していた。では、なぜ一部の種は飛べる能力を失ったのだろうか。確実な答えはわからないが、かなり強力なヒントはある。進化の末に飛ばなくなった鳥のほとんどは、島においてそうなった。絶滅したモーリシャス島のドードーしかり、ハワイ島のハワイクイナしかり、ニュージーランドのフクロウオウムやキーウィしかり。このほかにも、生息地の島の名前をつけられている飛べない鳥がたくさんいる（英名を「サモア諸島のクイナ」というサモアオグロバン、「ゴフ島のバン」ゴフムーヘン、「オークランド島のコガモ」クリイロコガモなど）。第4章で見るように、離島の顕著な特徴の一つは哺乳類と爬虫類がいないこと、つまり鳥類を餌にする種がいないということである。だが、それならダチョウのように大陸に生息する走鳥類はどうなのか、という疑問もあるだろう。それらの鳥は、すべて南半球で進化した。そして南半球は北半球よりもずっと哺乳類の捕食者が少なかったのである。

結局のところ、飛翔は代謝的な負担がかかりすぎるのだ。大量のエネルギーを使い尽くすので、もし飛ばなければ繁殖にまわせたはずのエネルギーも残らなくなる。飛翔のおもな目的が捕食者から逃げることでありながら、そこが島であるために捕食者がほとんど存在しないなら、あるいは島によくあるように、地上で簡単に餌がとれるなら（そもそも島には木が少ないことが多い）、なぜ

翼を完全に機能させておく必要があるだろう。このような状況でなら、翼が退化している鳥のほうが繁殖上の利点が大きくなるわけで、自然淘汰が飛ばないほうを選んだとしても不思議はない。それに翼は大きな付加物なので、何かと傷つきやすい。翼が要らないなら、退化させたほうが傷つかずに済む。いずれの状況にしろ、自然淘汰は翼を小さくさせる突然変異を優遇するに決まっている。この流れから翼は少しずつ小さくなっていき、ついに飛ぶ能力を失ったのだろう。

では、なぜ翼は完全に消えなかったのか？　種によっては、ほぼそうなっているものもある。たとえばキーウィの翼は、まるで機能しないこぶのようなものだ。しかし翼に新しい用途ができれば、ダチョウの場合のように、飛ぶことはできない形状ながらも自然淘汰によって保持されていくだろう。それ以外の種では、翼はひょっとしたら消失の過程にあって、現在の姿はその中間段階なのかもしれない。

翼のほか、眼が痕跡になるのもよくあることだ。穴や洞窟に棲む動物など、完全な暗闇で生活している動物はたくさんいるが、進化の樹形図をたどってみると、それらも祖先の種は地上で生活し、きちんと機能する眼をもっていた。翼と同じく、眼も必要がないかぎりはただの負担だ。構築にエネルギーを要するし、傷つきやすくもある。したがって眼の消失を促す突然変異は、何も見えないほど真っ暗な状況では明らかに利点となるだろう。あるいは視力を退化させる突然変異がその動物にとって益でも害でもなかったら、そうした変異が時間とともに蓄積していく可能性もあるだろう。

まさにそうした進化による眼の消失が、地中海東岸のメクラネズミの祖先に起こった。メクラネ

ズミは太くて短い足をもつ円筒形をした齧歯動物で、たとえて言うなら、毛皮に覆われたサラミソーセージに小さな口がついているようなものである。この動物は全生涯を地下で過ごすが、それでも眼の痕跡を残している。わずか一ミリメートルの微小な器官で、しかも皮膚の保護層の下に完全に隠れている。この残存物の眼は像を形成することもできない。メクラネズミはおよそ二五〇〇万年前に目の見える齧歯類から進化したことが分子的に証明されているが、その衰退した眼が祖先を示す何よりの証拠だろう。しかし、この遺物はなにゆえに残っているのだろうか。近年の研究によると、メクラネズミの眼には弱い光を感知できる光色素が含まれていて、それが一日の活動リズムを制御するのに役立っているらしい。地下にさしてくるわずかな光によって促されたこの残存機能のために、メクラネズミの痕跡眼は存在しているのだと考えられる。

形態も生活もメクラネズミとそっくりだが、齧歯動物ではなく食虫動物であるモグラも、やはり独自の理由から眼を失っている。頭部の毛皮をよりわけてみると、皮膚でふさがった痕跡器官が残っているのが見られるだけだ。同じように、一部の穴居性のヘビも、眼が完全にうろこの下に隠れている。洞窟動物の多くも、やはり眼を退化させたり消失させたりしている。これらのなかには魚（ペットショップで売っている盲目の洞窟魚など）もいるし、クモ、サンショウウオ、エビ、甲虫なども含まれる。一部の盲目の洞窟性ザリガニなどは、眼柄（がんぺい）がまだあるにもかかわらず、その先に眼がついていないのである！

クジラも痕跡器官の宝庫だ。多くの現生種が骨盤と後肢の痕跡を持っており、これらが第2章で

見たように、四足の陸上動物からクジラが派生したことの証となっている。博物館に展示されているクジラの全身骨格を見ると、たいてい小さな後肢と骨盤の骨が針金で骨格の本体からぶらさげられている。これは、クジラの現生種ではもはや後肢と骨盤の骨がほかの骨につながっておらず、組織のなかに埋め込まれてしまっているからである。かつては骨格の一部だったのだが、不要になった時点で切り離され、縮小していったというわけだ。動物の痕跡器官を列挙していけば、たちまち分厚いカタログができるだろう。若いころに甲虫を熱心に集めていたダーウィンも、一部の飛べない甲虫が融合した鞘翅（甲虫の「殻」）の下にいまだに後翅の痕跡を残していることに触れている。

われわれヒトも、進化を裏づける多くの痕跡的な特徴を持っている。最もよく知られているのは虫垂だろう。医学的には「虫様突起」といい（蠕虫のような形状をしているので）、大腸と小腸の接合部にある袋状になった盲腸の先端にぶらさがっている、鉛筆大の細長い円筒状の組織のことだ。多くの痕跡的な特徴の例にもれず、虫垂の大きさや発達の程度はじつにさまざまである。ヒトの場合、その大きさは三センチ程度のこともあれば三〇センチを超えることもある。虫垂が生まれつき備わっていないことさえ、まれにある。

コアラやウサギやカンガルーなどの草食動物は、われわれヒトに比べ、盲腸とその先端にある虫垂がかなり大きい。キツネザルやロリスやクモザルといった草食性の霊長類にしても同様だ。大きくなった袋状の盲腸は、発酵槽の役目を果たす（牛の「追加された」胃と同じである）。ここに含まれているバクテリアの働きにより、セルロースが分解されて吸収可能な糖に変わるのだ。一方、

草を常食にしていないオランウータンやマカクなどの霊長類では、盲腸と虫垂が退化している。ヒトの場合は、草を食べず、セルロースを消化する必要がないので、虫垂がなくなりかけている。つまり草食性でない動物ほど、盲腸と虫垂は明らかに小さくなっているわけだ。要するにヒトの虫垂は、草を食べていた祖先にとっては生命にかかわるほど重要だったが、現在ではもはや無価値になっている器官の名残ということになる。

では、ヒトの虫垂はまったくの役立たずなのだろうか。もし何か価値があるのだとしても、その価値はほとんど見えない。これを除去したからといって、とりたてて悪影響もなければ、死亡率が上がるわけでもない（むしろ取り去ったほうが大腸炎の発生率を下げられるように思える）。古生物学者のアルフレッド・ローマーが有名な教科書『脊椎動物のからだ』で虫垂について論じた際に、「そのおもな重要性は外科職員への金銭的支援にあるのでは」と冷ややかに述べているほどだ。しかし考えてみれば、虫垂にも多少の役割はあるのかもしれない。たとえば虫垂のある部分の組織は、免疫系の一部として機能している可能性がある。また、病菌感染によって消化系から有益な腸バクテリアが一掃されそうになったときに、虫垂がその避難所になるという説も出されている。

だが、やはりそれらのささやかな利点より、ヒトの虫垂につきものの深刻な問題のほうが大きいのは確実だ。なにしろヒトの虫垂は細いので詰まりやすく、閉塞がひどくなると菌に感染して炎症を起こす。いわゆる虫垂炎である。これを治療せずにおくと、虫垂が破裂して死に到ることもある。一生のあいだに虫垂炎にかかる確率は、およそ一五分の一だ。幸い進化史上のごく最近では、外科

処置が発達したおかげで、虫垂炎で死亡する確率はわずか一パーセントにすぎない。しかし炎症を起こした虫垂を医者が切除するようになった一九世紀よりも前は、死亡率が二〇パーセントを超えていたとも言われる。換算すれば、外科的除去がなされていなかった時代は一〇〇人に一人以上が虫垂炎で死んでいたわけだ。これはかなり強力な自然淘汰である。

ヒトの進化過程の大部分――九九パーセント以上――において、外科手術は存在しなかったのだから、われわれはずっと腸内に時限爆弾を抱えたまま生きていたことになる。虫垂のわずかな長所ととてつもない短所をはかりにかければ、虫垂を持っていても総合的にろくなことがないのは明らかだ。しかし良いか悪いかは別にして、虫垂が痕跡であることには変わりない。なぜならこれは、もはやこれが進化したときの機能を果たしていないからである。

それならなぜ虫垂はあいかわらず残っているのか。答えはまだわかっていない。じつはひょっとしたら消えかかっていたのに、外科手術が登場したことで、虫垂炎にかかった人への自然淘汰がほとんど排除されてしまったのかもしれない。あるいは単に、自然淘汰が虫垂をこれ以上縮小すると虫垂がさらに有害になってしまうので、縮小できなかったのだとも考えられる。虫垂が小さくなればなるほど、閉塞する危険が大きくなるからだ。それが進化上の障害となって虫垂の完全な消失を阻んだのかもしれない。

ヒトの体には、ほかにも霊長類の祖先の遺物がたくさんある。たとえば尾の痕跡だ。脊柱の末端をなす三角形の部分は尾骨（尾てい骨）といって、いくつかの融合した脊椎骨からなり、骨盤の下

にぶらさがっている。これがまさに、ヒトの祖先が持っていた有用な長い尾の名残である（図14）。尾骨にはいまでも機能がある（いくつかの有用な筋肉がこれに接着している）が、尾骨の痕跡たる理由はあくまでも、それが有用かどうかではなく、それがもともと進化したときの機能をもはや果たしていないことにある。じつをいえば、一部の人間には未発達の尾の筋肉（「後仙尾筋」）もあって、それはサルやその他の哺乳類の尾を動かしている筋肉とまったく同じものだ。この尾筋はいまでもヒトの尾骨に接着しているが、骨は動けないので、結局は無用な筋肉である。あなたもこれを持ちながら、その存在さえ知らないでいるのかもしれない。

また別の痕跡筋肉は、冬になると、その存在が明らかになる。あるいはホラー映画を見ているときもそうかもしれない。それは立毛筋といって、各所の体毛の基部に接着している微小な筋肉である。これが収縮すると、毛が立ち上がり、いわゆる「鳥肌」――羽をむしられたガチョウの皮膚に似ているので――を生じさせる。鳥肌にしろ、それを生じさせる筋肉にしろ、少なくともヒトにおいては有益な機能をまるで果たしていない。だが、ほかの哺乳類においては、気温が低いときに、これが毛皮を立ち上がらせて断熱の役目を果たさせる。また、ほかの動物を威嚇するときや自分が威嚇されたときに体を大きく見せるという作用もある。たとえばネコは、寒いときや怒ったときに毛を逆立てる。そして痕跡であるヒトの鳥肌も、まったく同じ刺激によって引き起こされる。すなわち寒さとアドレナリンの放出である。

最後にもう一つ例を挙げよう。もしあなたが耳を小刻みに動かせるとしたら、あなたは進化を実

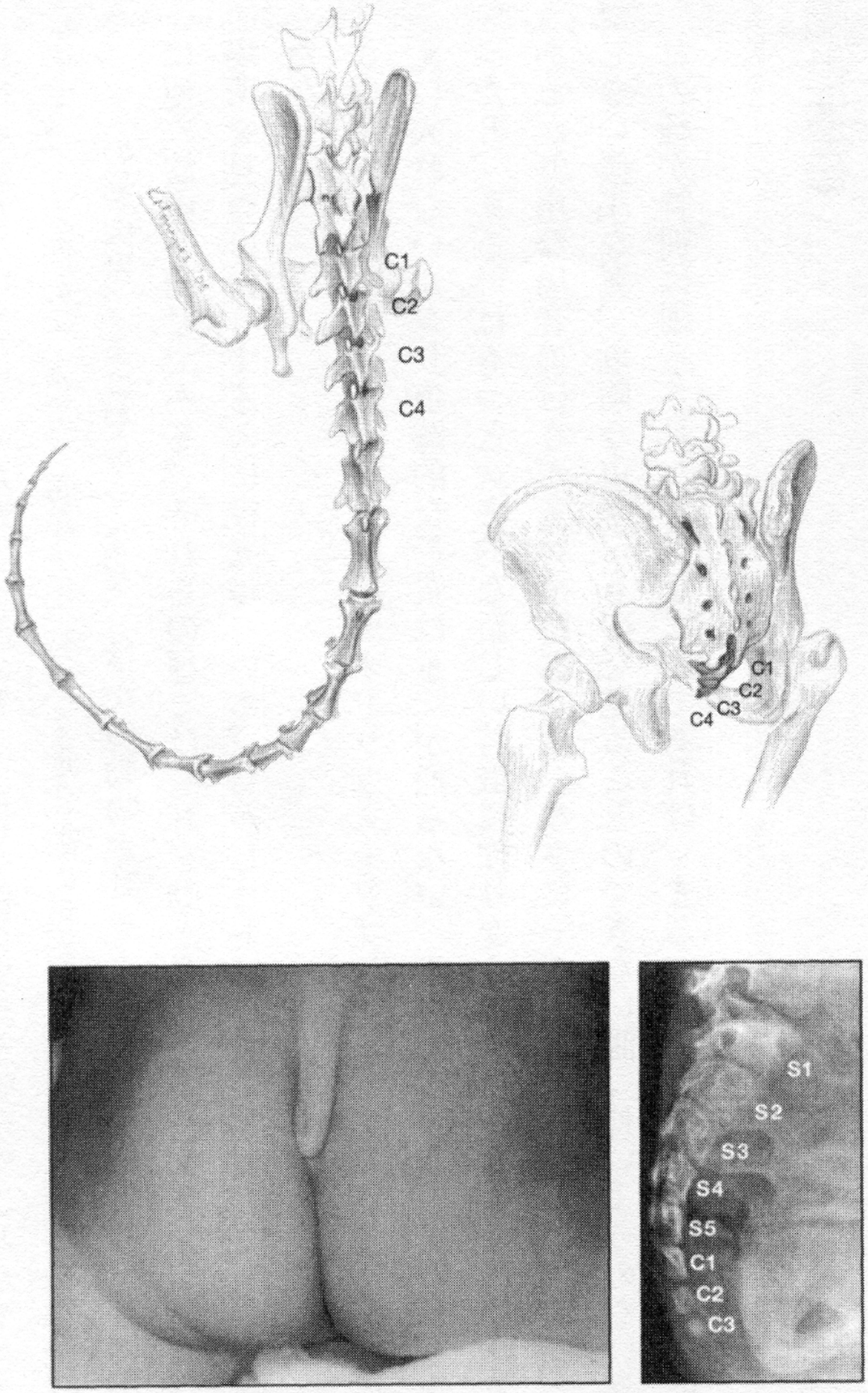


図 14　痕跡の尾と隔世遺伝の尾。上左：エリマキキツネザル（*Varecia variegates*）などの有尾猿では、尾椎が融合していない（最初の 4 つが C1 ～ C4 と呼ばれる）。しかしヒトの「尾」というべき尾骨（上右）では、尾椎が融合して痕跡構造を形成している。下：イスラエルの生後 3 カ月の幼児に見られる隔世遺伝の尾。尾の X 線画像（右）を見ると、3 つの尾椎が通常よりもはるかに大きく、発達していて、融合しておらず、仙椎（S1 ～ S5）の大きさにほぼ等しくなっている。この尾はのちに外科手術で除去された。

証している。われわれヒトの頭皮の下には耳に接着した三つの筋肉がある。ほとんどの個体においては役に立たない筋肉なのだが、一部の人はこれを使って耳を動かすことができる（ちなみに私はその幸運な人間の一人で、毎年この特技を進化論の授業で実演し、学生に大いにおもしろがられる）。この筋肉は、ネコやウマなど、ほかの動物が耳を上下左右に動かして音の出所をつきとめるのに使う筋肉と同じである。それらの種では、耳を動かすことが捕食者を察知したり、自分の子の居場所を見つけたりするのに役立っている。しかしヒトの場合は、他人を楽しませることにしか役立たない[16]。

この章の冒頭に掲げた遺伝学者のテオドシウス・ドブジャンスキーの言葉を借りると、進化論を考えに入れないかぎり痕跡的な形質は意味が通らない。自然淘汰が無用な特徴を漸進的に排除していったり、あるいはもっと適応的な新しい特徴に作り変えていったりするのであれば、有用な場合もあるが無用な場合のほうが多い痕跡器官は、まさにその過程の一端なのだろうと考えられる。機能しない微小な翼、危険な虫垂、ものを見ることのできない眼、使いようのない耳の筋肉は、それぞれの種が特別に創造されたと見なすのであれば、まるで意味をなさないではないか。

隔世遺伝

ときおり、ある個体に祖先の形質の再現のような変則的な特徴が不意に現れることがある。通常

よりひづめの数が多いウマが産まれてきたり、ヒトの赤ん坊に尾がついていたりするのだ。このような散発的に表出する祖先の特徴の名残を「隔世遺伝」、または「先祖がえり」(atavism)という。「祖先」を意味するラテン語(atavus)から来た言葉だ。すべての個体に現れるのではなく偶発的に生じるという点で、これは痕跡形質とは別のものである。

真の意味での隔世遺伝は、祖先の形質をそっくりそのまま再現しなければならない。これはただの奇形とは違うのである。たとえばヒトの赤ん坊に足が一本余計についていたとしても、それは隔世遺伝ではない。われわれの祖先に五肢の生物は存在しないからである。真の隔世遺伝の最も有名な例は、クジラの肢だろう。一部のクジラの種が骨盤と後肢の骨の痕跡を残しているのは前に見たとおりだが、およそ五〇〇頭に一頭の割合で、実際に体壁の外に突き出た後肢を持って産まれてくるクジラがいるのである。この後肢はどこをどうとっても立派にできていて、大腿骨、脛骨、腓骨といった陸生動物の主要な下肢骨をたいていしっかりと備えている。なかには足と足指を持つものまでいる!

このような隔世遺伝はなぜ起こるのだろう。いまのところ最も考えられそうなのは、祖先においては機能していた遺伝子が、ある時点で必要とされなくなって自然淘汰により沈黙させられていたのだが、のちにふたたび発現したことによって起こるという仮説である。このような休眠中の遺伝子は、発達の過程で何かが軌道からずれると不意に呼び覚まされることがある。クジラは今日でも後肢を形成する遺伝情報を持っており、その情報は使われないままゲノムにとどまっていた何百万

年ものあいだに劣化しているから、完璧な肢はできないかもしれないが、それでも肢は肢である。そしてこの情報がクジラにあるのは、クジラが四肢を持った祖先から派生しているからである。どのクジラにもある骨盤と同じように、この珍しいクジラの肢もやはり進化の証拠なのだ。

五本の足指を持った体の小さい祖先から派生している現代のウマにも、同じような隔世遺伝が見られる。ウマが長い時間のあいだに足指を次第に失っていったことは化石記録から立証されており、そのため現代のウマは真ん中の第三指――ひづめ――しか残していない。しかし発達当初、ウマの胚は三本の指を持っていて、いずれの指も同じ速度で成長することがわかっている。その後、真ん中の指だけがほかの指よりも速く成長しはじめ、産まれるころには、残りの二本は脚の両側に伸びる細長い副管骨として残るだけになる（その形状から、英語ではこれを「副木骨（スプリント・ボーン）」と呼ぶ。副管骨はまさしく痕跡的な特徴である。ここが炎症を起こすことを、英語では、ウマが「スプリントにかかったという）。しかし、ごくまれに、この残りの二本の指がそのまま発達を続け、ひづめも備えた本物の指になることがある。この先祖がえりの足指は、たいていウマが走らないかぎり地面に触れない。一五〇〇万年前のウマの古代種メリキップスが、まさにこのような姿をしていたと思われる。かつて余分な足指を持ったウマは、超自然的な奇跡の存在と見なされていた。ジュリアス・シーザーもアレキサンダー大王も、そうした驚異の馬に乗っていたと言われていた。実際、これはある種の奇跡だろう。この進化の奇跡は、古代のウマと現生のウマとの遺伝的な類縁関係をはっきりと示しているからだ。

われわれの種における最も衝撃的な隔世遺伝は「尾骨部の突起」、わかりやすく言えば、つまり人間の尻尾である。簡単に説明すると、発達の初期段階においてヒトの胚はかなりの大きさをした、魚のような尾を持っているが、これは発達の七週目ぐらいに入ると消えはじめる（骨と組織が体内に再吸収される）。しかし、非常に珍しいことだが、これが完全に後退せず、脊柱の基部から尾を突き出したままの赤ん坊が産まれてくる場合がある（図14で見たように）。この尾の形態はじつにさまざまだ。骨のない「軟らかい」尾もあれば、通常は融合して尾骨となるはずの椎骨がその尾に入っていることもある。短いものは二～三センチ程度だが、長いものだと三〇センチ近くまで及ぶ。しかも場合によっては、ただの垂れ下がった皮膚ではなく、毛や筋肉や血管や神経まで備えている。これを小刻みに動かすことさえできるのだ！　幸い、このような困った突起は外科手術で容易に切除できる。

なぜこのようなことが起こるかといえば、われわれがいまだに尾を形成する発達プログラムを持っているからとしか考えられない。実際に近年の遺伝子研究で、マウスなどの動物が持っている尾を形成する遺伝子とまったく同じものがヒトにもあることがわかってきた。しかしヒトの胎児においては、それらの遺伝子が通常は不活性化しているのである。つまりヒトの尾は、正真正銘の隔世遺伝であるようだ。

隔世遺伝は実験室で再現することもできなくはない。その最も驚異的な例が、珍しいものの典型とされるニワトリの歯だ。一九八〇年、コネティカット大学のE・J・コラーとC・フィッシャー

は、発達中のマウスの顎から取った組織の上にニワトリの胚の口内の組織を移植して、二つの種の組織をつなぎあわせた。すると驚いたことに、ニワトリの組織は最終的に歯のような構造を作り出した。歯根や歯冠までがはっきりと認識できた。下側のマウスの組織だけでは歯はできなかったので、マウス側の分子がニワトリのなかで眠っていた歯を形成する発達プログラムを呼び覚ましたのだろうとコラーとフィッシャーは推測した。つまり、ニワトリは歯を形成するのに必要な遺伝子をしっかり備えていたのだが、マウスの組織が提供できたような発現刺激を失っていたということだ。そして二〇年後、科学者によって分子生物学が解明され、コラーとフィッシャーの見方は正しかったことが明らかとなった。鳥類はたしかに歯を作り出す遺伝経路を持っているのだが、ある一つの決定的なタンパク質が足りないために歯を形成しない。そのタンパク質が供給されれば、くちばしに歯のような構造ができあがる。鳥類はもともと歯を持った爬虫類から進化していることを思い出してほしい。六〇〇〇万年以上前に鳥類は歯を失ったが、歯を形成する遺伝子は明らかに保持している。その遺伝子こそ、爬虫類だった祖先の遺物なのである。

死んだ遺伝子

隔世遺伝と痕跡形質は、ある形質が使われなくなったとき、あるいは退化したときでも、それを形成する遺伝子がすぐにゲノムから消失するわけではないことを示している。進化はそれらの遺伝

子を不活性化させることによって、その活動を中止させるだけで、それらをDNAから切り落としてはいないのだ。ここから一つの予言ができる。多くの種のゲノムのなかには不活性な遺伝子、いわば「死んだ」遺伝子が見つかるはずだ。その遺伝子はかつては有用だったが、もはや完全ではないか、あるいは発現しなくなっている。これは痕跡的な遺伝子と言ってもよい。逆に、もしもすべての種がゼロからつくられたとするなら、そのような遺伝子は存在しないことになる。それらの遺伝子が活性化していた共通の祖先が存在しないからである。

三〇年前には、DNAコードを解読するすべがなかったため、この予言は検証のしようがなかった。しかし現在では、種の全ゲノムの配列を決定するのがかなり容易になっており、実際にヒトを含めた多くの種で解読が完了している。これは進化研究にとって貴重なツールだ。というのも、遺伝子の通常機能はタンパク質を作ることであり、そのタンパク質のアミノ酸配列は、DNAを構成しているヌクレオチド塩基の配列によって決まる。ある任意の遺伝子のDNA配列がわかれば、たいていの場合、その遺伝子が正常に発現しているか――つまり有効に機能しているタンパク質を作っているか――どうか、それとも沈黙していて何も作っていないかどうかがわかる。たとえば、突然変異によって遺伝子が変化したために有効なタンパク質が作られなくなっているのかどうか、あるいは遺伝子をオンにする「コントロール」領域が不活性化されているのかどうかが判明するわけだ。いずれにしろ遺伝子が有効に機能していない場合、その遺伝子は「偽遺伝子」と呼ばれる。

実際、そのような偽遺伝子が見つかるだろうという進化論の予言はすでに十分に立証されてきた。

ほぼすべての種は死んだ遺伝子を内包しており、その遺伝子の多くは、類縁の種においてはあいかわらず活性化している。ということは、これらの遺伝子は共通祖先においても活性化していたはずで、それが子孫のある種においては無事に生きているが、ある種においては死に絶えた状態になっている[17]。たとえばヒトの場合は、約三万個の遺伝子のうち、二〇〇〇個以上が偽遺伝子だ。われわれのゲノムは――もちろんほかの種にしても同様だが――まさしく死んだ遺伝子が累々と埋められた墓場なのである。

最も有名なヒトの偽遺伝子はGLO遺伝子だ。ほかの種では、これがLグロノガンマラクトン酸化酵素（オキシダーゼ）（*L-gulono-γ-lactone oxidase*）を作る遺伝子なのでそう呼ばれている。この酵素は単純なブドウ糖からビタミンC（アスコルビン酸）を作るのに使われる。ビタミンCは正常な代謝に不可欠なもので、ほぼすべての哺乳類はこれを作るための経路を持っている――が、霊長類とオオコウモリとテンジクネズミだけはそれを持っていない。これらの種では、ビタミンCは食物から直接摂取され、普通は常食で充分に必要量が摂れるようになっている。ビタミンCが充分に摂取されないと、個体は病気になる。たとえば果物が不足しがちだった一九世紀の船員は、しばしば壊血病にかかっていた。なぜ霊長類をはじめとするごく一部の種は自分でビタミンCを作れないのかといえば、単にその必要がなかったからだ。しかし実際、DNA配列を調べてみると、霊長類はいまでもビタミンCを作るのに必要な遺伝情報のほとんどを備えている。

ブドウ糖からビタミンCを作る経路には四つの段階があり、各段階はそれぞれ別の遺伝子の産物

によって促されることがわかっている。霊長類とテンジクネズミの場合、最初の三つの段階を踏むのに必要な遺伝子は今日でも活性化している。しかし、最後の段階が起こらない。このときに必要になるのがＧＬＯ酵素だが、それを作るＧＬＯ遺伝子が突然変異によって不活性化されているからだ。この遺伝子は偽遺伝子となっており、ψＧＬＯと呼ばれている（ψはギリシャ文字で「プサイ（psi）」と読み、「偽（pseudo）」を意味する）。ψＧＬＯが働かないのは、この遺伝子のＤＮＡ配列にヌクレオチドが一つ足りないからだ。そして、それとまったく同じヌクレオチドがほかの霊長類においても欠落しているのである。つまり、ヒトのビタミンＣを作る能力を破壊した突然変異体は全霊長類の祖先に存在していたもので、それが代々子孫に受け渡されたということになる。テンジクネズミのＧＬＯの不活性化には、また別の突然変異体が関わっているので、これはこれで独立して起こったものだ。おそらくオオコウモリにしろテンジクネズミにしろ霊長類にしろ、常食にビタミンＣがたっぷり含まれているので、ビタミンＣを作る経路が不活性化されていてもなんら支障がなかったのだろう。むしろ、作るのに相当のコストがかかっていたかもしれないタンパク質が排除できて、かえって好都合だったとも考えられる。

ある種においては死んでいるのに類縁の種では活性化されている遺伝子は、進化の一つの証拠だが、ただそれだけではない。現生種のψＧＬＯを調べてみると、その配列は類縁関係が近いほどよく似ている。たとえばヒトとチンパンジーのψＧＬＯの配列は互いによく似ているが、類縁関係の遠いオランウータンのψＧＬＯの配列はそこまで似ていない。さらに言えば、テンジクネズミのψ

ＧＬＯの配列はあらゆる霊長類とまるで異なっている。

進化と共通祖先だけがこれらの事実を説明できる。かつて、あらゆる哺乳類はきちんと機能するＧＬＯ遺伝子のコピーを受け継いでいた。しかし約四〇〇〇万年前に、全霊長類の祖先において、もはや必要のなくなった遺伝子が突然変異によって不活性化した。そして全霊長類がその不活性化した遺伝子を受け継いだ。ＧＬＯが沈黙したのちも、この発現しなくなった遺伝子には別の突然変異が起こり続けた。そうした変異が長い時間のあいだに蓄積しながら――すでに死んだ遺伝子なので変異が起こっても害はないまま――子孫の種に伝えられていった。種は類縁関係が近いほど共通祖先を近い過去に持っているから、時間の経過とともに変化する遺伝子が共通祖先のパターンを踏襲していれば、当然ながら類縁関係が近いほどＤＮＡ配列は似てくる。これは遺伝子が死んでいようといまいと関係ない。テンジクネズミのψＧＬＯの配列がまるで異なっているのは、その遺伝子が霊長類とはとうの昔に分岐している系統のなかで、独立して不活性化したからだ。そして、このようなパターンを示すのはψＧＬＯだけではない。ほかにも多くの同じような偽遺伝子が存在する。

だが、もしも霊長類とテンジクネズミがそれぞれ特殊に創造されたと考えるなら、これらの事実は筋が通らない。なぜ創造主はこれらすべての種にビタミンＣを作る経路を与えておきながら、それをわざわざ不活性化させるのか？　最初からその経路全体をなくしておくほうがよほど簡単ではないか？　なぜ全霊長類とテンジクネズミでは、不活性化の原因になる突然変異体が別物なのか？　なぜ死んだ遺伝子のＤＮＡ配列が、それらの種の既知の祖先から予測される類似のパターン

をそっくりそのまま踏襲しているのか？　第一、なぜヒトは何千個もの偽遺伝子を持っているのか？

しかも、われわれは別の種からもらった死んだ遺伝子まで内包している。すなわちウィルスである。そのうち「内在性レトロウィルス」と呼ばれるものは、自らのゲノムのコピーを作って、それを感染した種のＤＮＡに組み込むことができる（ＨＩＶはレトロウィルスの一つだ）。このウィルスが精子や卵子を作る細胞に感染すると、ウィルスは未来の世代にも受け継がれる。ヒトゲノムはそうしたウィルスを何千個も含んでいるが、そのほぼすべては突然変異によって無害化されている。それらは大昔の感染の遺物なのだ。しかし、そうした遺物のいくつかはヒトとチンパンジーの染色体のまったく同じ場所に位置している。これらは明らかにヒトとチンパンジーの共通祖先に感染したウィルスで、それが双方の子孫に受け継がれているのだ。ウィルスが二つの種の染色体のまったく同じ位置に独立して入り込む確率などほとんどゼロに近いから、共通祖先に感染したのでなければ筋が通らない。

死んだ遺伝子に関するもう一つの興味深い話は、われわれの嗅覚、というより、われわれのお粗末な嗅覚に関わるものだ。われわれヒトは、陸生哺乳類のなかで際立って鼻が利かないのである。しかしながら、それでもわれわれは一万種類以上の匂いを嗅ぎ分けられる。どうしてそんな芸当が可能なのだろう。最近まで、これはまったくの謎だった。答えはわれわれのＤＮＡにある。さらに厳密に言えば、そのうちの多数の嗅覚受容体（ＯＲ）遺伝子にある。

嗅覚受容体というものを解明したリンダ・バックとリチャード・アクセルは、その偉業により二〇〇四年のノーベル賞を受賞した。では、ヒトと違って際立って鼻が利くマウスを例にとってOR遺伝子を見てみよう。

マウスは餌を見つけたり捕食者を避けたりするときだけでなく、別のマウスのフェロモンを感知するときにも、嗅覚に大きく依存している。マウスの感覚世界は、匂いよりも視界のほうがはるかに重要なわれわれとは相当に異なる。マウスには約一〇〇〇個の活性化したOR遺伝子が備わっている。それらはすべて、何百万年も前に生じた一個の祖先の遺伝子に由来するもので、長いあいだに何度となく複製されてきたため、それぞれが少しずつ異なっている。その各遺伝子がそれぞれ別のタンパク質、すなわち「嗅覚受容体」を作り、それらが空中に浮遊する分子を認識する。それぞれのORタンパク質は、鼻の内側の組織にある異なった種類の受容体細胞に発現する。さまざまな匂いはそれぞれ違う分子の組み合わせからなっており、その組み合わせがそれぞれ別の細胞群を刺激する。各細胞から脳に信号が送られると、脳はさまざまな信号を統合して解読する。このようにして、マウスはネコの匂いとチーズの匂いを識別する。信号の組み合わせを統合することによって、マウス（および、ほかの哺乳類）は自分の持っているOR遺伝子よりもはるかに多くの匂いを認識できる。

さまざまな匂いを認識できる能力は、言うまでもなく役に立つ。これによって同族をそうでないものと区別できるし、配偶者を見つけるのも、餌のありかをつきとめるのも、捕食者を察知するの

も、誰が自分のテリトリーに侵入してきたかを知るのも可能になる。生存上の利点は計り知れない。この能力を自然淘汰はどうやって開発したのだろうか？　まず、祖先の遺伝子が何度となく複製された。そうした複製が、ときたま偶然にして細胞分裂のときに起こる。そのうちに複製されたコピーがそれぞれ異なっていって、別々の匂い分子と結びついた。そして一〇〇〇個のＯＲ遺伝子のそれぞれに対応する異なった種類の細胞が進化する。それと同時に、脳がさまざまな種類の細胞からの信号を組み合わせて異なる匂いの知覚を生じさせるように配線しなおされた。なんと驚くべき進化の芸当だろう！　これが促進されたのも、鼻が利くことに生存上の価値があったからにほかならない。

一方、われわれヒトの嗅覚は、マウスのそれとは程遠い。理由の一つは、発現しているＯＲ遺伝子がはるかに少なく、四〇〇個程度しかないことにある。ただし、ヒトのＯＲ遺伝子自体は全部で八〇〇個ほどあり、全ゲノムの三パーセント近くを占めている。そのまるまる半分が偽遺伝子で、突然変異により永久に不活性化されているのだ。これはほかのほとんどの霊長類においても同じである。なぜそのようなことになったのだろう。おそらく、われわれ霊長類は日中に活動するために、嗅覚よりも視覚に依存するから、それほど多くの匂いを嗅ぎ分ける必要がないのだろう。必要のない遺伝子は最終的に突然変異によってなきものにされる。したがって、色覚を持つ霊長類は環境の識別能力も高いため、死んだＯＲ遺伝子の数が多いのである。

ヒトのＯＲ遺伝子の配列を、活性化しているものも不活性化しているものも含めて見てみると、

ほかの霊長類のパターンに最もよく似ていて、カモノハシのような「原始的」な哺乳類とはそれほど似ておらず、爬虫類のような遠い類縁とはさらに似ていない。もし進化が原因でなかったら、なぜ死んだ遺伝子がそのような関係を示すだろう。そして、われわれがこれだけ多くの不活性化した遺伝子を持っているということ自体、進化のさらなる証拠である。われわれがこの遺伝的お荷物を持っているのは、生き残るために鋭い嗅覚に頼らなければならなかった遠い祖先において、それが必要とされていたからだ。

だが、ＯＲ遺伝子の進化――というより非・進化――を何よりも衝撃的に表しているのはイルカである。水中で生活するイルカは、空中に漂う不安定な匂いを感知する必要がないため、まったく別の種類の、つまり水中の化学物質を感知するための一連の遺伝子を備えている。となると、イルカのＯＲ遺伝子は不活性化されていると予測するのが妥当だろう。そしてそのとおり、イルカのＯＲ遺伝子は八〇パーセントが不活性化されている。イルカのゲノムには数百個のＯＲ遺伝子がいまも静かに存在しているが、それこそ進化の無音の証拠だ。これらの死んだ遺伝子のＤＮＡ配列を調べてみると、陸生哺乳類のＤＮＡ配列にとてもよく似ているのがわかる。それもそのはず、もともとイルカは、水に入った時点でＯＲ遺伝子が無用になった陸生哺乳類から進化しているからである。[18]もしイルカが特殊に創造されたのなら、こうした類似は起こりようがない。

痕跡的な遺伝子は、痕跡的な構造と切り離せない関係にある。われわれ哺乳類は、卵を産む爬虫類の祖先から進化した。「単孔類」（現生種ではオーストラリア産のハリモグラとカモノハシのみを

含む哺乳類の一目）は別として、ほかの哺乳類はすべて産卵をしなくなり、母体は卵黄の貯蔵庫を用意する代わりに胎盤からじかに子に栄養を与えるようになった。爬虫類と鳥類においては三つの遺伝子からビテロゲニンというタンパク質が作られて、それが卵黄嚢を満たして子の栄養分となるのだが、じつは哺乳類にも、このビテロゲニンを作る三つの遺伝子が備わっている。ただし、ほぼすべての哺乳類でそれらは死んだ遺伝子となっており、突然変異によって完全に不活性化されている。卵を産む単孔類だけが一個の活性化した遺伝子と二個の不活性化した遺伝子を持っていて、いまでもビテロゲニンを産出する。しかしながら、話はここで終わらず、哺乳類はわれわれヒトも含めて、いまだに卵黄嚢を作っている。ただ、それは痕跡器官であり、卵黄は入っておらず、液体の詰まった大きな風船のようになって胎児の内臓に接着している（図15）。ヒトの場合、妊娠二カ月目で卵黄嚢は胚から切り離される。

カモのようなくちばし、分厚い尾、オスの後肢にある毒性を含んだ蹴爪、そしてメスの産卵能力など、オーストラリア産のカモノハシには多くの奇妙な特徴がある。もしもインテリジェントデザインをされているかのように――むしろ創造主が面白半分でひねりだしたかのように――見える生物があるとするなら、カモノハシはまさしくそれだ。しかし、カモノハシにはもう一つ変わった特徴がある。胃が欠落しているのだ。ほぼすべての脊椎動物は袋状の胃を持っていて、そこで消化酵素が食物を分解するのだが、カモノハシの「胃」は、腸に連結した食道の一部分がわずかに膨らんでいるにすぎない。この胃には、他の脊椎動物において消化酵素を分泌する腺が完全

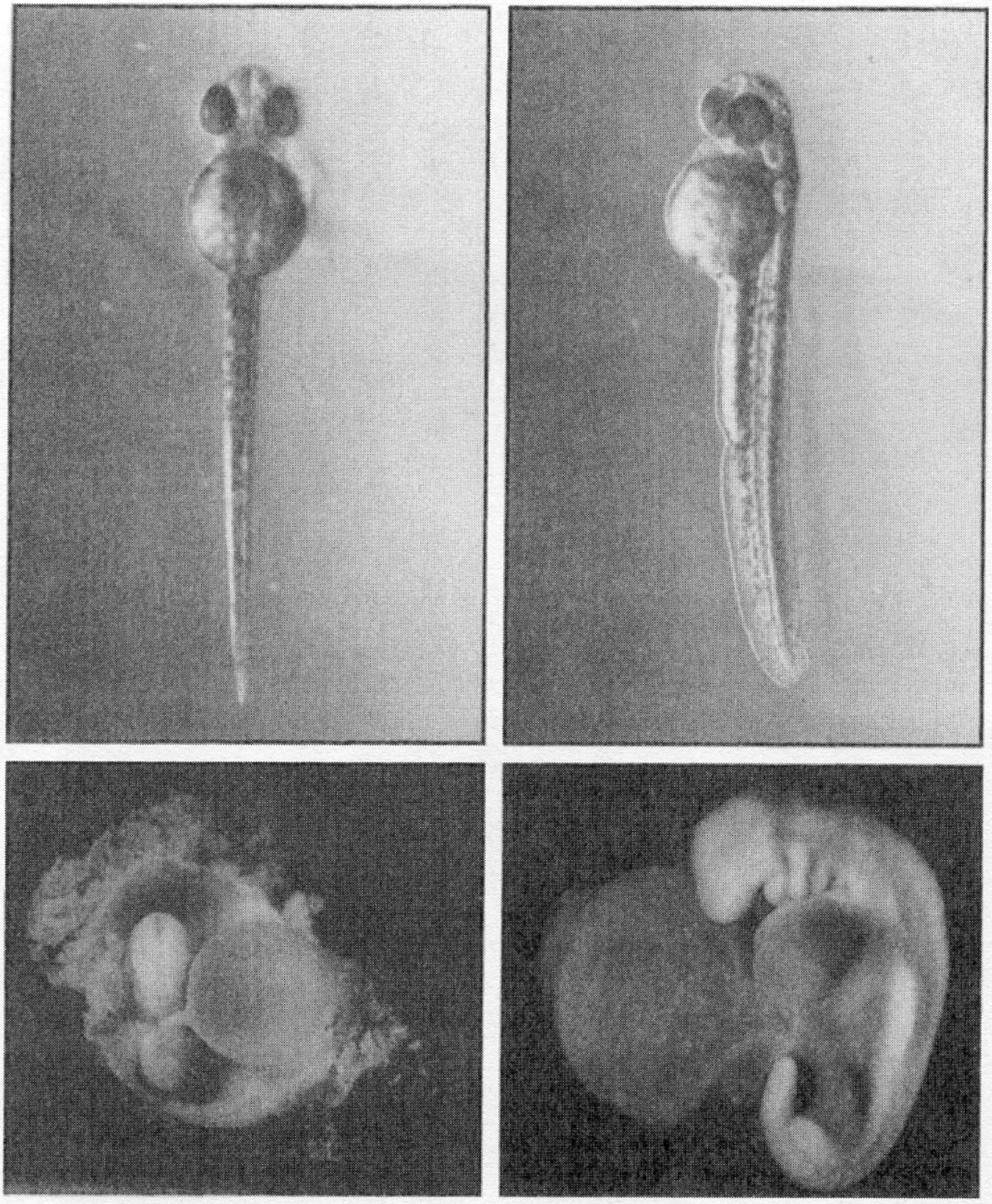


図 15　正常な卵黄嚢と痕跡的な卵黄嚢。上：受精後 2 日目、孵化直前の卵嚢から取り出されたゼブラフィッシュの胚。中身の詰まった卵黄嚢を持つ。下：受精後約 4 週目のヒトの胚。卵黄嚢は空洞の痕跡器官。右下のヒトの胚には、鰓弓、後肢芽、後肢の下の「尾」が見える。

に欠如している。なぜ進化がカモノハシの胃をなくしてしまったのかは定かでない――ひょっとすると軟らかい昆虫を常食としていたため、加工処理が大して必要でなかったのかもしれない――が、ともあれ、カモノハシの祖先が胃を持っていたことは間違いない。なぜかといえば、カモノハシのゲノムには消化に関わる酵素をつくる偽遺伝子が二つ含まれているからだ。それらの遺伝子はもはや不要となったため、突然変異によって不活性化されているが、この奇妙な獣の進化の証拠として現在に残っている。

胚のなかのパリンプセスト

ダーウィンの時代よりもずっと前から、生物学者は発生学（動物がどのように発達するか）と比較解剖学（さまざまな動物の構造における類似性と相違性）の双方を熱心に研究していた。その過程で研究者は多くの奇妙なことを発見したが、それらは当時の知識ではどうにも説明がつかなかった。たとえば、あらゆる脊椎動物はみな同じようなかたちで発達を始める。最初はどれも魚の胚と同じような形態をしているのだ。しかし発達が進むにつれ、異なる種はそれぞれに分かれはじめる――が、その分かれ方がなんとも変わっている。血管や神経など、最初の時点ではすべての種の胚に存在していた器官がいきなり消滅したり、あるいは不可解な歪曲や移動をしたりする。そして最終的に、発達はさまざまな曲折を経て、まったく異なる魚類、爬虫類、鳥類、両生類、哺乳類の成

体形を生み出す。しかしながら発達が始まったときは、このどれもが非常に似通った姿をしているのだ。こうした脊椎動物の胚の相似性に、ドイツの偉大な発生学者カール・エルンスト・フォン＝ベーアが困惑した逸話をダーウィンが伝えている。フォン＝ベーアはダーウィンに宛ててこう書いていた。

私の手元に二つの小さなアルコール漬けの胚があるのだが、ついその名札を付け忘れていたせいで、いまとなっては、それらがどの分類に属するものだかまったくわからなくなっている。トカゲかもしれないし、小型の鳥かもしれないし、あるいはきわめて幼形の哺乳類かもしれない。頭部と胴体部の形成様式があまりにも似ていてわからないのだ。

このときも、当時の教科書に満載されていた発生学に関する首尾一貫しない事実に整合性を与え、発達の不可解な特徴が進化という統一概念のもとでは一転して完璧に意味をなすことを示してみせたのがダーウィンだった。

胚というのは、分類の異なる各動物の共通の親の形態を多かれ少なかれ体現したものなのだと見なしたなら、発生学はじつに興味深いものとなる。

手始めに、あらゆる脊椎動物の胎児が魚のような形態をしていることから考えてみよう。いずれの胎児も四肢がなく、魚のような尾をはっきりと示している。そうした魚のような特徴のなかでもおそらく最も印象的なのは、胚の両脇、のちに頭となる部分の近くに並んでいる、溝によって隔てられた五～七個の袋状の膨らみである。この膨らみを鰓弓（さいきゅう）という（図16）。それぞれの鰓弓には、のちに神経や血管や筋肉や骨や軟骨に発達する組織が入っている。魚やサメの場合は、胚が発達するにつれ、第一鰓弓が顎になり、残りが鰓（えら）構造になる。膨らみのあいだの割れ目が開いて鰓裂（さいれつ）となり、膨らみのほうは鰓の動きを制御する神経、水から酸素を取り出す血管、鰓構造を支える骨や軟骨に発達する。つまり魚やサメにおいては、胚の鰓弓から成体の鰓へと、かなり直接的に発達が進む。胚の特徴的な部分が大して変化せず、そのまま大きくなって成体の呼吸器を形成する。

一方、ほかの脊椎動物においては、成体が鰓を持たないので、胚の鰓弓は成体の頭部を構成するさまざまな構造に変化していく。哺乳類の場合なら、三つの小さな中耳骨、耳管（エウスタキー管）、頸動脈、扁桃腺、喉頭、脳神経を形成することになる。まれにヒトの胚で鰓裂がふさがりそこなって、頸に嚢包のできた赤ん坊が産まれることもある。これは外科手術で直せるが、もとはと言えば、魚のようであったわれわれの祖先の隔世遺伝的な遺物なのである。

血管の発達も、われわれにおいてはとりわけ奇妙なねじれかたをする。魚やサメでは、胚の血管のパターンはほとんど変化することなく成体の血管系に発達していく。しかし、ほかの脊椎動物では発達とともに血管があちこちに移動して、その一部が消滅することもある。われわれ哺乳類の場

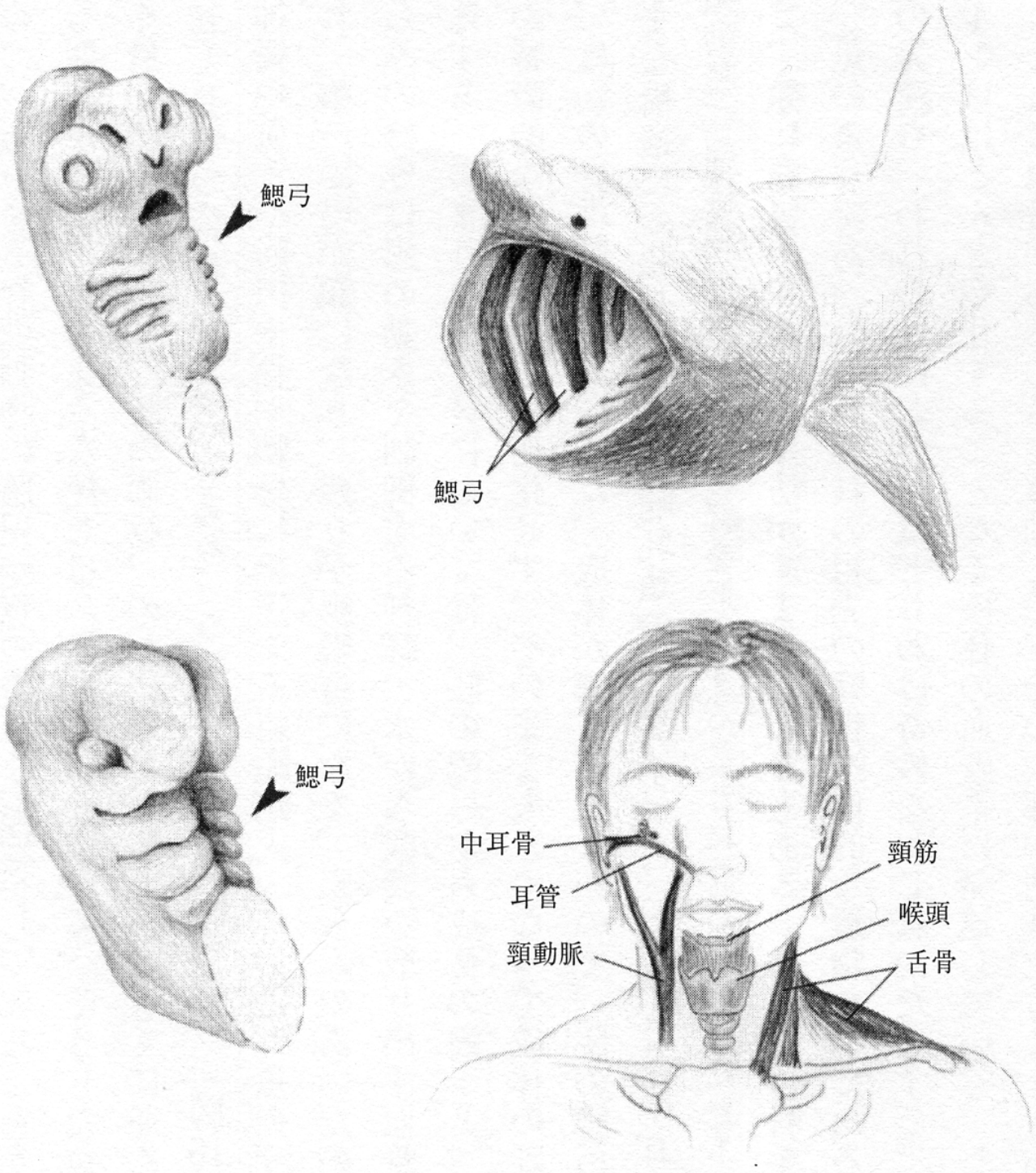


図 16　サメの胚（左上）とヒトの胚（左下）の鰓弓。サメや魚（右上のウバザメなど）の場合、鰓弓は発達するとそのまま成体の鰓構造になるが、ヒト（および、その他の哺乳類）の場合は、鰓弓が発達して成体の頭部と上半身のさまざまな構造に変わっていく。

合なら、もともとあった六本の血管のうち三本の主要血管しか残らない。しかし何より奇妙なのは、こうした発達が進むにつれての変化が、進化の一連の流れを映したようになっていることだ。われわれ哺乳類の胚の循環系は、もともとは魚類と同じようなものだったが、やがて両生類の胚の循環系に似たものに変わっていく。両生類においては、この胚の血管がそのまま成体の血管になるが、われわれの場合はさらに変化を続けて、爬虫類の胚の循環系に似たものになっていく。爬虫類においては、この循環系が発達してそのまま成体の循環系になる。しかしわれわれの場合は、またさらに変化して、もういくつかのひねりを加えたのちに、頸動脈と肺動脈と背動脈を備えた正真正銘の哺乳類の循環系となる（図17）。

こうした変化のパターンはいくつもの疑問を呼ぶ。まず、最終的にはまったく違った形態となる各種の脊椎動物が、どうして一様に魚のような胚から発達を始めるのか？　哺乳類の頭と顔が、どうして魚の鰓となる胚構造とまったく同じものから形成されるのか？　脊椎動物の胚はどうしてこんなねじれた過程を経て循環系を変化させるのか？　ヒトの胚は――トカゲの胚でもよいが――どうして成体の循環系を最初から備えたまま発達しないのか？　どうしてわざわざ前に発達したものを何度も変えていかなければならないのか？　そして、われわれの発達の流れはどうして祖先の順番（魚類、両生類、爬虫類、哺乳類）をそっくり模しているのか？　ダーウィンが『種の起源』で論じているように、これはヒトの胚が発達の過程で、いちいち適応しなければならない一連の環境、つまり魚類のような環境や爬虫類のような環境を経るからではない。

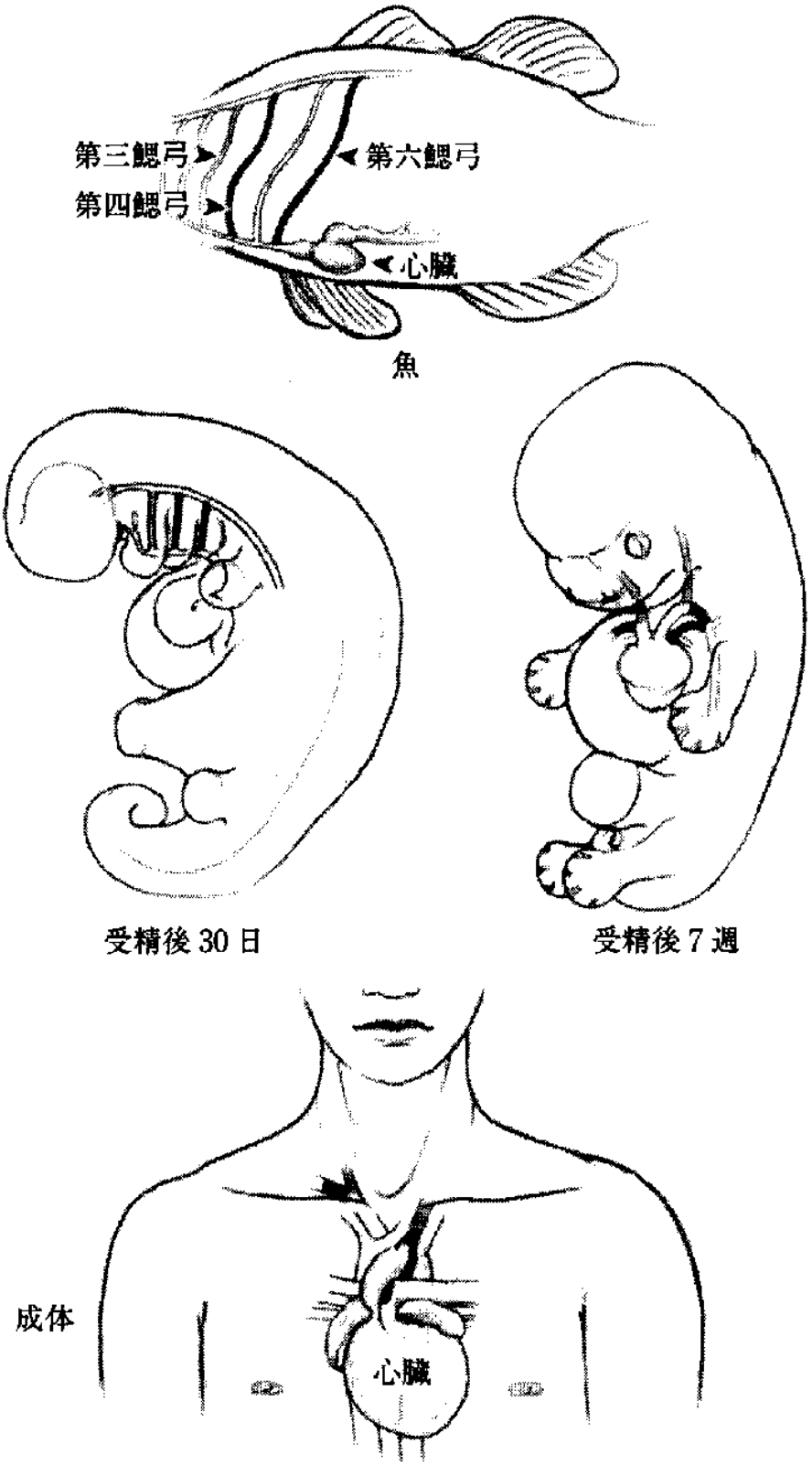


図17 ヒトの胚の血管は、もともとは魚類の胚の血管に似ており、上下の血管がそのあいだの並行した数本の血管（「大動脈弓」）で結ばれている。魚においては、この側面の血管が鰓とつながって血液の出し入れをしている。魚は胚でも成体でも6対の鰓弓を持ち、これがあらゆる脊椎動物の発達当初に見られる基本的な設計図をなす。ヒトの胚では、発達当初に第一、第二、第五鰓弓が一時的に形成されるが、4週目には消滅し、代わって第三、第四、第六鰓弓（影の濃さで区別されている部分）が形成される。7週目には、胚の鰓弓が位置を変えて爬虫類の胚の血管とそっくりな形状になっている。最終的な成体では、血管はさらに位置が変わっており、一部は消失し、一部は変形して別の血管になっている。魚の大動脈弓はこのような変化を経ることはない。

同じ綱に属するさまざまな動物の胚は、その構造において互いに似通っている部分があるが、それはその動物が目下どういう状態にあるかということとは、たいてい直接的な関連を持たない。たとえば脊椎動物の胚には、鰓裂の近くにループ状に走る動脈があるが、これが似たような状態、つまり哺乳類の胎児が母親の子宮のなかで育てられている状態や、鳥の卵が巣のなかで抱かれている状態や、カエルの卵が水中にいる状態と関連しているとは考えられない。

このような進化段階の「反復」は、ほかの器官、たとえば腎臓の発達段階にも現れている。ヒトの胚は発達の過程で、なんと三種類の腎臓を順番に形成するのだ。最初の二つは廃棄され、そのうち最後の腎臓が現れる。しかも、その一時的な胚の腎臓は、われわれの前に進化した二つの種、すなわち無顎魚類と爬虫類それぞれの化石記録に見られる腎臓によく似ている。これはどういうことなのだろうか?

この問いに表面的に答えるなら、次のようになる。脊椎動物はそれぞれ一連の発達段階を経るが、その各段階がたまたま祖先の進化の段階と同じようになっている。したがって、たとえばトカゲは魚の胚のような形状から発達を始め、やがて両生類の胚のような形状を経由して、最終的に爬虫類の胚の形状にいたる。哺乳類も同じ段階を経由していくが、最後にもう一つ、哺乳類の胚の段階が追加される。

この答えは間違いではないが、さらに深い疑問を呼ぶだけだ。なぜ発達はわざわざそのように進

むのか？　なぜ自然淘汰はヒトの発達から「魚の胚」の段階を排除しないのか？　尾も、魚のような鰓弓も、はたまた魚のような循環系も、ヒトの胚にとっては不要にしか見えないではないか？　なぜわれわれは最初から――一七世紀の一部の生物学者が考えていたように――微小なヒトとして発達を始めないのか？　それがただ大きくなって産まれてくればよいのではないか？　この度重なる変容や移動は、いったい何のためなのか？

考えられる答えは――しかもかなり信憑性がありそうなのは――ある種が別の種に進化するときに、子孫は祖先の発達プログラム、すなわち祖先の構造を形成する全遺伝子を受け継ぐのだろうというものだ。そもそも発達は非常に保守的なプロセスである。発達後期に形成される構造の多くは、その前に現れている特徴からの生化学的な「ゴーサイン」を必要とする。たとえば、循環系を発達の最初の段階から下手にいじって改造しようとすれば、変える必要のない骨などの別の構造の組成にもろもろの不都合な副作用を与えてしまうかもしれない。そうした有害な副作用を起こさないためには、すでにしっかりとできあがっている基本的な発達プランの上に、それほど抜本的でない変更をいくつか加えていくほうがよほど円滑である。あとで進化したものにとっては、胚のあとの段階で発達するようにプログラムされているほうが好都合なのである。

この「古いものの上に新しいものを加える」原則は、発達にともなう変化の段階が生物の進化の段階をそっくり反映している理由の説明にもなっている。あるグループが別のグループから進化するときには、たいていその発達プログラムを古いプログラムの上に追加しているのだ。

この原則に気づいた、ダーウィンと同時代のドイツの進化論者エルンスト・ヘッケルは、一八六六年に「生物発生の法則」を考案した。これを要約したものが、有名な「個体発生は系統発生を反復する」という一節である。つまり生物の発達は、その生物の進化の歴史をそのまま再現しているということだ。しかしこの考えは、ある限られた文脈でしか正しくない。胚の各段階は、ヘッケルが主張したように祖先の成体形に似ているのではなく、祖先の胚の形態に似ているのである。たとえばヒトの胎児は魚類や爬虫類の成体とは決して似ていないが、ある部分ではたしかに魚類や爬虫類の胚に似ている。また、この反復は厳密でもなければ不可避でもない。祖先の胚のすべての特徴が子孫に現れるわけではなく、発達のすべての段階が厳密に進化の順序に沿うわけでもない。さらにいえば、植物のような一部の種は、その祖先の足跡のほぼすべてを省いて発達していく。いまやヘッケルの法則はすっかり評判を落としているが、それはこの法則が厳密に正しくはなかったからだけでなく、ヘッケルが初期の胚の図を捏造して実際よりも似て見えるようにしたとして、かなり不当に非難されたからでもある[19]。ともあれ、細事にこだわり大事を逸するなかれとの言葉もある。胚がある種の反復を示しているのは事実なのだ。進化の過程で早くに生じる特徴は、発達においてもたいてい早くに現れる。種の進化の歴史を考えなかったら、これは不可解以外のなにものでもない。

とはいえ、一部の種が自らの進化の歴史の大部分をなぜか発達過程にとどめている理由は、完全にはわかっていない。「古いものの上に新しいものを加える」原則はいまのところ一つの仮説、す

なわち胚発生の実情に対する一つの説明にすぎない。ある進化のしかたが別の進化のしかたよりも発達プログラムにとって容易なのかどうかは、なかなか証明し難い。しかし胚発生の現状はこのようになっており、それは進化に照らして初めて意味をなす。あらゆる脊椎動物が魚のような胚から発達を始めるのは、あらゆる脊椎動物が魚のような胚を持つ魚のような祖先から派生しているからなのだ。発達過程が奇妙にねじれていて、一部の器官や血管や鰓裂が消滅したりするのは、子孫がいまだに祖先の遺伝子と発達プログラムを保持しているからなのだ。そう考えれば、発達にともなう一連の変化も納得がいく。発達のある段階で、哺乳類は爬虫類の胚と同じような循環系を持っている。だが、その逆は見たことがない。なぜなら哺乳類は初期爬虫類から派生しているが、逆に爬虫類が哺乳類から派生してはいないからである。

ダーウィンは『種の起源』を書いた当時、胚発生こそが進化の何よりも強力な証拠であると見なしていた。今日なら、おそらくダーウィンもその座を化石記録に譲るだろう。しかしながら、科学は進化の裏づけとなる発達関連の興味深い特徴を蓄積しつづけている。たとえばクジラやイルカの胚は、後肢芽という組織の膨らみを形成する。これが四足の哺乳類においては、のちに後肢に発達する。しかし海洋哺乳類においては、後肢芽は形成されたのち、すぐに再吸収されてしまう。図18は、マダライルカの発達における後肢芽の退行を示したものだ。また、ヒゲクジラの歯も同じような一例である。ヒゲクジラには歯がないが、その祖先のクジラには歯があった。ヒゲクジラの胚は歯を発達させるが、これも産まれる前に消滅してしまう。

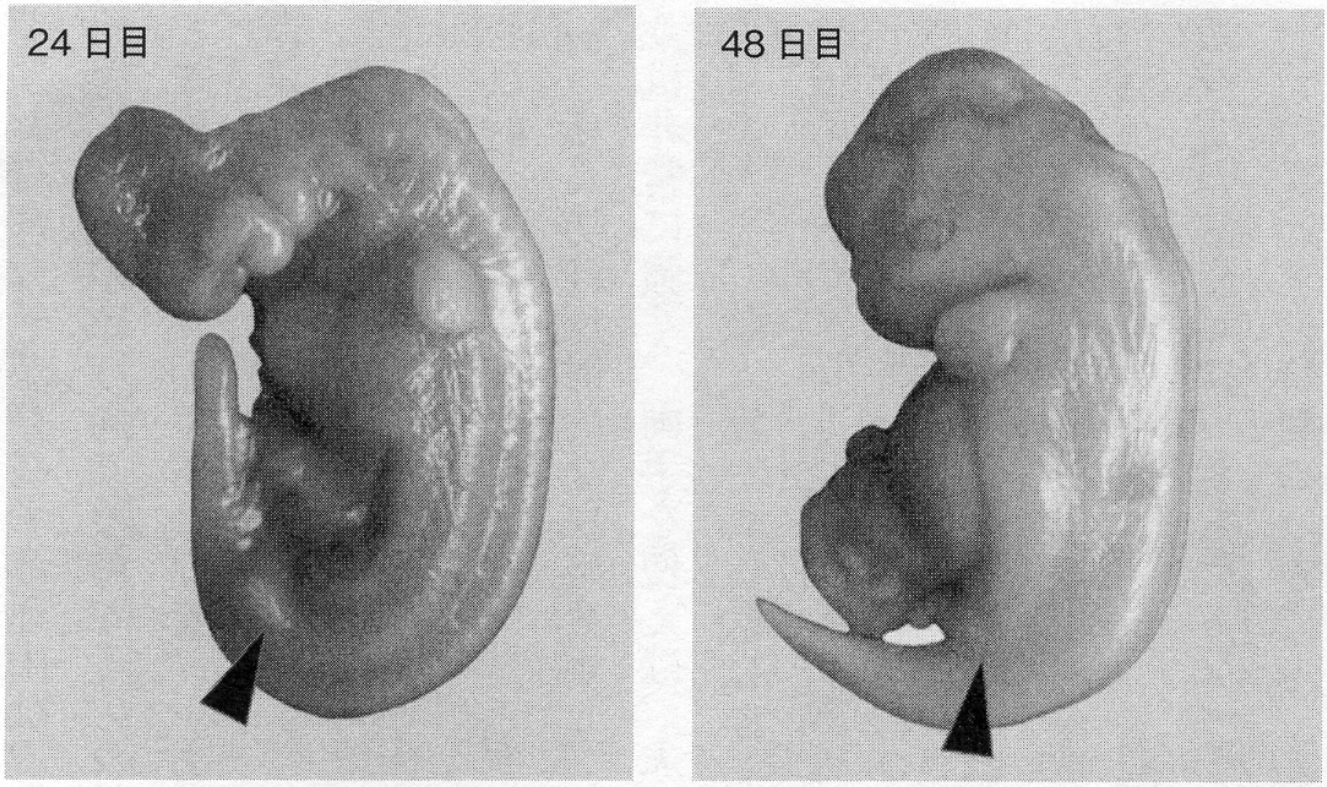


図 18　マダライルカ（*Stenella attenuata*）の後肢構造の消滅。後肢構造は四足だった祖先の進化の遺物である。受精後 24 日目（左）、胚の後肢芽（矢印で示した部分）はよく発達しており、前肢芽の大きさにわずかに劣るにすぎない。しかし 48 日目になると（右）、後肢芽はほぼ消滅し、前肢芽だけが発達を続けてひれ足となる。

進化の証拠となる胚の事例として私がよく挙げるのは、毛で覆われたヒトの胎児である。われわれは俗に「裸のサル」と言われるが、これはヒトがほかの霊長類と違って、厚い毛のコートに覆われていないからである。だが、じつのところ、一時期はわれわれにも毛が生えている。そう、胚のときである。受精後六カ月前後で、ヒトは「産毛」と呼ばれるふわふわした柔らかい毛のコートにびっしりとくるまれる。この産毛はたいてい産まれる一カ月前に抜け落ちるので、産まれるときには体毛がずっとまばらになっている（早産児は産毛を生やしたまま産まれてくることもあるが、それも生後すぐに抜け落ちる）。今日では、ヒトの胚が一時的な毛のコートを持つ必要はどこにもない。なにしろ子宮内は摂氏三七度という快適な状態に保たれているのだ。にも

かかわらず産毛が存在する理由は、霊長類の祖先の遺物だからとしか考えられない。実際、サルの胎児も発達のほぼ同じ段階で毛のコートを発達させる。ただし、こちらの産毛は抜け落ちず、そのまま残って成体の毛皮となる。一方、クジラの胎児はヒトと同じように、陸生動物だった祖先の遺物として産毛を生やしている。

最後にもう一つ事例を挙げよう。同じくヒトからの事例だが、これは推測の域を出ないものの、触れずにおくにはもったいないほど印象的なものである。それは新生児の「把握反射」である（「握り反射」ともいう）。もし身近に赤ん坊がいたなら、ためしに赤ん坊の掌をそっと撫でてみてほしい。赤ん坊は反射的な反応を示し、掌をすぼめてあなたの指をぎゅっと握るだろう。このときの握りは非常に強く、両手を使えば、赤ん坊は数分間ほうきの柄からぶらさがっていられるぐらいである（ただし、ご家庭での実験は断じてお勧めしない！）。把握反射は生後数カ月で消滅する。これもまた、一つの隔世遺伝的な行動なのではなかろうか。サルの新生児もやはり同じような反射を示すが、こちらは幼児期のあいだずっと消えずに残るため、サルの母親は自分の毛皮に子をつかまらせたまま、あちこちに移動することができる。

このように、胚発生は進化の証拠の宝庫であるにもかかわらず、発生学の教科書にはたいていその点が抜け落ちているらしい。実際、私が知り合った何人かの産科医は、産毛についてなんでも知っているくせに、そもそもなぜそれが生えるのかだけは知らなかった。

胚の発達上の特徴のほかにも、進化でしか説明のできない特徴が動物の構造にはいくつかある。

それが「粗悪なデザイン」の事例である。

粗悪なデザイン

特に理由がなければ記憶にも残らなさそうな映画『マン・オブ・ザ・イヤー』（邦題『ロビン・ウィリアムズのもしも私が大統領だったら…』）は、ロビン・ウィリアムズの演じるテレビのトークショー司会者が、一連の奇妙な偶然を経てアメリカ合衆国の大統領になる話だ。選挙前の公開討論で、ウィリアムズ扮するトムはインテリジェント・デザインについて質問され、こんなふうに答える。「インテリジェント・デザインについては皆さんおっしゃいます――われわれはインテリジェント・デザインを教えなければならないと。しかし人間の体を見てください。あれがインテリジェントでしょうか？　排泄物処理施設が娯楽エリアの隣にあるのですよ！」

なるほど、いい指摘だ。たしかに生物は周囲の自然環境に適合するべくデザインされているように見えるが、完全なデザインなどというものは幻想である。種はどれも、多くの面で不完全だ。キーウィには無用な翼があり、クジラには痕跡的な骨盤があり、われわれヒトには虫垂という厄介な器官がある。

ここでいう「粗悪なデザイン」とは、もしも設計者が――神経や筋肉や骨といった生物学的ブロックを使って――ゼロから生物を作ったのなら、生物にそのような不完全さはありえないという

考えを示したものだ。完璧なデザインは、まさしく優秀でインテリジェントなデザイナーのしるしであろう。それに対して、不完全なデザインは進化のしるしだ。実際、進化から予想されるのはまさにそれである。すでに見てきたように、進化はゼロから始まるのではない。新しい部位は古い部位から進化して、なおかつ、すでにできている部位とうまく協調していかなくてはならない。したがって、当然ながら妥協も出てくる。ある特徴はそれなりにうまく機能しているが、申し分ないとは言えないし、また別の特徴は――キーウィの翼のように――進化の痕跡として残っているだけで、機能はまったく果たしていない。

たとえばカレイ類の魚などは、粗悪なデザインの好例だろう。これらは食用魚として人気があるが（シタビラメなど）、その理由の一つは、体が平たいので骨をはがしやすいからだ。こうした平たい魚には約五〇〇もの種――オヒョウやヒラメやカレイやその類縁――があって、いずれもカレイ目（*Pleuronectiformes*）に属する。この学名は「横向きに泳ぐもの」という意味で、まさにこれらの魚のお粗末なデザインを言い当てた表現である。カレイ目の魚も産まれたときには、体を垂直にして泳ぐ一般的な魚と同じような姿をしていて、パンケーキのような平べったい体の両側に一つずつ眼がついている。しかし、生後一カ月ごろになると、奇妙な変化が生じる。片方の眼が上方に移動しはじめるのだ。眼は頭骨の上をぐるりと回って、もう片方の眼に近づく。その結果、体の片側に二つの眼がつくようになる。その一対の眼が体の右側にあるか左側にあるかは、種によって異なる。さらに、この眼の移動を促進するように頭骨も変形し、ひれや色にも変化が起こる。同時に

魚は体を横向きに倒し、新たにできた眼のない側が下に来るようにして、二つの眼を上に出す。こうして平たくカモフラージュされた、ほかの魚を餌にする海底魚ができあがる。泳ぐときも体はずっと横向きのままだ。これらカレイ目の魚は、世界で最も左右非対称な脊椎動物である。次に魚屋に行ったら見本を確認してみるとよい。

しかしカレイ目の魚をデザインしたかったなら、誰だってこんなふうには作らないのではなかろうか。むしろガンギエイのような魚を作るはずである。つまり産まれたときから平たくて、しかも腹部が下になっている魚のことだ。体を横に倒し、眼を移動させ、頭骨を変形させないと平たくなれないような魚を作ってどうするのだ。カレイ目の魚のデザインはこのようにお粗末だが、そのお粗末なデザインは、これらの魚の進化的遺産から来ている。系統樹を見ればわかるように、カレイ目の魚はいずれも「正常」な左右対称の魚から進化した。ということは、カレイ目の魚にとっては体を倒して海底に横たわり、捕食者からも被食者からも隠れられるようにするのが有利だったに違いない。ただし、もちろんそれには問題が生じる。下向きになったほうの眼は役に立たず、傷つきやすくもなる。これを是正するために、自然選択は魚の眼を移動させ、さらに体も変形させるといった、複雑だが確実な方法をとったのである。

自然が生んだ最もひどいデザインの一つは、哺乳類の反回神経に見てとれる。脳から喉頭にかけて走っているこの神経は、われわれが話したり、ものを飲み込んだりするのを助けている。しかし奇妙なのは、これが必要以上に長すぎることだ。ヒトで言えば脳から喉頭までの約三〇センチの距

離をまっすぐ走るのではなく、まず胸部に下りて、大動脈と動脈管索をぐるりと回ったあと、ふたたび上に伸びて（つまり「反回」して）喉頭につながる（図19）。このため反回神経の全長は一メートル近くに達する。キリンの反回神経も同様の経路をたどっているが、あの長い首をいったん下りて、また上がってくるため、その長さは直線距離より五メートルほども長くなっている！　この奇妙な神経のことを初めて聞いたとき、私はにわかには信じられなかった。ぜひ自分の目で確かめたいと思い、勇気をふるいおこして人体解剖ラボに出かけ、生まれて初めて死体を検分した。親切な教授が鉛筆で経路を指し示しながら、その神経をたどってくれた。果たしてそれは、胴体を下りたのち、ふたたび上がって喉につながっていた。

この反回神経のまわりくどい経路は、ただお粗末なデザインというだけでなく、不適応でさえあるかもしれない。余分な長さがあるために、それだけ傷つきやすくなっているからだ。たとえば胸部に打撃を受ければ、反回神経が損傷して、しゃべれなくなったり、ものを飲み込めなくなったりすることもあるだろう。しかし、反回神経がどういう経緯で進化したかを知れば、この経路も納得がいく。哺乳類の大動脈も同じだが、もとをたどればこの神経は、魚のような祖先の鰓弓から派生した。あらゆる脊椎動物に共通する魚のような初期の胚では、この神経が第六鰓弓の血管に沿って上から下に走っている。これは脳から背中に沿って走っている迷走神経の枝にあたる。そして魚の成体においては、この神経の位置がそのまま変わらず、脳と鰓をつないで、鰓ポンプが水を汲みだすのを助けている。

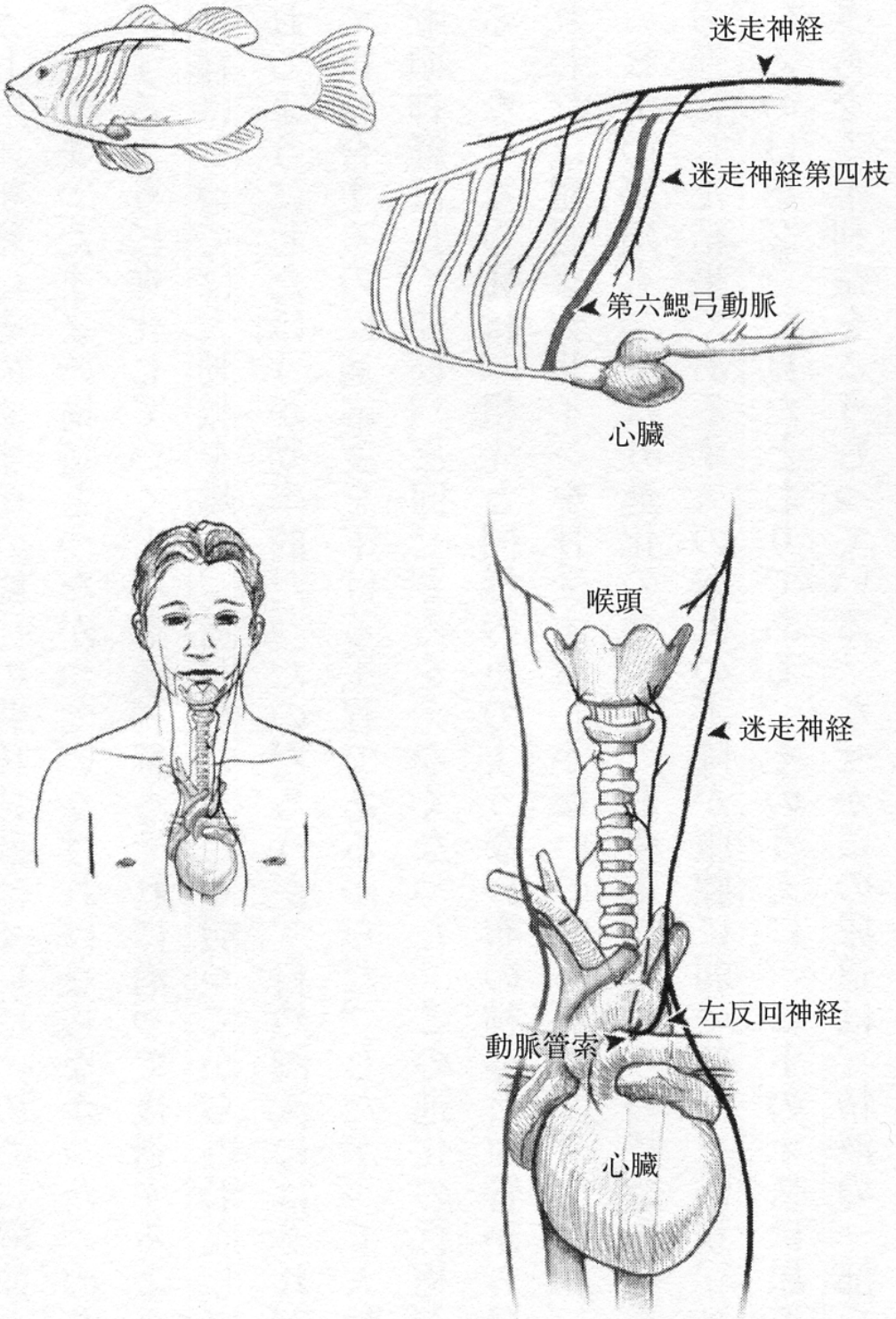


図 19　ヒトの左反回神経のまわりくどい経路は、ヒトが魚のような祖先から進化したことの証拠である。魚類においては、のちに成体の鰓となる第六鰓弓に第六大動脈弓が通っており、迷走神経の第四枝がこの動脈弓の背後を走る。この構造は成体においても鰓器官の一部として残り、神経を刺激して鰓から血液を運ぶ機能を果たす。しかしながら哺乳類では、この第六鰓弓の一部が喉頭に進化した。そのプロセスのあいだも喉頭と神経はつながったままだったが、体の左側の第六大動脈弓は下方の胸部に移動して「動脈管索」という機能しない遺物となった。神経はそのまま動脈弓の背後に残ったが、頸部の構造につながったままだったため、いったん胸部に下りたのち、大動脈と第六大動脈弓の遺物を回って、ふたたび上方の喉頭に戻るという経路を進化させざるをえなかった。この神経の曲がりくねった経路は、インテリジェント・デザインの反映とは言えず、われわれがまったく異なる体を持っていた祖先から進化したゆえの産物としてしか理解できない。

一方、われわれの場合は進化のあいだに第五鰓弓の血管が消失し、第四鰓弓と第六鰓弓の血管がのちの胴体となる下部に移動して、それぞれが大動脈と、大動脈を肺動脈とつなぐ索になった。しかし喉頭神経はそのまま第六鰓弓の背後に残っていて、のちに喉頭となる胚構造、つまり脳の近くにとどまったままの構造とつながっていなければならなかった。のちの大動脈が心臓に向かって後退するように進化していくと、喉頭神経もそれに沿って後退するように進化していくしかなかった。神経にとっては大動脈を離れ、進路をいったん切ってから再形成して、もっとまっすぐな経路をとれるようにしたほうが効率的だったのだろうが、自然淘汰にはそれができなかった。神経を切断して再結合するのは適応度を下げる工程であるからだ。したがって大動脈の後方への進化にあわせて、喉頭神経は長く伸び、反回せざるをえなくなった。この進化の行程が、発達の過程で反復されている。なぜなら胚は、祖先と同様の魚のような分布の神経と血管から発達を始めるからだ。結局、われわれは粗悪なデザインを甘受するしかないのである。

ヒトの繁殖も、やはり進化のせいで、お粗末なつくりの特徴をたくさん抱えている。魚の性腺から進化した結果であるオスの睾丸の下降が腹腔に弱い部分を作り、ヘルニアを起こしやすくさせているのは第2章で見たとおりである。そのうえに、ヒトのオスは尿道のお粗末なデザインのせいでさらなる不利益をこうむっている。なぜかこの尿道は、精液の一部を作っている前立腺の真ん中を貫通しているのだ。ロビン・ウィリアムズのセリフを借りるなら、下水パイプが娯楽エリアのあいだをまっすぐ突っ切っているようなものである。男性のほとんどは晩年に前立腺をさらに大きく発

達させるため、肥大した前立腺が尿道を圧迫して、尿を出にくくさせるとともに痛みも生じさせる（これはヒトの進化過程の大部分においては問題がなかったのだろう。ほとんどの男性は三〇歳になる前に死んでいたからである）。賢いデザイナーなら、感染や腫れに弱い器官のあいだに押し出しチューブを通すようなまねはしない。哺乳類の前立腺が尿道壁の組織から進化したからこそ、たまたまそうなってしまったのだ。

女性のほうも五十歩百歩だ。女性は骨盤から子を出産するが、それは激痛をともなう非効率なプロセスであり、近代医学が発達する前は、かなりの数の母子が出産で死んでいた。問題は、ヒトが大きな脳を進化させるにつれ、赤ん坊の頭が骨盤の開口部に比べてずっと大きくなってしまったのに、骨盤のほうは効率的な二足歩行を維持するために狭いままでいなければならなかったことである。この妥協が、出産時の困難と激痛をもたらしている。もしもヒトのメスをデザインできるなら、生殖管の経路を変えて、骨盤ではなく下腹部を出口にするのではなかろうか？　もしそうなっていたら、出産はどれほど楽なことだろう！　しかし、ヒトは卵を産む生物や、生きた子を骨盤から――われわれよりずっと少ない痛みで――産む生物から進化した。ここでもまた、われわれは進化の歴史に拘束されている。

さらにいえば、インテリジェントなデザイナーがヒトの卵巣と卵管のあいだに小さな割れ目を作ったりするだろうか？　この割れ目があるために、卵はそこを越えてから、管を下って子宮に着床しなくてはならない。ときおり受精卵はこの割れ目を飛び越えられず、腹部に着床してしまう。

これが「腹腔妊娠」となり、子供はほぼ例外なく死に、外科手術をしなければ母体も危ない。この割れ目は、卵巣からそのまま体の外に卵を産み落としていた祖先の魚類と爬虫類からの遺物である。われわれの卵管が不完全な連結をしているのは、これが哺乳類のなかでの追加装置として、あとから進化したものだからである。[20]

こうしたお粗末なデザインに対して、それが進化を裏づけていることにはならないと反論する創造論者もいる。超自然的なインテリジェント・デザイナーであっても、不完全な特徴を作ることがないわけではないと言うのである。ＩＤ論者のマイケル・ベーエは自著の『ダーウィンのブラックボックス』において、「あるデザインのなかで異様なほど奇妙に思える特徴も、『設計者』が何らかの理由により――芸術的な理由のため、変化をつけるため、見せびらかすため、未知のなんらかの実際的な目的のため、あるいは想像もつかないような理由のため――あえてそこに置いたのかもしれないし、また、そうではないのかもしれない」と述べている。しかし、この主張は的外れだ。たしかにデザイナーがはかりがたい動機を持っている場合もないわけではない。しかし、ここで見てきたような特定の粗悪なデザインは、それらがかつての祖先の特徴から進化したと考えたときに、初めて筋が通るものだ。もしデザイナーが何らかの認識できる動機を持って種を創造していたとすれば、その動機の一つは、わざと生物が進化したような作りに見せかけて、生物学者をからかうことだったに違いない。

第4章

生物の地理学

博物学者としてビーグル号に乗船したとき、私は南米の生息動物についても、その大陸の現在の生息動物と過去の生息動物との地理的関係についても、いくつかの事実に大きな衝撃を受けた。これらの事実は、種の起源にいくばくかの光を当てているように思えた。種の起源といえば、われらの最も偉大な哲学者の一人が称したとおり、まさに謎中の謎なのである。

——チャールズ・ダーウィン『種の起源』

地球上で最も寂しい場所といえば、まず思い浮かぶのが南洋の火山性孤島である。その一つが、アフリカ大陸と南米大陸のちょうど中間あたりにあるセント・ヘレナ島だ。ナポレオンが故国フランスから追放され、イギリスの監禁下で生涯最後の五年間を無為に過ごした場所である。しかし世界との隔絶という点で最も有名なのは、ファン・フェルナンデス諸島の島々だろう。三つの小さな島からなり、陸地総面積は約一〇〇平方キロ、チリから西に約六五〇キロの海上に浮かんでいる。ロビンソン・クルーソーの実話版とも言うべきアレキサンダー・セルカークが漂流者となって孤独

な日々を生き抜いたのが、この諸島の一つだった。

アレキサンダー・セルカークは一六七六年生まれの気性の荒いスコットランド人で、もとの姓はセルクレイグといった。一七〇三年、セルカークは、スペイン船とポルトガル船を略奪する任を受けたイギリスの私掠船シンク・ポーツ号の航海士となって海に出た。二一歳の船長の無謀さと、痛んでぼろぼろになった船の状態を懸念していたセルカークは、シンク・ポーツ号が食糧と水の補給のためにファン・フェルナンデス諸島のマサティエラ島に立ち寄った際、折りよく救助が来ることを期待して、島にとどまることを要求した。船長はその願いを入れ、セルカークは自ら島に置き去りにされた。陸に上がったときの所持品は、服と、寝具類と、いくつかの道具と、火打ち石銃と、煙草と、やかんと、聖書だけだった。このようにして四年半の孤独な生活が始まった。

マサティエラは無人島で、セルカークを除けば哺乳類はヤギとネズミとネコしかおらず、そのいずれも、前にここを訪れた水夫によって持ち込まれたものだった。しかし孤独と憂鬱にさいなまれた最初の時期が過ぎると、セルカークは環境に適応した。ヤギを狩り、エビやカニを獲り、前の来訪者が植えていった果物や野菜を食べ、棒切れを擦りあわせて火を起こし、ヤギの皮で衣服をつくり、ネズミを避けるためにネコを飼いならしていっしょに暮らした。

一七〇九年、セルカークはついに救出された。彼を救ったイギリス船の舵を取っていたのは、なんという偶然か、最初にセルカークを乗せてきたシンク・ポーツ号の指揮官だった。乗組員は、ヤギの皮をまとった野人のような男に驚愕した。孤独な暮らしがあまりにも長かったため、セルカー

クの英語はほとんど通じなくなっているありさまだった。船に果物とヤギ肉を補給するのを手伝ったあと、セルカークはついに島を離れて故郷のイギリスへ戻った。帰国してからは記者と組んで、この冒険を綴った有名な記事を《ザ・イングリッシュマン》に発表した。ダニエル・デフォーはこの記事をもとに『ロビンソン・クルーソー』を書いたとも言われている[21]。しかしセルカークは陸上での定住生活に適応できなかった。一七二〇年にふたたび海に出て、一年後に熱病にかかり、アフリカの沖合いで死んだ。

いわば時代の偶然と性格の偶然がセルカークの物語を生んだ。しかし「偶然」は、もっとスケールの大きな物語、つまりファン・フェルナンデス諸島や同様の島々に生息する、人間以外の生物の物語が示している教訓でもある。セルカークは知らなかったが、マサティエラ島（現在ではロビンソン・クルーソー島と呼ばれる）には彼以前の漂流者の子孫が棲みついていた。植物や鳥や昆虫の世界のロビンソン・クルーソーが、何らかの偶然によってセルカークより何千年も前にこの島にたどりついていたのである。そうと知らずに、セルカークは進化的変化の実験室に暮らしていたわけだ。

ファン・フェルナンデス群島の三つの島は、希少で風変わりな動植物の生きた博物館である。生息する種の多くは、世界中でここにしか見られない「固有種」だ。その一部を挙げれば、五種の鳥類（全長一二センチほどの赤茶色の大型ハチドリで、絶滅が危惧されているフェルナンデスベニイタダキハチドリなど）、一二六種の植物（多種多様な珍しいヒマワリの仲間など）、オットセイ、そ

して何種かの昆虫がいる。これだけ多くの固有種が存在する場所は世界に二つとないだろう。だがここは、存在しないものが同じぐらい重要な場所でもある。ここには、世界中のどの大陸でもふんだんに見られる両生類、爬虫類、哺乳類の在来種が一つも棲んでいないのだ。奇妙な固有種がたくさん栄えていながら、多くの主要な生物群が驚くほど欠けているというこの状態は、どの大陸とも隔絶した大洋島において繰り返し見られるパターンである。そしてこれから見るように、まさにこのパターンが進化の強力な証拠となっている。

こうしたパターンに初めて本格的に着目したのがダーウィンだった。若かりしころのビーグル号での航海による実体験と、科学者や博物学者との大量の手紙のやりとりを通じて、ダーウィンは進化が動植物の起源や形態を説明するのに必要なだけでなく、動植物の全世界での分布を説明するのにも必要であることに気づいた。その分布からは多くの疑問が生じた。なぜ海洋島の動植物相は、大陸の個体群に比べてずっと奇妙でアンバランスなのか？　世界中のどこにおいても哺乳類は有胎盤類が圧倒的に多いのに、なぜオーストラリアだけはほぼすべての在来哺乳類が有袋類なのか？　そして、もしも種が特殊に創造されたのなら、なぜ創造主はアフリカ大陸の砂漠とアメリカ大陸の砂漠のような地形も気候も似通った別の地域に、外見上の形態は似ているけれども本質的には異なっている種を置いたのか？

これらの疑問には、ダーウィンの先人たちも頭を悩ませていた。彼らの考えを土台にして、ダーウィンは自らの知識と思考をまとめあげた。それはダーウィンが『種の起源』でまるまる二章を充

てるほど重要視していたものだった。この二つの章は、地球上での種の分布を研究する「生物地理学」の分野の基盤となった文書であるとも言われている。そこに書かれた生物の地理的分布の進化論的説明は、最初に提出されたときからおおむね正しかったが、その後の大量の研究によっていっそう磨かれ、裏づけられていった。生物地理学からの進化の証拠はいまや穴がないほど磐石で、実際、これを論破しようとする創造論者の言及は、本でも記事でも講演でも見たことがない。創造論者は証拠がないふりをしているだけなのだ。

皮肉なことに、生物地理学の始まりは深く宗教に根ざしている。最も古い時代の「自然神学者」たちは、生物の分布をどうにかして聖書に出てくるノアの箱舟の話と一致させられないものかと考えた。当時、現存するすべての動物は、ノアが船に乗せたつがいの子孫で、そのつがいが箱舟の洪水後の停泊地（古来、トルコ東端のアララト山の付近とされる）から、それぞれの現在の居住地に移動したのだと信じられていた。だが、この説明には明らかに問題があった。カンガルーや巨大なミミズがどうやって海を渡って現在の生息地であるオーストラリアに行けたのか？　ライオンのつがいはどうしてレイヨウをさっさと餌にしなかったのか？　そして博物学者が次々と新しい動植物の種を発見していくにつれ、どんなに信仰心の篤い信者もこう認めざるをえなくなった――たしかにこれだけの種をすべて乗せられる船などどこにもない。ましてや六週間の航海に必要な食糧や水など載せられるはずもない。

そこで別の仮説が浮上した。全世界のあちこちで同時に複数の創造がなされたとする説である。

一九世紀半ば、当時ハーバードにいた有名なスイス人動物学者のルイ・アガシーはこう力説した。「種は一定不変であり、種の分布もまた同じである。種はそれぞれの創造された場所、あるいはその近くに、一定不変にとどまっている」。だが、その後の進展で、この考えも支持できないものとなる。特に続々と発見される化石は、種が「一定不変」であるという主張を反駁するものであった。ダーウィンの友人で師でもあったチャールズ・ライエルなどの地質学者は、地球が非常に古いだけでなく、つねに変動してもいることを示す証拠を見つけはじめていた。ダーウィン自身もビーグル号での航海で、貝の化石がアンデス山脈の高地に埋まっているのを発見した。つまり現在は山であるところも、かつては水中にあったことになる。陸地は隆起もすれば沈下もするのであり、今日われわれが見ている大陸もかつてはもっと大きかった、あるいはもっと小さかったのかもしれない。そして例の、種の分布に関する未解決の疑問もあった。なぜアフリカ大陸南部の植物相は、南米大陸南部の植物相とこんなにも似ているのか？　何人かの生物学者は、すべての大陸がかつては巨大な陸橋によって結ばれていたのではないかとの説を出した（ダーウィンはライエルに「コックがパンケーキをつくるのと同じぐらい簡単に」そうした陸橋ができあがってしまうとぼやいた）が、そのような陸橋が存在したという証拠は一つもなかった。

これらの難問への答えとして、ダーウィンは自らの仮説を提出した。種の分布は創造では説明できず、進化によって説明されるという主張である。動物や植物が何らかの経緯で広範囲に分散し、その分散後に新しい種に進化したのであれば、それで――氷河の拡大期のような太古の地球上の変

動とあわせて――先人たちを悩ませてきた生物地理学上の多くの不思議な点を説明できた。

現在から見れば、ダーウィンの考えは正しかった――が、完全に正しくはなかった。たしかに分散と進化と地球の変動を前提とすれば、生物地理学に関する多くの事実が理に適う。しかし、すべての事実ではない。ダチョウやレアやエミューのような大型の飛べない鳥が、それぞれアフリカ、南米、オーストラリアで生まれている。もしこれらすべてが共通の飛べない祖先をもっていたのなら、その祖先はどうやってこれだけ広範囲に分散できたのか？　大きく離れた中国東部とアメリカ北部にユリノキやザゼンソウのような共通する植物が生まれているのに、そのあいだの陸地にどうしてそれらが生まれていないのか？

結局、ダーウィンはいくつかの答えを見つけそこなったが、彼には想像もつかなかった二つの進展があったおかげで、いまではその答えの多くが見つかっている。それを助けたのが大陸移動説と分子分類学だ。ダーウィンは地球が長い年月のあいだに変化してきたのはわかっていたが、実際にどれほどの変化が起こったのかは知りようもなかった。一九六〇年代以降、科学者はかつての世界の地理が現在のそれとはまるで異なっていたことを解き明かしてきた。太古より広大な超大陸が移動し、連結し、分断されてきたのである。[22]

そして約四〇年前から、異なる種のあいだの進化的関係のほか、それらの種が共通祖先から分岐したおおよその時期まで伝えてくれる、ＤＮＡとタンパク質の配列からの情報が蓄積されてきた。種が共通祖先から分岐すると、その分岐時期とかなり直線的な関係でＤＮＡ配列も変化するという

進化論から予言される考えが、データで実際に裏づけられているのだ。この現生種の祖先の化石を目盛りとした「分子時計」を使えば、化石記録のほとんどない種でも、分岐した時期が推定できる。

そして分子時計を使えば、種のあいだの進化的関係をすでにわかっている大陸の移動と突きあわせられるほか、氷河の移動や、パナマ地峡のような正真正銘の陸橋の形成などとも照合できる。それにより、種の起源が新しい大陸や新しい生息環境の起源と時期的に一致するのか確かめられる。この革新的な手法は、生物地理学を壮大な推理小説に変えてきた。さまざまな道具と、一見つながりのなさそうなもろもろの事実をもとにして、生物学者はそれぞれの種がどうしていまそこに生息しているのかを推定してきた。たとえば現在では、アフリカ大陸と南米大陸の植物のあいだに共通点があるのも意外ではないとわかっている。それらの祖先はかつて一つの超大陸――ゴンドワナ大陸――に棲んでいたからだ。その大陸がおよそ一億七〇〇〇万年前に、いくつかの陸地（現在のアフリカ大陸、南米大陸、インド亜大陸、マダガスカル島、南極大陸など）に分かれはじめたのである。

生物地理学による推理作業のあれこれは、すべて進化の事実を裏づけていた。種が進化したのでなければ、現生種であれ化石種であれ、その地理的分布はとても説明がつかない。これからそれを具体的に見ていくが、まずは大陸に生息する種を、次いで島に生息する種を検討しよう。大陸と島とでは性質が異なるため、出てくる証拠の種類も違っているからだ。

大陸

はじめに、世界各地を旅行している人なら誰でも驚きとともに気づくことがある。気候も地形も似ていながら、遠く離れた二つの地域に行ってみると、そこの生物の種類が違っているのだ。たとえば砂漠を例にとると、砂漠の植物の多くは多肉植物である。これらは環境に適応した形質をいろいろと備えている。水を蓄えるために茎は大きく肉厚で、捕食者を防ぐための棘が生えており、水分の消失をできるだけ少なくするために葉は小さく、葉そのものがないこともある。しかし同じ砂漠でも、場所が違えば多肉植物の種類も違ってくる。南北アメリカの多肉植物はサボテンの仲間である。一方、アジアやオーストラリアやアフリカの砂漠では、サボテンの在来種が存在せず、ここの多肉植物は分類上まったく異なるトウダイグサに属する。この二種類の多肉植物の違いは、花と樹液から区別できる。サボテンの樹液は透明で水っぽいが、トウダイグサの樹液は乳状で苦い。だが、そのような本質的な違いはあっても、サボテンとトウダイグサの外見はとてもよく似ている。私はその両方を自宅の窓辺に置いているが、たいていの客は名札を見ないかぎり違いがわからない。

もし創造主がこれらをつくったのなら、なぜ本質的に異なっていながら外見はそっくりな植物を、生態学的に区別のつかない別の地域にわざわざ置いたのか？　土壌も気候も同じようなタイプの地域なら、同じ種の植物を置くのが道理ではないか？

いや、二つの砂漠は同じように見えても、生息環境は微妙に違っていて、その違いが重要である

ため、サボテンとトウダイグサがそれぞれの環境に最もふさわしいように創造されたのだ、と答える人もあるかもしれない。だが、その説明は採用できない。なぜならサボテンを旧世界の砂漠にもちこんでみると、そこでは自生しないサボテンが立派に育っていくからだ。たとえば一九世紀に、北米産のウチワサボテンがオーストラリアに持ち込まれた。入植者がウチワサボテンを常食にするコチニールカイガラムシから赤色の染料を採取しようとしていたためだ（この染料はペルシャじゅうたんを深紅に染め上げるのに使われる）。二〇世紀に入ったころには、すでにウチワサボテンは急速に広まりすぎて、とんでもない厄介者になっていた。何千エーカーもの農地を使い物にならなくさせていたウチワサボテンをどうにかしようと、徹底的な根絶計画も――効果はなかったが――実施された。そして一九二六年、マダラメイガという外来種のガを導入することによって、ついにウチワサボテンの繁殖が抑えられた。このガの幼虫はサボテンを食い尽くすのである。これは最も成功した「生物的防除」の実例と言えよう。このように、ウチワサボテンはオーストラリアの砂漠でもみごとに繁殖できる。しかし、ここに自生する多肉植物はトウダイグサなのである。

異なる種が同じような役割を果たしている例として最も有名なのは、おもにオーストラリアに生息する有袋類の哺乳類と（アメリカ大陸のキタオポッサムのような例外もあるが）、それ以外の世界各地において優勢な有胎盤類の哺乳類だろう。この二つのグループのあいだには重要な解剖学的違いがあり、特に最も目立つのが、それぞれの生殖器系である（有袋類はほぼすべて腹部に袋を持っており、きわめて未熟な状態の子を産むが、有胎盤類は胎盤を持っているので、もっと発達し

た状態の子を産める)。しかし、この本質的な違いにもかかわらず、有袋類と有胎盤類は驚くほど似通っている。有袋類のモグラは外見も行動も有胎盤類のモグラにそっくりであり、有袋類のネズミは有胎盤類のネズミとそっくりで、有袋類のフクロモモンガが木から木へと滑空するさまは有胎盤類のムササビと同様であり、有袋類のアリクイの行動様式は南米産のアリクイとまったく同じだ(図20)。

ここでふたたび疑問が生じる。もし各種の動物が特殊に創造されたのなら、どうして創造主は別々の大陸で、本質的には異なるが外見も行動もそっくりな動物を生み出したのか? オーストラリアでは有袋類のほうが有胎盤類より本質的に優れているというわけでもない。なぜなら外来種の有胎盤類も、オーストラリアでしっかり生きているからだ。たとえば外来種のウサギなどは繁殖力が強すぎて、在来種の有袋類ビルビー(非常に長い耳をもつ小型哺乳類で、正式にはミミナガバンディクートという)を駆逐しかねない脅威となっている。ウサギ根絶基金への協力の一環として、イースター・バニーからイースター・ビルビーに乗り換えようという自然保護運動家によるキャンペーンも行なわれており、毎年イースターの季節にはビルビーをかたどったチョコレートがオーストラリア全土のスーパーマーケットの棚を占領するようになる。

異なる場所に生息する異なる種類の動物がなにゆえに同じような形態をしているかについて、創造論者は——ノアの箱舟の話であれ何であれ——いまもって納得のいく説明を出してきていない。ひたすら創造主の察しがたい気まぐれのせいにするだけだ。しかし、進化論ならこのパターンを説

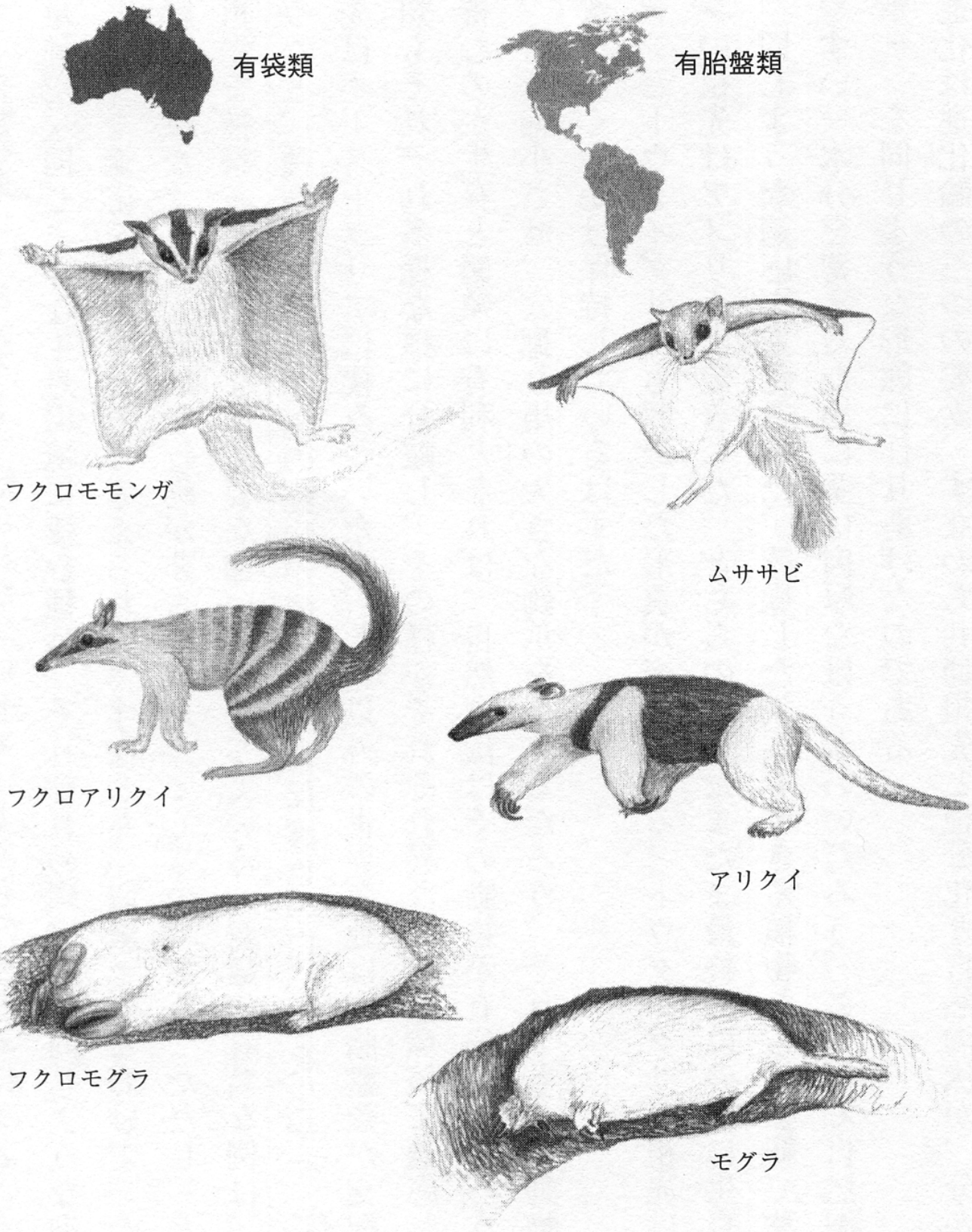


図 20　哺乳類の収斂進化。有袋類のアリクイやモモンガやモグラはオーストラリア大陸で進化し、南北アメリカ大陸では似たような有胎盤類の哺乳類が独立して進化したが、両者の形態は驚くほど似通っている。

明できる。「収斂進化」というよく知られたプロセスによるものと考えればよいのである。話はきわめて単純だ。同じような生息環境に棲む種は、それぞれの環境から同じような淘汰圧を受けるから、同じような適応を進化させると考えられる。すなわち「収斂」するわけで、たとえ両者のあいだに類縁関係はなくとも、形態や行動が非常に似通ってくるのである。ただし、どちらの種も、その遠い祖先を推察させる鍵となる重要な違いは保持している（収斂の有名な例は、シロクマやシロフクロウなど、種類の異なる北極の動物が同じように保護色の白い毛を生やすことだろう）。有袋類の祖先はオーストラリアに棲みついたが、それ以外の世界各地は有胎盤類が支配した。有袋類も有胎盤類もそれぞれ多様な種に分岐し、その種がそれぞれ異なる生息環境に適応した。地下に穴を掘って棲むのが生存と繁殖に有利となれば、自然淘汰はその動物が有袋類であろうと有胎盤類であろうと、目を縮小させ、穴掘り用の大きな鉤爪を与えるだろう。それでもその動物は、祖先の特徴的な形質をいくつかは保持しているはずだ。

サボテンとトウダイグサにも収斂した形質が表れている。トウダイグサの祖先は旧世界に定着し、サボテンの祖先はアメリカに定着した。どちらの種もたまたま最終的に砂漠に生息するようになったため、同じような適応を進化させた。乾燥した気候で生きる植物なら、強靭で葉がないほうが生き延びやすい。水分を蓄えるために茎は肉厚なほうがいいだろう。こうして自然淘汰はトウダイグサとサボテンを同じような形態に作りあげたのである。

収斂進化は進化論の三つの要素、すなわち共通祖先と種分化と自然淘汰が、分かちがたく結びつ

いていることの実例だ。まず共通祖先は、オーストラリアの有袋類がある特徴を共有していて（たとえばメスの膣と子宮が二つずつあるなど）、有胎盤類が別の特徴を共有している（長持ちする胎盤を持つなど）理由を説明する。種分化は、それぞれの共通祖先が多様な子孫を生んだ経緯そのものである。そして自然淘汰は、それぞれの種を環境にふさわしく適応させる。この三点に加え、遠く離れた地域にも同じような生息環境がありうることを考えあわせれば、収斂進化はおのずと理解される。そして非常によく見られる生物地理学的パターンも、これであっさり説明できる。

有袋類がどのようにしてオーストラリアに行き着いたかは、また別の進化の話となるが、この件についても検証可能な予言ができる。およそ八〇〇〇万年前にさかのぼる最古の有袋類の化石は、じつはオーストラリアではなく北米大陸で発見されている。有袋類は進化するにつれ、南方へと広がり、約四〇〇〇万年前に現在の南米大陸の先端に到達した。オーストラリアに行き着いたのは約一〇〇〇万年後で、そこで有袋類は二〇〇種あまりの現生種に分化しはじめた。

だが、有袋類はどうやって南大西洋を越えたのだろうか。答えは簡単で、南太平洋はまだ存在していなかったのである。有袋類が広まったころ、南米大陸とオーストラリア大陸はつながっていて、ゴンドワナ大陸という南方の超大陸の一部をなしていた。この陸塊はすでに分断しはじめており、一部の陸地が裂けて大西洋を形成しかけていたが、南米大陸の先端はまだ現在の南極大陸とつながっており、その南極大陸の部分は現在のオーストラリア大陸とつながっていた（図21）。有袋類は陸路で南米からオーストラリアに行くしかなかったのだから、その途中で南極大陸を通過したに

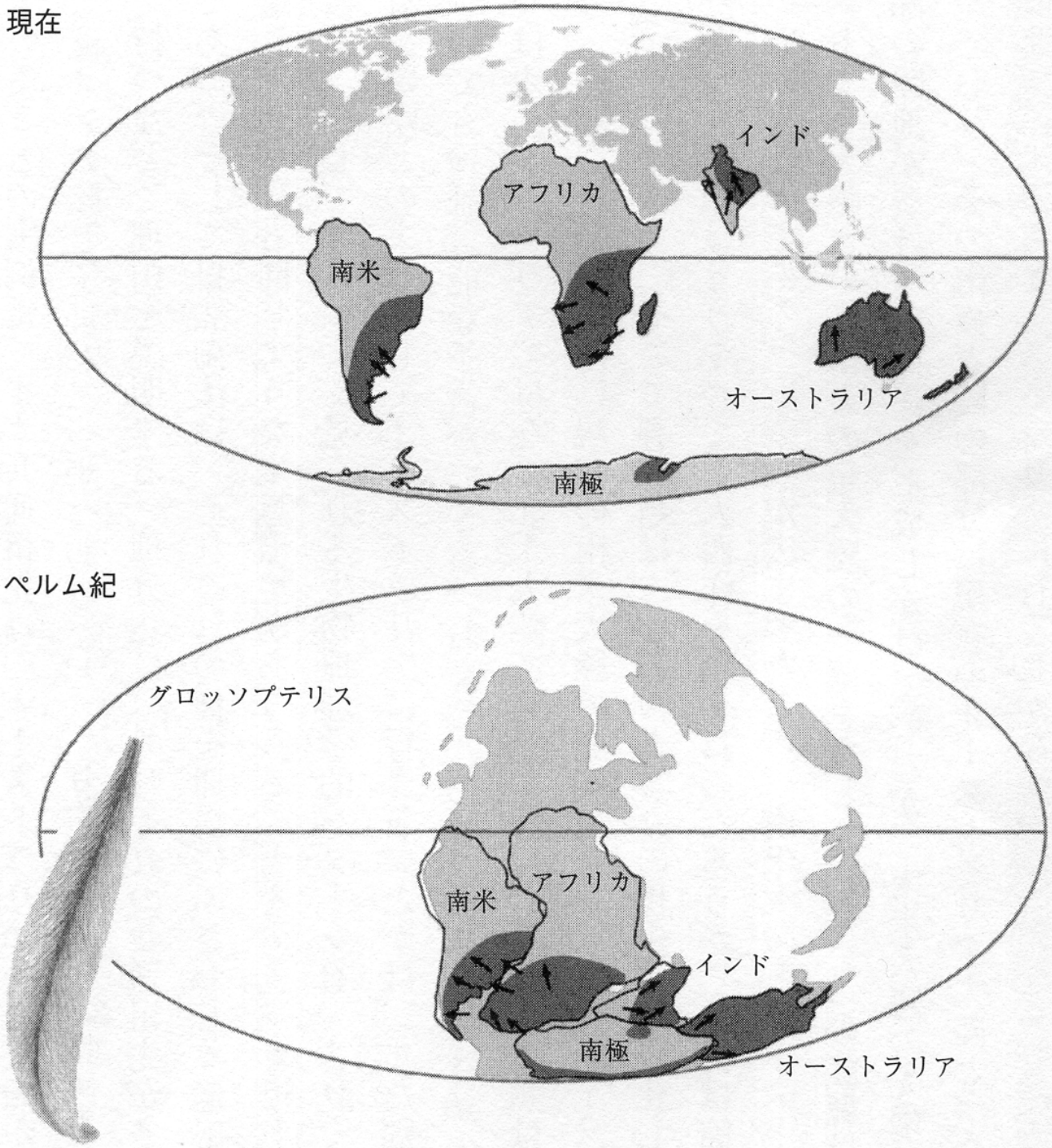


図 21　古代樹木グロッソプテリスの進化的生物地理学は大陸移動説で説明される。上：現在のグロッソプテリスの化石の分布。各大陸にばらばらに分かれていて、なぜこのように分散しているのか理解しがたい。同じように、岩盤上の氷河擦痕のパターン（矢印）も謎である。下：ペルム紀のグロッソプテリスの分布。このころは各大陸が連結して一つの超大陸を形成していた。グロッソプテリスが取り囲んでいるペルム紀の南極は温和な気候の一帯に位置していたから、現在の分布図は当然と考えられる。また、今日見られる氷河擦痕も、ペルム紀の南極からすべての矢印が発していることを考えれば、同じように納得がいく。

違いない。したがって、こういう予言が成り立つ――およそ三〇〇〇万～四〇〇〇万年前の有袋類の化石が南極大陸で見つかるはずである。

この仮説の可能性の高さに引かれ、科学者たちは有袋類の化石を見つけようと南極に向かった。そして案の定、それは見つかった。南極半島の沖合いのシーモア島で十数種の有袋類の化石が（特徴的な歯と顎から有袋類と識別されて）発掘された。この地域は、まさしく古代には氷結していなかったと思われる南米大陸と南極大陸との経路上にあった。そして化石の年代も、三五〇〇万～四〇〇〇万年前と、まさに推定どおりだった。極地研究を専門とする古生物学者のウィリアム・ジンスメイスターは、一九八二年の化石発見後、狂喜したようにこう語った。「何年も前から、ここには有袋類の化石があるに違いないと考えられていた。この発見により、南極についてなされてきた仮定がすべて結びあわされた。私たちは見つかるだろうと思っていたものを、そのとおり見つけたのだ」。

では、似たような環境ではあるが異なる大陸に生息している似たような（しかし同一ではない）種についてはどうだろう？　これにも多数の事例がある。アカシカは北ヨーロッパに生息しているが、これにとてもよく似たワピチは北米に生息している。舌のない完全水生のピパ科のカエルは、南米の東部と亜熱帯アフリカという非常に離れた二つの場所で生息する。そして前述したように、アジア東部と北米東部の植物相はとてもよく似ている。こうした実情は、もしも各大陸が昔からずっと現在の位置にあったとすれば、進化論者にとって大きな悩みの種となる。モクレンの祖先が

中国からアラバマに広がったり、淡水生のカエルがアフリカと南米のあいだの海を渡ったり、シカの祖先がヨーロッパからアメリカに移動したりなど、そんなことは決してありえなかったはずだからだ。しかし現在では、この分散がどうして起こったかが正確にわかっている。大昔には各大陸のあいだをつなぐ陸地が存在していたのだ（この陸地は、初期の生物地理学者が想定していたような巨大な陸橋とは異なる）。かつてアジア大陸と北米大陸はベーリング地峡を通じてしっかりと連結されており、植物や哺乳類は（ヒトも含めて）そこを経由して北米に棲みついた。そして南米大陸とアフリカ大陸は、ともにゴンドワナ超大陸の一部だった。

生物が分散して新しい地域に無事に定着すると、たいてい進化が起こる。そして、これが第1章で触れたもう一つの予言につながる。進化が起こったのなら、ある地域に生息する種は、それ以前に同じ場所に生息していた種の子孫であるはずだ。したがって、任意の地域の浅い岩石層を掘れば、現在その地にいる生物に似た化石が見つかるはずである。

実際、この予言もそのとおりだった。現生カンガルーに最もよく似たカンガルーの化石はどこを掘れば出てくるか？　もちろんオーストラリアである。あるいは新世界のアルマジロを考えてもよい。アルマジロには哺乳類のなかでも類のない独自の特徴がある。骨のような固い甲羅を備えているのだ。もともとアルマジロとはスペイン語で「小さな武装したもの」という意味である。この動物は、北米、中米、南米にしか生息していない。これに似た化石はどこで見つかるか？　もちろんアメリカであり、そこは育ちすぎたアルマジロのような、甲羅をつけた草食哺乳類、グリプトドン

の生息地だった。この太古のアルマジロの一部はフォルクスワーゲンの「ビートル」ほどの大きさがあり、体重は一トン、厚さ五センチの甲羅で覆われ、尾の先端に棘のついた球状の骨塊を持っていて、これを槍矛のように振りまわしていた。創造論では、こうしたパターンを説明するのは非常に難しい。これを説明するとしたら、絶滅と創造が世界中で果てしなく繰り返されていたのだと言うしかないだろう。そして新しく創造される種は、それ以前にそこに棲んでいた種に似せて作られたということになる。しかしノアの箱舟以来、ずっとそうやって進んできたというのだろうか。

祖先の化石と子孫との共起性から思い当たるのは、進化生物学史上、最も有名な予言の一つとされているものだ。ダーウィンが『人間の由来』（一八七一年）で示している、ヒトはアフリカで進化したという仮説である。

おのずと問いたくなるのは、人間の生誕地がどこなのかという問題だ。それはわれわれの先祖が狭鼻類の系統「旧世界ザル」から分岐した段階でのことである。先祖がこの系統に属しているからには、地理的分布の法則から推測されるとおり、先祖はオーストラリア大陸でも大西洋の島でもなく、明らかに旧世界に住んでいたことになる。世界の各地域において、現生哺乳類は同じ地域に生息していた絶滅種と近しい類縁関係を持っている。したがって可能性として考えられるのは、かつてアフリカにはゴリラやチンパンジーと近しく結びついた絶滅種のサルが棲んでいたということだ。そして、この二つの種が現在では人間の最も近い類縁であること

から、われわれの先祖がほかのどこでもなく、アフリカ大陸に棲んでいた可能性はなおいっそう高くなる。

ダーウィンがこの予言をした当時、初期人類の化石はまだ誰も見たことがなかった。第8章で詳述するように、それが初めて発見されたのは一九二四年、場所は――もちろん――アフリカだった。それ以来、サルからヒトにいたる途中のおびただしい数の移行化石が発掘されたが、最古のものはすべてアフリカからで、ダーウィンの予言が正しかったことを疑いようもなく裏づけていた。

生物地理学は予言を可能にするだけでなく、悩ましい問題の解決も可能にする。たとえば氷河と樹木化石の問題だ。地質学者はずいぶん前から、南方の大陸と亜大陸がいずれも二億九〇〇〇万年前ごろのペルム紀に、非常に長い期間にわたって氷河作用を経験していることを知っていた。なぜそれがわかるかといえば、氷河が移動するとともに、氷河といっしょに運ばれる大小の岩石の塊が底面の岩盤に引っかき傷をつける。この傷の方向から、氷河がどちらの方向に移動していたかが推察できるのだ。

南方の陸地のペルム紀の岩盤につけられた引っかき傷を調べてみると、奇妙なパターンに気がつく。どうやら氷河は中央アフリカのような、現在では非常に気温の高い地域で発生したらしく、さらに不思議なことに、海から大陸の方向に移動しているようなのである（図21の矢印の方向を参照）。しかし、これは現在の知識から見れば充分にありえることだ。氷河は、つねに寒冷な気候の

乾燥した陸地上でしか形成されない。長期にわたって降り積もった雪が圧縮されて氷となり、その氷が自らの重みで流動しはじめるときに形成されるのが氷河である。だとすれば、氷河の引っかき傷（「氷河擦痕」）のでたらめなパターンはどう説明されるのか？　氷河が海で生じたように見えるのはどういうわけなのか？

この謎には、さらにもう一つの要素が関わっている。擦痕の分布のほか、グロッソプテリスという古代の植物種に属する樹木化石の分布も問題なのだ。グロッソプテリスは針葉樹だが、針のような葉ではなく、舌のような形状をした葉をつける（「グロッソ」とはギリシャ語で「舌」を意味する）。これはペルム紀の植物相の代表的な植物の一つだった。植物学者はいくつかの理由から、グロッソプテリスを落葉性（毎年秋になると葉を落とし、春になるとふたたび葉をつける）と見なしている。年輪ができていることから、季節の周期があったことがわかるし、葉が木から剥がれ落ちるようプログラムされていたことを示す特殊な特徴も備えている。これらの特徴やその他の形質から、グロッソプテリスは冬に寒冷となる温帯地域に生息していたと考えられる。

グロッソプテリスの化石のほとんどは南半球で見つかっており（図21）、その化石分布を図にしてみると、これがまた奇妙なパターンを描く。南方の異なる大陸にばらばらに分散しているのだ。これは海を渡って分散したためとは考えられない。グロッソプテリスの種子は大きくて重いため、水に入ればほぼ確実に沈んでしまうからだ。では、このパターンはグロッソプテリスが別々の大陸で創造されたことの証拠なのだろうか？　いや、そうはいかない。

この二つの謎は、現在の南方の各大陸がペルム紀の後期にはどこにあったかを考えれば（図21）、どちらも解決できる。各大陸はジグソーパズルのようにゴンドワナ大陸に集結していたのだ。そうして各片をつなぎあわせてみれば、氷河擦痕の位置も、グロッソプテリスの化石の分布も、突如としてすっきりと腑に落ちる。氷河擦痕の方向を示す矢印はすべて南極大陸の中心部から出ており、その南極大陸は、ペルム紀にはゴンドワナ大陸の南極にあたる部分を占めていたのだ。降り積もった雪は広大な氷河を形成し、形成された氷河がやがてその位置から押し出され、まさに現在見られるとおりの方向に擦痕を残したのだろう。そしてゴンドワナ大陸の地図にグロッソプテリスの分布も重ねあわせれば、その分布図はもはやでたらめではなくなる。各部分がつなぎあわさると、氷河の先端を取り囲むようにして環ができる。それこそまさに、温帯性の落葉樹が見つかる寒冷地の位置なのである。

つまり、大陸から大陸へと移動したのは木ではない。大陸そのものが樹木を載せたまま移動したのである。このように、進化に照らして考えれば謎も解けるが、創造論ではそうはいかない。氷河擦痕のパターンも、奇妙に分断されたグロッソプテリスの分布も、創造論では大いに説明に困ることだろう。

この話には痛切なおまけがある。一九一二年、世界初の南極点到達をめざしたイギリスのロバート・スコット隊は、競争に敗れたのち（ノルウェーのロアール・アムンセン隊がわずかの差で先に到達していた）、遭難して全員が凍死した。同年にスコット隊が発見されたとき、遺体の横には、

約一六キログラムものグロッソプテリスの化石が置かれていた。どうにかして生き延びようと装備の大半を捨てていたにもかかわらず、一行はこの重い岩石を運搬用のそりに載せ、自ら引っぱってきていたのだ。その科学的価値をわかっていたからこそに相違ない。彼らが遺した化石は、南極大陸で発見された最初のグロッソプテリスの標本となった。

島

島に生息する種の分布が進化の決定的な証拠となることに気づいたのは、生物学史上最大の成果と言っていい発見の一つだった。これもダーウィンがなしとげたことで、彼の考えはいまもなお生物地理学の分野にとても大きな影響を与えている。ダーウィンは『種の起源』の第12章で、長年にわたる観察や書簡のやりとりから苦心して集めた事実を次々と報告して、優秀な弁護士のように自説を構築した。私が自分の学生に進化の証拠について講義するときも、好んで使うのがこの部分だ。それは一時間ものの推理劇のようであり、一見すると無関係なデータの蓄積が、最後には水も漏らさぬ進化の証拠に結実するのである。

だが、いきなりその証拠について述べる前に、まずは島の二つのタイプを識別しておく必要がある。一つ目の「大陸島」は、もともとは大陸と地続きだったが、海面が上昇して陸橋を沈めてしまったためか、あるいは大陸プレートが移動したために大陸から分断されてしまった島のことを指

す。この大陸島の範疇には、イギリス諸島、日本、スリランカ、タスマニア、マダガスカルなど、多数の島々が入る。非常に古いものもあれば（マダガスカル島などは、およそ一億六〇〇〇万年前にアフリカ大陸から分かれた）、それよりずっと新しいものもある（グレート・ブリテン島がヨーロッパ大陸から分かれたのは約三〇万年前で、おそらく巨大な堰止湖からあふれだした水が北方へ流れて破壊的な洪水を起こしたためと思われる）。一方、二つ目の「海洋島（大洋島）」は、大陸と一度も地続きになったことがない島のことである。海洋島は海底から隆起してできたもので、最初は生命が存在せず、やがて成長して火山島か珊瑚礁になる。海洋島の範疇に入るのは、ハワイ諸島やガラパゴス諸島などで、本章の冒頭で紹介したセント・ヘレナ島とファン・フェルナンデス諸島もこちらに含まれる。

「島」を進化の論拠とするにあたって、まずは次の事実から確認しよう。海洋島には、大陸と大陸島のどちらにも見られるさまざまな在来種が欠落している。たとえばハワイだ。この熱帯の群島は、総面積およそ約一万六六〇〇平方キロで、マサチューセッツ州よりもほんの少しだけ小さい。各島にはさまざまな在来種の鳥や植物や昆虫がいるが、在来種の淡水魚、両生類、爬虫類、陸生哺乳類はまったくいない。ナポレオンが流されたセント・ヘレナ島やファン・フェルナンデス諸島にしても、やはりそれらの在来種はいないが、植物、鳥類、昆虫ならば、固有の種がたくさんいる。ガラパゴス諸島には少しだけ在来種の爬虫類（陸生、海生のイグアナに、有名なゾウガメ）がいるが、哺乳類、両生類、淡水魚の在来種はやはりいない。このパターンはどこでも同じで、太平洋、

南大西洋、インド洋に点在する海洋島では、決まって同じグループが欠落している。

一見すると、この欠落は奇妙に思える。たとえばペルーやニューギニアや日本など、熱帯の大陸や大陸島のほんの小さな領域にさえ、淡水魚、両生類、爬虫類、哺乳類の在来種はふんだんにいるのだ。

ダーウィンも指摘しているように、この違いは創造論では説明しがたい。「種はそれぞれ個別に創造されたとの教えを受け入れている人は、環境に最も適応した動植物が海洋島においては充分な数だけ創造されなかったのだと認めなくてはならないだろう」。だが、哺乳類や両生類や淡水魚や爬虫類が、海洋島に実際に適合しているとどうしてわかる？　もしかしたら創造主は、そこではうまく生きていけないという理由から、あえてそれらの種を置かなかったのではないか？　これに対する答えとしては、それらの動物が大陸島にはいると言えば充分だろう。いったいどうして創造主は大陸島と海洋島で、置く動物の種類をわざわざ変えるのか？　島がどのようにしてできたかは、ここでは問題にならないはずだ。ダーウィンは先の引用文を、さらに的確な答えで締めている。

「……人間は意図せずして、自然よりもよほど充分に、よほど完璧に、それらの動物をさまざまなところから調達して置いている」。

言い換えれば、哺乳類も両生類も淡水魚も爬虫類も、人間がそれらを海洋島に導入すれば、たいてい充分に生きていけるということである。それどころか在来種を押しのけて、一掃してしまうことさえ珍しくない。外来のブタやヤギはハワイのいたるところに広まって、在来種の植物を餌にし

ている。外来のネズミやマングースはハワイ産の美しい鳥の多くを殺し、一部の種を絶滅の危機に追いやっている。オオヒキガエルという熱帯アメリカ産の大きな有毒両生類は、サトウキビにつく甲虫を駆除する目的で一九三二年にハワイに導入されたが、いまでは逆に厄介者になっている。あまりにも繁殖力が強いうえに、誤ってこれを食べようとしたネコやイヌを毒で殺してしまうのである。ガラパゴス諸島にも両生類の在来種はいない。しかしエクアドル産のアマガエルが一九八八年に導入されて、以後はしっかりと三つの島で根を下ろしている。私が自分の研究用にショウジョウバエを採集しているアフリカ西海岸沖の火山島、サントメ島では、コブラが――おそらく偶然により――アフリカ本土から持ち込まれている。これが非常にうまく順応しているために、私たちは島の一部の領域では仕事ができない。コブラがあまりにも多くて、この猛毒を持つ攻撃的なヘビに一日のうちで何十匹も遭遇するからだ。陸生哺乳類も島にしっかり順応する。マサティエラ島でアレキサンダー・セルカークが生き延びるのを助けたのも、外来種のヤギだった。ヤギはセント・ヘレナ島でも繁殖している。世界のどこをとっても話は同じだ。人間が海洋島にそれまで存在していなかった種を導入すると、その種は在来種に取って代わり、絶滅させることさえある。哺乳類や両生類や爬虫類や淡水魚にとって海洋島はどこか不向きなのではないかという論は、これ以上追求するまでもないだろう。

そこで次に進むと、たしかに海洋島には多くの基本的な種類の動物が欠落しているが、そこに実際に見られる動植物は、たいていおびただしい数の個体がいて、多くの似たような種に分かれてい

る。ガラパゴス諸島を例にとろう。この諸島をなす一三の島々には、よそでは見られない鳥が二八種いる。その二八種のうち、一四種は同じ一つのグループに属していて、互いにとても類縁関係が近い。これが有名なガラパゴスフィンチ類だ。これほど圧倒的にフィンチに占められている鳥類相は、大陸や大陸島では決して見られない。ガラパゴスフィンチ類はもちろんフィンチの形質をいろいろと共有しているが、その生態はじつに多様で、食べるものも種によって、昆虫だったり種子だったり別の種の卵だったりと、くっきり分かれている。道具を使う珍しい種もあって、俗に「大工フィンチ」とも呼ばれるキツツキフィンチは、サボテンの棘や小枝を使って昆虫を木からほじくりだす。その名のとおり、ガラパゴスに存在しないキツツキの生態学的役割を果たしているわけだ。それから「吸血フィンチ」と呼ばれる種もいる。このフィンチは海鳥の尾部をつついて傷口を開かせ、流れ出る血液を飲み干す。

ハワイでは、さらに壮観な鳥類の適応放散が見られる。こちらの主役はハワイミツスイ族だ。約一五〇〇年前にポリネシア人がハワイに入ってきたとき、そこには約一四〇種の鳥の在来種がいた（これは鳥の「準化石」――古代の排泄物の山や溶岩洞に保存されていた骨――の研究からわかった）。そのうち約六〇種――鳥類相の半分近く――はハワイミツスイ族で、いずれも約四〇〇万年前にハワイに入ってきたフィンチの系列に属する単一の祖先から派生したものだった。残念ながら、いまではハワイミツスイはわずか二〇種ほどしか残っておらず、そのすべてが絶滅の危機に瀕している。残りはすべて猟や生息環境の喪失、人間が導入したネズミやマングースなどの捕食者によって絶滅

した。しかし、わずかに残ったハワイミツスイのなかにも、その生態学的役割の驚くほどの多様さは明らかに見てとれる。その一例を示したのが図22だ。鳥のくちばしは、その鳥の常食について多くのことを教えてくれる。ある種の鳥のくちばしは弓のように曲がっていて、花から蜜を吸いやすくなっている。別の種のくちばしは太く短く、オウムのような形状で、硬い種子を叩き割ったり小枝を砕いたりするのに向いている。また別の種は、茂った葉のあいだから昆虫をつまみだすのに適した、細長い、先端のとがったくちばしを持っている。あるいは鈎針のようなくちばしで木から昆虫をほじくりだして、キツツキと同じ役割を果たしている種もある。ガラパゴスフィンチの場合と同様に、ハワイミツスイも単一のグループのなかに多すぎるほどの種があって、それぞれの種が、大陸や大陸島ではまったく別の種によって占められているニッチを埋めている。

海洋島では植物や昆虫の適応放散も見られる。セント・ヘレナ島では昆虫の多くのグループが欠落しているが、小型の飛べない甲虫は数十種がここを住処（すみか）としていて、森林性のゾウムシは特に多い。ハワイには、私が研究しているグループ――ショウジョウバエ属のハエ――が本当にたくさんいる。ハワイ諸島の総面積は地球の陸地のわずか〇・〇〇四パーセントにすぎないが、ここには全世界のショウジョウバエ属二〇〇〇種のうちの半分近くが生息している。そしてフアン・フェルナンデス諸島とセント・ヘレナ島では、ヒマワリ類が驚くほどの適応放散を見せている。なかには小さな木のようにまで成長している種もあるほどだ。花を咲かせる小型の植物も、海洋島でだけは自分よりも背の高い大小の樹木と競争しなくてすむので、自らが木に進化できるのである。

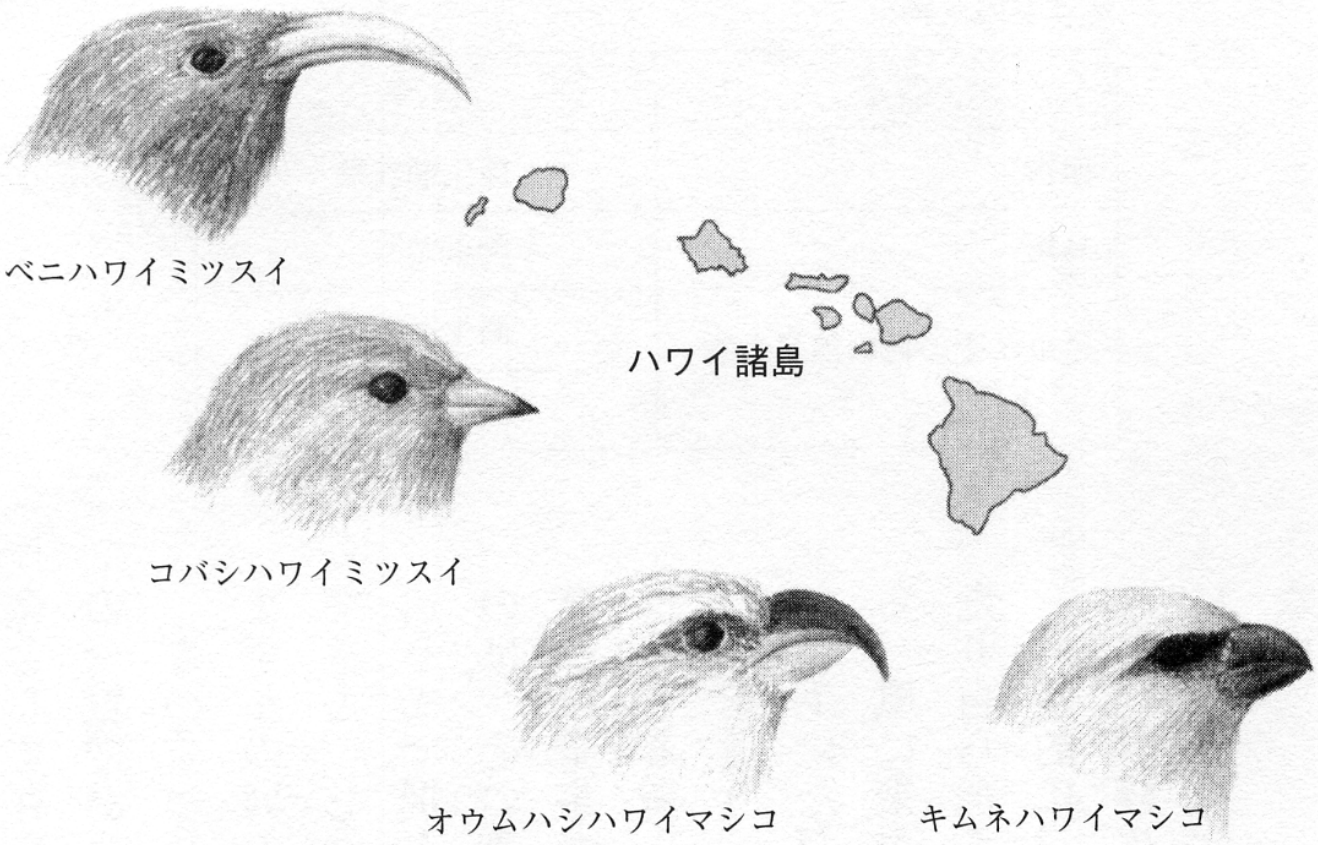


図22　フィンチの系列に属する祖先がハワイ諸島に定着したあとに進化したハワイミツスイのいくつもの近縁種は、適応放散の一例である。それぞれの種は、種類の異なる食物をついばむのに適したくちばしを持っている。ベニハワイミツスイ（イーウィ）の細長いくちばしは、花冠の長い管状花から蜜を吸うのに適しており、コバシハワイミツスイのわずかに交差したくちばしは、つぼみをこじ開けて昆虫やクモを探すのに向いている。オウムハシハワイマシコは大きなくちばしを使って樹皮を剥いだり小枝を裂いたりして、甲虫の幼虫を見つける。キムネハワイマシコは短いが頑丈なくちばしで、種子の殻を叩き割って種子を取り出す。

ここまでの話で、海洋島に関する二つの事実がわかったと思う。まず、海洋島には大陸や大陸島に生息する種のグループの多くが欠落している。しかしその一方、海洋島に実際に見られるグループは、じつに多くの似たような種を含んでいる。これらを考えあわせると、海洋島はそれ以外のどこと比べても、生物相がアンバランスだということになる。生物地理学の学説は、それがまともな学説なら、この違いを納得のいくように説明できなくてはならない。

だが、これにはさらに別の問題も関わっている。次ページの表を見てほしい。海洋島にたいてい原

海洋島の生物

原産	欠落
植物	陸生哺乳類
鳥類	爬虫類
昆虫とその他の節足動物（クモなど）	両生類
	淡水魚類

産として存在している生物群と、海洋島では一般に欠落している生物群の一覧である。

この二つの列の違いはなんだろう？　少し考えただけで答えは出る。まず左の列の種は、長い距離を越えて海洋島に分散し、棲みつくことができる。しかし右の列の種は、それをする能力がない。鳥は海を渡って遠くまで飛んでいける。そして渡った先に鳥といっしょに持ち込まれるのは、その鳥の卵だけではない。鳥に食べられていた植物の種子（鳥の糞から発芽できる）、鳥の羽についていた寄生虫、鳥の足についた泥に付着する微生物も含まれる。植物も、種子のあいだに波に運ばれて広大な海を渡り、島にたどりつける。棘や粘着質の皮がついた種子なら、鳥の羽毛にただ乗りして島まで行ける。シダや菌類やコケ類の軽い胞子なら、風に乗ってどこまでも飛ばされていける。昆虫も、やはり風に乗ったり自ら飛んだりして島に渡れる。

対照的に、右の列の動物は、よほどのことがないかぎり広大な海を渡れない。陸生動物と爬虫類は体が重く、あまり遠くまでは泳げない。そしてほとんどの両生類と淡水魚類は、そもそも塩水のなかで生きていけない。

そんなわけで、海洋島に見られる種は、まさしく遠い陸地から海を渡ってやってこられる種ということになる。だが、実際にそうだという証拠はあるのだろうか。鳥類学者なら誰でも知っているとおり、通常の生息地から何千キロも離れたところに「お客さん」の鳥が見られることがたまにある。風のせいか、あるいはナビゲーション機能がいかれていたせいか、来るはずのないところに来てしまったのだ。こうした迷鳥の一部が、遠い昔に海洋島に繁殖コロニーを確立した。たとえばムラサキバンも、ずっと前に偶然の来客として南大西洋の離島トリスタン・ダ・クーニャにやってきて、ついに一九五〇年代からそこで繁殖するようになっている。

ダーウィン自身も、単純だが明快な実験を行なって、数種の植物の種子が長時間にわたって海水に漬けられたあとでも発芽できることを証明した。西インド諸島原産の種子が遠く離れたスコットランドの岸辺で見つかっているのも、明らかにメキシコ湾流に乗って運ばれてきたからだ。同じように南太平洋の島々でも、大陸や別の島から流れてきた「迷い種子」が見つかっている。かごの鳥は植物の種子を消化管のなかで一週間以上も保持できるから、長距離移動は明らかに可能だ。飛行機や船にわなを取り付けて、陸地から遠く離れたところで空中の昆虫の標本を集めるという試みも、過去に何度も成功している。そうして集められた昆虫には、バッタ、ガ、チョウ、ハエ、アブラムシ、甲虫などの種が含まれている。チャールズ・リンドバーグも一九三三年の大西洋横断飛行の際に、顕微鏡のガラスのスライドを空中にかざして、無数の微生物や昆虫の一部分を採取した。また、多くのクモは幼体のときに、糸をパラシュートのようにして飛行する「バルーニング」によって分

散する。そうして流れていったクモは、陸地から数百キロ離れた孤島でも見つかっている。

動植物は天然の「いかだ」にただ乗りして島にたどりつくこともある。要するに、おもに大陸の河口から流れてきた丸太や草木の塊のことだ。一九九五年、おそらくハリケーンで飛ばされたと思われるが、そうした大きないかだの一つが三〇〇キロ以上離れたカリブ海のアンギラ島に、積んでいた一五頭のイグアナを降ろした。それがこの島で初めて現れたイグアナだった。北米のダグラスから流れてきた丸太が遠いハワイで見つかったり、南米からの丸太がタスマニアまでたどりついた例もある。こうした流れ着き方もあることで、ガラパゴスのイグアナやゾウガメのように、爬虫類がまれに海洋島の固有種になっている理由も説明できる。

さらに、海洋島の原産となっている昆虫や植物のタイプを見てみると、まさしく移住するのに最もふさわしいグループからなっていることがわかる。ほとんどの昆虫は小型で、簡単に風に乗れるようなものばかりだ。そしてひょろひょろした雑草に比べ、樹木は海洋島ではかなり珍しい。おそらくそれは、たいていの木の種子が重いため、波に浮かぶこともなければ鳥に食べられることもないからだろう（ただし、よく知られた例外がココヤシで、大きいが浮力のある種子を持つココヤシは、太平洋とインド洋の島のほぼすべてに生えている）。このように樹木が少ないことは、大陸では総じて短い雑草にしかならない植物の多くが、島では背の高い樹木のような形態に進化している理由の説明にもなっている。

一方、陸生哺乳類はあまり移住に適した動物ではない。だから海洋島にはそれらが存在しない。

しかし、哺乳類がまったく存在しないわけではない。ここで二つの例外が出てくるが、それがまた本来の原則をよりいっそう際立たせるのである。まず一つ目の例外については、ダーウィンの文章で紹介しよう。

陸生哺乳類は海洋島には存在しないが、空中を飛ぶ哺乳類ならほぼすべての島に存在する。ニュージーランドには、世界中のどこにも見られない二種のコウモリがいる。ノーフォーク島にも、ヴィティ諸島にも、小笠原諸島にも、カロリン諸島とマリアナ諸島にも、モーリシャス島にも、それぞれに特有のコウモリがいる。いったいなぜ、と問われるかもしれない。一般に信じられている創造の力は、遠く離れた孤島にコウモリを生み出しておきながら、どうしてほかの哺乳類はいっさい生み出していないのか？　私の見解では、この問いには容易に答えられる。陸生哺乳類が広大な海を渡って運ばれることはありえないが、コウモリならば飛び越えていけるからである。

さらに島には水生の哺乳類もいる。ハワイにはモンクアザラシの固有種がおり、フアン・フェルナンデス諸島には原産のオットセイがいる。海洋島の原産哺乳類がそこで創造されたのでなく、前に移住してきたものから派生したのなら、その祖先の移住者は空を飛べたか、水中を泳げたに違いないと予言できる。

しかし、遠い島への種の長距離分散がそう頻繁に起こることでないのは明らかだ。昆虫や鳥が広大な海を横断して島に上陸するだけでなく、そこで繁殖集団を確立することまでできる（それにはすでに受精しているメスか、性の異なる二つ以上の個体が必要である）可能性は、きわめて低いに違いない。それに、もしも分散がよくあることなら、海洋島の生物相は、大陸や大陸島の生物相ときわめて似たものになっているはずだ。とはいえ、ほとんどの海洋島は、形成されてからすでに何百万年も経っている。それだけの長さがあれば、ある程度の移住は充分に起こりうるだろう。動物学者のジョージ・ゲイロード・シンプソンが言っているように、「完全に不可能でないことであれば……それは充分な時間さえ経てば必ず起こりうる」。仮説上の例で言えば、ある任意の種が、毎年一〇〇万回に一回の確率でどこかの島に移住できるとする。一〇〇万年経ったのち、その島に一回は移住が起こっている可能性はかなり高くなっている。正確に言えば六三パーセントだ。

最後にもう一つ、海洋島での進化を裏づける論拠を挙げて、この一連の主張を終えるとしよう。海洋島の動植物に最も似ている種は、ほぼ例外なく、その島から最も近い本土に見られる種だということだ。たとえばこれは、ガラパゴス諸島にも当てはまる。ガラパゴス諸島に生息する種は、南米大陸の西海岸を原産とする種に似ている。それはガラパゴスと南米が、神に創造された種にとってちょうど同じような生息環境を持つからだ――というような意見では、この類似性は説明できない。ガラパゴスは乾燥していて、樹木のない、火山性の島である。一方、南北アメリカの多くを占める、樹木の生い茂った熱帯地方はまるで環境が異なっている。ダーウィンはこの点に関して特に

雄弁だった。

博物学者は、これら大陸から何百マイルも離れた太平洋上の火山島の生息物を見て、自分がアメリカの本土に立っているかのように感じるだろう。なぜここがこのようになっているのか？　ほかのどこでもなく、このガラパゴス島で創造されたとされる種が、アメリカで創造された種と類似する特徴をなぜこれほど明白に備えているのか？　生活条件においても、島の地理学的性質においても、高さや気候においても、あるいは異なる分類が関連づけられる比率においても、南米大陸の沿岸の条件とよく似ているものは何もない。むしろ、すべての点において著しい違いがあるほどだ。……このような諸事実をかんがみるに、独立した創造という通常の見方からの説明はいっさいありえない。一方、ここで主張している見方に従えば、ガラパゴス島にはアメリカからの移住者が入ってきているのだろうと明らかに予想される。それはときおり運ばれてきたのかもしれないし、あるいは（私はこの説を信じていないが）かつてつながっていた陸地を通ってきたのかもしれないが……こうした移住者は一時変異を免れないだろう――が、それでも遺伝の法則がそれらのそもそもの発祥地を明かすのである。

ガラパゴスがそうなら、ほかの海洋島でもそうだろう。フアン・フェルナンデス諸島に固有の動植物の最も近い類縁は、そこから最も近い大陸である南米大陸南部の温帯林を原産とする。ハワイ

の固有種のほとんどは、インド太平洋海域の近辺――インドネシア、ニューギニア、フィジー、サモア、タヒチ――か、もしくは南北アメリカを原産とする種にそっくりだ（ただし同一ではない）。とはいえ、風の気まぐれさや海流の方向を考えれば、島に入ってくるものすべてが最も近いところから来ているとは限らない。たとえばハワイ原産の植物種の四パーセントは、最も近い類縁がシベリアやアラスカにいる。島の種と最も近い本土の種との類似性はまだ説明が必要だ。

要約すれば、海洋島には大陸や大陸島とは違った特徴がある。海洋島の生物相はアンバランスで、生物の主要グループが欠けており、しかもそのグループがどの島でも欠けている。一方、そこに存在している生物は、たいてい多くの似たような種からなっている（つまり「放散」している）。しかもそれらの生物は、鳥や昆虫など、広大な海を越えて分散することが最も容易にできる種だ。そして海洋島に生息する種に最も類似した種は、たいていその島から最も近い本土に見つかる。島と本土の生息環境が違っていても、この傾向は変わらない。

では、これらの諸事実をどう噛みあわせよう？　それには単純な進化の説明で事足りる。海洋島に生息するものは、以前にその島に入ってきた種の子孫であり、その祖先はたいてい近くの大陸から、長距離分散というまれにしか起こらないことを通じてやってきた。海洋島には競争相手や捕食者のいない空っぽの生息環境がたくさん用意されていたため、偶然に入ってきた移住者は、そこで多くの種を形成することができた。こうした事情から、島では種分化と自然淘汰が抑制されることなく働き、ハワイミツスイに見られるような「適応放散」を生じさせる。このように、ダーウィン

の考えた淘汰と進化と共通祖先と種分化のプロセスに、起こりうることがわかっている偶発的な分散という要素を足せば、すべてがきれいに噛みあうのである。つまり海洋島は、進化論のあらゆる原則を実証しているようなものなのだ。

忘れないでおきたいのは、こうしたパターンが大陸島では概して当てはまらないことである（例外についてはこのあと述べる）。大陸島は、かつて地続きだった大陸と、生息する種が同じだからだ。たとえばグレート・ブリテン島の動植物は、はるかにバランスのとれた生態系を形成しており、各動植物の種はヨーロッパ本土にいる種とほとんど同一である。海洋島と違って、大陸島の場合は本土から切り離された時点で、すでにほとんどの種がそこに存在していたのである。

こうしたパターンを、海洋島にいる種も大陸にいる種も特殊に創造されたという観点から説明できる理論があるだろうか。創造主はどうして両生類や哺乳類や魚類や爬虫類を海洋島では除外しておきながら、大陸島では除外しないのか？　どうして海洋島では似たような種の放散を起こしておきながら、大陸島では起こさなかったのか？　海洋島の種はどうして最も近い本土の種と似ているように創造されたのか？　どれにもいい答えは浮かばない――もちろん、種を島で進化したように見せかけることが創造主の目的だったと考えるなら話は別だが。しかし、そのような答えには誰も飛びつかないだろう。だから創造論者は島の生物地理学を無視しているのだ。

さて、これで最後の予言ができる。遠い昔に本土から切り離された非常に古い大陸島は、新しい大陸島と海洋島の中間にあたる進化パターンを示すはずではなかろうか。たとえばマダガスカルや

ニュージーランドは、それぞれ一億六〇〇〇万年前と八五〇〇万年前に大陸から分断された大陸島だ。こうした古い大陸島がずっと隔絶されてきたあいだに、哺乳類や現代の植物のような多くの種が進化してくる。これらの島が本土から分かれた時点で、いくつかの生態的ニッチは空いたまま残っていた。そこに、あとから進化した種が入ってきて定着する機会が生じるだろう。したがって、これらの古い大陸島はいくぶんアンバランスな動植物相になっていて、本物の海洋島の生物地理学的特性が多少なりとも表れているはずだ。

そして実際、現実はまさにそのようになっている。マダガスカル島は独特の動植物相を持つことで有名だ。多くの原産の植物があり、最も原始的な霊長類であるキツネザルはこの島でしか見られない。キツネザルの祖先は、およそ六〇〇〇万年前にマダガスカル島に入ってきたのち、七五種以上の固有種に放散した。ニュージーランドにも多くの原産種がある。最も有名なのは、各種の飛べない鳥だ。一五〇〇年ごろに狩猟で絶滅した体長四メートル以上にも及ぶ巨大な恐鳥のモア、キーウィ、でっぷりした地上性オウムのカカポ（フクロウオウム）などである。そして海洋島の「アンバランスさ」もやはり見受けられる。ニュージーランドに固有の爬虫類はわずかしかおらず、両生類の固有種は一種だけで、哺乳類は二種だけ、その両方がコウモリだ（最近になって小さな化石哺乳類が見つかっているが）。種の放散も見られ、いまではすべて絶滅してしまったが、前述のモアは一一の種に分かれていた。そして海洋島と同じように、マダガスカルとニュージーランドに生息する種は、それぞれに最も近い本土、アフリカとオーストラリアに生息する種と類縁関係を持って

いる。

結び

生物地理学の最大の教えは、進化論でしか大陸と島の生物の違いは説明できないということだろう。しかし、教わることはもう一つある。それぞれの生物分布は偶然性と法則性の両方を反映しているということだ。偶然性について言えば、動植物の分散は気まぐれな風や海流といった予測不能な要素に左右される。たどりついた先でうまく定住できるかどうかもわからない。もし最初のフィンチがガラパゴスやハワイに現れていなかったら、今日そこにはまったく違った鳥類が見られていたかもしれない。あるいはキツネザルに似た祖先の生物がマダガスカル島にやってきていなかったら、この島には（そしておそらく地球上にも）キツネザルは存在していなかっただろう。誰が孤島に置き去りにされるか、それを決めるのは時代と偶然だけである。これは「ロビンソン・クルーソー効果」とでも呼べるかもしれない。だが、同時にここには法則性も関わっている。進化論の予言に従えば、まだ誰にも占められていない新しい生息環境にやってきた動物や植物の多くは、そこで進化して繁栄し、新しい種を形成して、生態的ニッチを埋める。また、それらの動植物の類縁は、たいていそこから最も近い島か本土に生息している。そして実際、あらゆるケースでそれが実証されている。この偶然性と法則性の独特の相互作用をわかっておかないと、進化は理解できないだろ

う。次の第5章で見るように、この相互作用は自然淘汰という概念を理解するうえで非常に重要なものなのである。

生物地理学から教わることはほかにもある。それは生物保存の領域に関わることだ。島の動植物は、ほかの場所に生息する種と隔絶された環境に適応している。そこには本来の競争相手もいなければ捕食者も寄生者もいない。大陸に見られるような生物の多様性を経験していないため、島の動植物は他者と共存していくことが不得意である。したがって島の生態系は壊れやすく、生息環境や種を破壊できる外来の侵入者にあっさりとやられてしまう。そうした侵入者のなかでも最悪なのが人間で、森林伐採や狩猟で島を荒らすだけでなく、ウチワサボテン、ヒツジ、ヤギ、ネズミ、ヒキガエルなど、生態系にとって破壊的なものを持ち込んでくる。海洋島の独自の種の多くは、人間の行為の犠牲者となってすでにいなくなっており、間違いなく（残念なことに）これからも、さらに多くの種が遠からぬうちに消えていくだろう。われわれが生きているあいだにハワイミツスイの最後の一羽を見ることになるかもしれないし、ニュージーランドのカカポやキーウィ、マダガスカル島のキツネザル、あるいはそれほどカリスマ的ではないかもしれないが、それでも興味深い多くの希少な植物の消滅も見るようになるかもしれない。それぞれの種は、いずれも数百万年来の進化の歴史を反映している。それがいったん消えてしまったら、もう二度と取り戻すことはできない。種はそれぞれが、過去についての独自の物語を収めた本なのだ。それを失うことは、生命の歴史の一部を失うことにほかならない。

第5章

進化のエンジン

オオカミの歯ほど鋭利に研がれているものが
レイヨウの足ほど速いものがあるだろうか。
恐怖と飢えほど鳥を一目散に飛ばすものが
その宝石のような目ほどオオタカの頭を美しく飾るものがあるだろうか。

——ロビンソン・ジェファーズ「血まみれの種馬」

アジア産の巨大なスズメバチは、進化の驚異の一つである。この捕食性のハチは特に日本でよく見られるが、これほどまでに怖い昆虫はちょっとほかに思い浮かばない。これは世界最大のスズメバチで、体長が人間の親指ほどもあり、五センチほどの胴体は見るも恐ろしい橙色と黒色の縞模様で飾られている。ぞっとするような顎で獲物の昆虫を押さえ込んで殺し、六ミリほどの毒針は、年に数十人のアジア人を死にいたらせるほどの威力を持っている。さらに羽を広げると横幅が七、八

センチにもなり、時速四〇キロで飛行できる（人間が走るよりも速い）から、一日で一〇〇キロ近くも飛び回れる。

このスズメバチは獰猛なだけでなく、食欲旺盛でもある。スズメバチの幼虫はまるまると太った飽くことを知らない摂食マシンで、ひっきりなしに巣に頭を打ちつけて、肉への渇望をまわりに知らせる。その執拗な食欲を満たしてやるために、スズメバチの成虫は大小の社会性のハチの巣を襲撃する。

スズメバチのおもな被害者の一つが、外来のヨーロッパ産ミツバチである。ミツバチの巣が急襲されると、自然界にほとんど並ぶもののない無慈悲な大量殺戮が起こる。悲劇は一匹の斥候スズメバチが巣を見つけるところから始まる。斥候は自分の腹を使って、巣に破滅をもたらすマークをつける。フェロモンを一滴、ミツバチのコロニーの入口近くに落とすのである。このマークに引きつけられて、斥候の仲間がいっせいに現場にやってくる。隊列を組んだ二〇～三〇匹のスズメバチの一団が、最大三万匹のミツバチのコロニーに向かっていく。

だが、勝負は最初から見えている。顎を激しく振り動かしながら巣に襲いかかったスズメバチは、ミツバチの頭をつぎからつぎへと切り落としていく。各スズメバチが一分に四〇個の割合でミツバチの首を落としていくので、数時間もすれば戦いは終わる。ミツバチは残らず殺され、体の切れ端が巣に散乱している。それからスズメバチは貯蔵食糧を持ち帰る。翌週のあいだ、スズメバチは規則正しく巣の略奪に向かい、蜜を食べ、無力なミツバチの幼虫を自分たちの巣に持ち帰る。そこで

ただちにミツバチの幼虫は、スズメバチの幼虫の大きく開けた口のなかに放り込まれる。

これを「自然は歯と爪を略奪で赤く染める」と表現したのは詩人のアルフレッド・テニソンである。[23] スズメバチは恐ろしい狩猟マシンであり、外来種のミツバチは防御するすべを持たない。だが、この巨大なスズメバチを撃退できるミツバチが存在する。それは日本原産のミツバチだ。そして、その防御のしかたが目を見張るほどすばらしい。これもまた一つの適応行動の驚異である。スズメバチの斥候が最初に巣にやってきた時点で、入口近くにいたミツバチがいっせいに巣に入り、仲間に武装を呼びかけるとともに、斥候スズメバチを巣に誘い込む。そのあいだに、何百匹もの働きバチが入口のなかに集合する。スズメバチは内部に入ったとたん、大量のミツバチに四方八方から飛びかかられて、密集したミツバチの球に閉じ込められる。そこでミツバチが腹部を振動させはじめる。たちまち球の内部の温度が上がり、およそ摂氏四七度に達する。ミツバチはこの温度でも生きられるが、スズメバチはそうではない。二〇分もすると、斥候スズメバチは熱死し、巣は——ほとんどの場合——救われる。私はこの例のほかに（スペインの異端審問は除いて）動物が敵をあぶって殺す話など聞いたことがない。[24]

この逆転劇には、進化に関するいくつかの教えが含まれている。何より明らかなのは、スズメバチがみごとなまでに殺戮向きに適応していることだ。まるで大量殺戮者になるようデザインされたかのようである。しかも多くの形質が働きあって、このハチを殺戮マシンにしている。たとえば体の形態（大型、毒針、破壊的な顎、大きな羽）、化学物質（フェロモンや針内の致死的な毒を生成）、

その行動（高速飛行、ミツバチの巣への協調攻撃、成虫にその攻撃を促す幼虫の「おなかがすいた」行動）。一方、これに対する原産ミツバチの防御がある。協調して群れをなし、結果として敵をあぶり殺す。これは明らかに、スズメバチのたびかさなる攻撃に対応して進化したものだ（こんな行動が鉛筆の先よりも小さな脳に遺伝的に組み込まれているのだ）。

対照的に、最近になって導入されたヨーロッパ産のミツバチは、スズメバチに対して文字どおり無防備だ。それも当然だろう。この種のミツバチは大型の捕食性スズメバチがいないところで進化したので、自然淘汰が防衛手段を構築しなかったのだ。しかしながら、もしスズメバチが充分に脅威的な捕食者であれば、ヨーロッパ産のミツバチはいずれ死滅するか（再導入されれば別だが）、さもなくばスズメバチに対する自分たちなりの進化的対応をとるようになるだろう――それは必ずしも日本産のミツバチのやりかたと同じではない。

しかし世界には、もっと陰険な戦術を採用した適応のしかたもある。その一例が、ある中米産のアリの種に寄生する回虫のやりかたである。これに感染したアリは、外見も行動も徹底的に変化する。まず、本来は黒いはずの腹部が真っ赤になる。動きは緩慢になり、腹を空にまっすぐ向けるようになる。上から見たら、まるで挑発的な赤旗のようだ。腹部と胸部のあいだの細長い接合部は脆弱になる。そして感染したアリは警報フェロモンを分泌しなくなるので、攻撃されても仲間に知らせられない。

これらの変化はすべて、寄生した回虫の遺伝子によって引き起こされている。それは回虫が繁殖

するための巧妙な策略なのだ。回虫がアリの外見と行動を変化させると、アリは鳥に向けて自分をおいしい果実のように宣伝することになる。それはとりもなおさず、自分に死をもたらすことでもある。果実のような真っ赤なアリの腹部がどんな鳥にも見えるようにまっすぐ上に向けられると、それはいとも簡単にもぎとられる。アリは動きがのろくなっているうえに、腹部と体のほかの部分との接合部が弱くなっているからだ。鳥はこの腹部を丸呑みするが、その腹部には回虫の卵がぎっしり詰まっている。鳥はその卵を自分の糞に入れたまま落とし、それをアリがあさって巣に持ち帰り、幼虫に食べさせる。回虫の卵はアリの幼虫の体内で孵化し、成長する。アリの幼虫が蛹になると、回虫はアリの腹部に移動して交尾し、また卵を産む。こうしてふたたび例のサイクルが始まる。

このほかにも、寄生生物が自分の遺伝子を伝えるためだけに乗り物をコントロールする事例はたくさんある。こうした驚くべき適応に、進化学者は大いに活気づく[25]。単純な回虫に自然淘汰が働いた結果、回虫は寄主を勝手にわがものとし、その外見や行動や構造を変化させて、おいしそうな偽物の果実にしてしまうのである[26]。

こうした適応は、数えあげればきりがない。よくあるのは、動物が敵から隠れるために自分の姿を植物に見せかけて、草木にまぎれてしまう適応だ。たとえばキリギリス類は、植物の葉とほぼそっくりな外見をしていて、葉の模様や「虫食い」の穴まで備えている。擬態があまりにも正確なので、草木で埋もれた小さな虫かごのなかにキリギリスを見つけるのは容易ではない。ましてや野生でとなれば言うに及ばずである。

あるいは逆に、植物が動物にそっくりな例もある。ランのいくつかの種は、外見がハチに似ている花をつける。偽の眼点もついており、花びらは羽のような形状をしている。そのそっくり具合は多くの近視眼的な昆虫のオスをだますのに充分で、うっかり者のオスは花にとまって花と交尾しようとする。そのあいだ、ランの花粉嚢は虫の頭部に接着している。いらだった虫が激情を満たせないまま立ち去るとき、虫は意図せずして花粉を次のランに運び、また無益な「偽交尾」をしているあいだにランを受精させる。自然淘汰がランを偽の昆虫に形作ってきたのは、授粉媒介者をこのような方法で引きつける遺伝子が高い確率で次世代に受け継がれるからである。一部のランはさらに授粉媒介者を引きつける手段として、ハチの性フェロモンと同じような匂いのする化学物質の分泌まで行なっている。

餌を見つける目的も、交尾相手を見つけるためと同じように複雑な適応を果たさせる。とさかのついた北米最大のキツツキであるカンムリキツツキは、木をつついて穴をあけ、木質部からアリや甲虫などの昆虫を引っぱりだすことで暮らしを立てている。樹皮の下の獲物を探知できるすばらしい能力（おそらく獲物の動きを聞きとれるか感じとれるのだと思われるが、正確なところはわからない）はもちろん、カンムリキツツキはあらゆる形質がすべて餌を捕獲し、木をつつくのに役立っている。なかでも最も驚異的なのは、そのとんでもなく長い舌だろう[27]。舌の根元は顎骨に接着していて、そこから舌先が片方の鼻孔を抜け、頭の裏側で完全に丸まったあと、ようやく下側からふたたびくちばしに入ってくる。ほとんどのあいだ舌は口の奥に引っ込められているが、必要となれば

木の奥に長く伸びてアリや甲虫を探しあてられる。先端がとがっていて、さらに粘着質の唾液がついているために、穴から容易においしい昆虫を引きずり出せる。また、木に大きな巣穴をくりぬいたり、木をつついて交尾相手を引き寄せたりテリトリーを守ったりするのにも、そのくちばしが使われる。

キツツキはいわば生物界の削岩機である。だが、繊細な生物が堅い樹木をえぐりぬいていって自らが傷つかないものだろうか（厚板に釘を打ち込むときに要する力を考えてみてもらいたい）。実際、カンムリキツツキの頭骨が受ける反作用は恐るべきものだ。この鳥はコミュニケーションのための「ドラミング」をするとき、一秒に最大一五回、木をつつくことができる。その一回につき、人間が壁に頭を時速二五キロで打ちつけるのと同等の力が生じる。これは自動車もつぶせるほどの速度だ。まじめな話、カンムリキツツキの脳が損傷を受ける危険性は充分にあり、これほど強い力のもとでは眼球が頭蓋骨から飛び出たとしてもおかしくはない。

しかしキツツキの頭骨は、脳が損傷を受けないように特殊な形状になっており、追加の骨で補強されてもいる。くちばしは緩衝材となる軟骨のうえに乗っていて、くちばしのまわりの筋肉は毎回つつきの直前に収縮し、衝突時の力を脳から頭蓋骨の補強された基部に逃がしている。つつきのたびにまぶたが閉じられるので眼球が飛び出ることもない。また、柔らかい羽毛が扇のように鼻孔を覆っているので、つつきのあいだに木屑や木片を吸い込むこともない。つつくときは非常に固い尾羽を使って木に体をもたせかけ、X状に交差した四本の足指（前に二本、後ろに二本）でしっかり

と幹をつかむ。

実際、自然界のどこを見渡しても、動物はその環境にあわせてみごとにデザインされているかのように見える。それも温度や湿度といった物理的な生活環境だけでなく、あらゆる種が対処しなくてはならない競争相手や捕食者や被食者といった別の生物も含めての環境である。これだけ見ると、動物は天によるデザインの産物であり、それぞれがうまく機能するように神に創造されたのだと初期の博物学者が信じ込んだのも無理はない。

ダーウィンはその考えを『種の起源』で消散させた。ある一章で、ダーウィンは何世紀にもわたって維持されてきた神のデザインという確信を、同じ結果をもたらす別のプロセスの概念と完全に入れ替えてしまった。すなわち意識のない、唯物主義的な、自然淘汰というプロセスである。この洞察が生物学のみならず、人々の世界観にまで与えた影響は、どれほど評価してもしすぎることはない。自然淘汰の考えはいまなお猛烈で不合理な反対を呼んでいるほどなのだ。

だが、自然淘汰は生物学にとっても多数の問題を提起した。それが実際に働いている証拠はあるのか？　それは本当に適応を――複雑な適応まで含めて――説明できるのか？　ダーウィンは自説を主張するのに、おもに類推に頼った。例の有名な、動植物を食用や愛玩用や装飾用の生物に変えるのに成功したブリーダーたちの話である。しかし自然の個体群に淘汰が働いている直接的な証拠を、当時のダーウィンはほとんど持っていなかった。ダーウィンは付け加えるように、自然淘汰は非常に時間のかかるプロセスで、個体群を何千年、あるいは何百万年もかけて変えていくものだか

ら、一人の人間が生きているあいだに自然淘汰が働いているのを確認するのは難しいと論じた。

幸い、野外と研究室の双方における生物学者の努力のおかげで、いまではその証拠が――しかも豊富に――得られている。自然淘汰はいたるところで起こっていた。個体を精査して、不適合なものを処分し、より適合しているものの遺伝子を助成している。自然淘汰は複雑な適応を、ときには驚くほどの短時間で生み出すことができる。

自然淘汰はダーウィニズムのなかで最も誤解されている部分だ。自然淘汰がどう働くかを確認するために、単純な適応の一例として、野生のマウスの毛皮の色をとりあげてみよう。通常の色をしたハイイロシロアシマウス（*Peromyscus polionotus*）は、毛皮が茶色で、褐色の土壌に穴を掘って棲んでいる。しかしフロリダ州メキシコ湾岸の白っぽい砂丘では、同じハイイロシロアシマウスの種でも毛皮が薄い色をした、俗に「ビーチマウス」と呼ばれる種族が棲んでいる。このマウスは背中にかすかに褐色の縞が入っているだけで、あとはほぼ白一色だ。この白色は、タカやフクロウやサギといった白い砂丘の捕食者からマウスを隠蔽するための保護色として果たされた適応である。だが、これが本当に適応だとどうしてわかるのか？　それに関して、カンザス州立大学のドナルド・カウフマンがある単純な（しかし、いささか陰惨な）実験を行なっている。その結果、棲んでいる土壌の色と毛皮の色が合致しているマウスほど、生存できる確率が高いとわかった。カウフマンは戸外にいくつかの大きな囲いをつくり、その一部には白っぽい土を敷き、もう一部には黒っぽい土を敷いた。そして、それぞれの囲いに褐色の毛皮のマウスと白色の毛皮のマウスを同じ数だけ

入れた。それから腹をすかせたフクロウをそれぞれの囲いに放ち、しばらくしてから、どのマウスが生き残っているかを確認した。予想されたとおり、毛皮の色が土の色とはっきり異なっているのがわかるマウスほど、あっさりと狙い撃ちされていた。つまり、保護色をまとったマウスは本当に生存確率が高いのである。この実験は、自然界に全般的に見られる相関関係、すなわち褐色の土壌には褐色のマウスが棲むことの理由を説明してもいる。

白い毛皮はビーチマウス独自の特徴なので、この種族は内陸に棲む茶色いマウスから進化したものと思われる。おそらく、海岸線に並行する堡礁島とその白い砂丘が最初に本土から切り離された六〇〇〇年前ごろのことだろう。こういうところに自然淘汰は働くのである。もともとハイイロシロアシマウスの毛皮の色には濃淡の差があり、海岸の白っぽい砂地に侵入してきたハイイロシロアシマウスのなかでは、より白っぽい毛皮をしていた個体ほど生存確率が高く、褐色のマウスは簡単に捕食者に見つけられてしまったのだろう。また、色の薄いマウスと濃いマウスとでは、遺伝子に違いがあることもわかっている。ビーチマウスは「薄い色」をつくる色素形成遺伝子の組み合わせを持っており、この遺伝子が働きあってマウスの毛皮の色を薄くしている。一方、通常のハイイロシロアシマウスは「濃い色」をつくる色素形成遺伝子の組み合わせを持つのである。通常と異なる捕食条件のもとでは、薄い色をしたマウスほど、自分が持つ薄い色の遺伝子のコピーをより多く残せたので（それだけ生存率と繁殖率が高いので）、そのプロセスが何世代にもわたって続くうち、ビーチマウスの個体群は濃い色から薄い色に進化したわけだ。

だが、それは具体的にどういうことなのか？　毛皮の色に働いた自然淘汰が、単純に個体群の遺伝子組成を変え、生存率と繁殖率を高める遺伝子変異体（すなわち薄い色の遺伝子）の比率を高めたというだけである。ちなみに、私はいま自然淘汰が「働く」という言い方をしたが、この表現は正確ではない。自然淘汰は外部から個体群に押しつけられるメカニズムではなく、むしろ、よりよい適応を生じさせる遺伝子が時間とともに高い頻度になっていくことを表した「プロセス」なのである。ある形質の「うえに」淘汰が働くという言い方を生物学者はよくするが、それは一種の方便であり、正確には、その形質が淘汰プロセスを経験しているということだ。同じ意味で、種はそれぞれの環境に適応しようとはしていない。そこには意志は介在せず、意識的な努力もない。環境への適応は、種に適切な遺伝的変異さえ起これば必然的になされるものなのだ。

自然淘汰による適応がなされるには三つの条件が必要となる。第一に、最初の個体群に多様性がなくてはならない。前の例で言うなら、個体群のなかのマウスは毛皮の色にある程度の違いを見せていなければならない。さもないと、この形質は進化できない。マウスの場合は、実際にそのとおりだった。内陸の個体群はたしかに毛皮の色にある程度の多様性を見せている。

第二に、その多様性の何割かは、遺伝子型の変化が原因でなくてはならない。つまり、多様性にはある程度の遺伝的基盤（専門的に言えば「遺伝率」）がなくてはならないということだ。白いマウスと茶色いマウスのあいだに遺伝子の違いがなかったら、白いマウスが砂丘でより多く生き残ったとしても、その毛皮の色の違いは次世代に伝えられないので、進化的変化は起こりようがない。

実際、これらのマウスでは遺伝的要件も満たされていた。濃淡の色の違いに最も大きな影響を与える二つの遺伝子も特定されている。一つはアグーチ遺伝子といい、家畜のネコに突然変異で黒い色を生じさせたのがこの遺伝子である。もう一つはＭＣＩＲ遺伝子という。この突然変異体の一つは、人間のそばかすと赤毛をつくっており、それが特によく見られるのがアイルランド人だ。[28]

この遺伝的差異はどこから生じるのだろう？　それは突然変異からである。細胞分割で分子がコピーされるときにエラーが起こって、ＤＮＡ配列が偶発的に変化するのだ。突然変異によって生じる遺伝的差異は、さまざまな面に見られる。たとえば人間の目の色の違いも、血液型の違いも、その他われわれの――およびほかの種の――身長や体重や生化学といった無数の形質における差異のかなりの部分も、遺伝子型の突然変異で説明できる。

科学者は研究室での多数の実験にもとづいて、突然変異はランダムに起こると結論してきた。この「ランダム」という言葉には厳密な意味があるのだが、ともすると生物学者でさえ、その意味を取り違えていることがある。ここで言っているのは、「それが個体にとって有益であるかどうかとは関係なしに突然変異は起こる」ということだ。突然変異はＤＮＡ複製のエラーにすぎない。突然変異の大半は、有害であるか、何も影響がないかのどちらかで、ごく一部だけが結果的に有益となる。有益な突然変異はたしかに進化の材料である。しかし、ある生物が目下なんらかの適応を必要としているとして、その必要性が突然変異でかなえられる確率をなんらかの生物学的手段で引き上げられるかといえば、そのような手段はわれわれの知るかぎり一つもない。砂丘に棲むマウスに

とっては色の薄い毛皮を持っているほうが有利だが、そうした有益な突然変異がそれらのマウスに起こる確率は、褐色の土壌に棲むマウスに起こる確率よりも高いわけではない。突然変異は「ランダム」というより、「無頓着に」起こるといったほうが正確かもしれない。突然変異が起こる確率は、それが個体にとって有益であるか有害であるかには無頓着なのである。

そして自然淘汰の三つ目の要件は、遺伝的差異が個体の子を残す確率に影響を与えていなくてはならない、ということである。マウスの例で言えば、カウフマンの捕食実験で示されたように、保護色をまとったマウスは自分の遺伝子のコピーをより多く残すことになる。つまりビーチマウスの白い色は、適応的な形質として進化するのに必要なすべての基準を満たしているわけだ。

このように、自然淘汰による進化には偶然性と法則性の両方が関わっている。最初に「偶然の」（あるいは「無頓着な」）プロセスとして突然変異が起こり、良いものも悪いものも含めた一連の遺伝子変異体を生じさせる（マウスの場合なら、新しい毛皮の色に多様性が生じる）。次に「法則的な」プロセスとして自然淘汰が起こり、この多様性を整理していく。良いものは保存し、悪いものは摘み取っていくのである（砂丘では、薄い色の遺伝子が濃い色の遺伝子を犠牲にして増えていく）。

ここはダーウィニズムの最も一般に誤解されている部分だ。俗に言う、進化では「すべてが偶然に起こる」という考えである。このよく聞くフレーズは、まったくの誤りだ。進化学者は誰一人として――もちろんダーウィンも――自然淘汰が偶然にもとづいているとは言っていない。まったく

逆である。完全にランダムなプロセスだけでカンムリキツツキができるだろうか？　ハチのような偽装をしたランや、保護色をまとったキリギリスやビーチマウスができるだろうか？　もちろん無理だ。進化が突如としてランダムな突然変異だけに頼らざるをえなくなったなら、種はたちまち衰えて絶滅してしまうだろう。個体とその環境との驚くほどの適合は、偶然だけではとうてい説明できない。

そして実際、そうなのだ。たしかに進化の材料である個体間の多様性は、偶然の突然変異によって生じる。これらの突然変異は、それが個体にとって良いか悪いかに関係なく、行き当たりばったりに起こる。しかし、そうして生じた多様性を自然淘汰がフィルターにかけるからこそ、適応は果たされる。自然淘汰は一種の強い成形力だ。ほかの遺伝子よりも次世代に伝達される確率が高い遺伝子を蓄積し、そうすることで、個体をより環境に対処できるものにしていく。だから突然変異と自然淘汰――偶然性と法則性――の独自の組み合わせを探ってみれば、生物がどうして適応的になっているかがわかるのだ。リチャード・ドーキンスによる最も簡明な表現を使わせてもらえば、自然淘汰とは「ランダムな変異体の非ランダムな生存」である。

自然淘汰という仮説には大きな仕事がある。生物学の最大の仕事と言ってもよい。それは、すべての適応形質がかつての形質から徐々に進化したものであると説明することだ。体の形態や色だけでなく、すべての根底にある分子構造まで含めてである。自然淘汰は、複雑な生理学的形質の進化を説明できなくてはならない。たとえば血液の凝固や、食物をエネルギーに変える代謝システムや、

何千もの異種タンパク質を認識して破壊できる驚異的な免疫システムといったものだ。そして遺伝子そのものの詳細もある。なぜ一組の染色体が卵と精子の形成時に分かれるのか？　そもそも、なぜわれわれには性別があるのか？　どうして一部の種がやっているようにクローンを作りださないのか？　さらに自然淘汰は行動についても、協力的な行動と敵対的な行動の両方を説明しなくてはならない。なぜライオンは群れで協力して狩りをするのか？　そのくせ外から侵入してきたオスが既存のオスを社会集団から追い出してしまうと、新参オスが乳離れしていない子ライオンを皆殺しにしてしまうのはなぜなのか？

自然淘汰がこれらの特徴を成形するには一定の条件がある。まず、その特徴を以前の形状から――たいていは緩やかに――段階を踏んで作っていく必要がある。すでに見たとおり、新しく進化する形質はいずれも以前の特徴の改良版として出発する。たとえば四足類の肢は、まさしくひれが改良されたものである。そして、このプロセスの各段階、すなわち適応形質ができるまでの各労作は、その持ち主である個体に繁殖上の利益をもたらすものでなくてはならない。そうでなければ、淘汰は機能しない。泳ぐためのひれから歩くための肢になるまでの各段階の利点はなんだったのだろうか？　羽毛のない恐竜から羽毛と翼をもった恐竜になるまでの各段階では？　適応形質の進化において「坂をくだる」ことはありえない。自然淘汰は本質的に、持ち主の利益にならない段階は形成できないのである。適応の世界には、高速道を走るドライバーを泣かせる標識は存在しない――「一時的な不便――それは永続的な改善です」。

「適応的」な形質が創造によって生まれたものでなく、自然淘汰によって進化したものなら、またいくつかの予言ができる。まず原則として、その形質の進化には信憑性のある段階的なシナリオが考えられるはずであり、その各段階は形質の持ち主の「適応度」（簡略に言えば、子の平均数）を上げているはずである。これが確認できるかどうかは形質によって差があり、たとえば陸生動物をクジラに変えた漸進的な頭蓋骨の変形などは容易に想像がつくが、生化学的な経路などは特に難しく、化石記録にまったく痕跡が残らない。ひょっとすると多くの形質は、その進化を再構築できるだけの充分な情報を永遠に得られないのかもしれない。あるいは絶滅種などに関しては、それらの形質がどう機能していたかについてさえ、正確なところはわからないのかもしれない（ステゴサウルスの背中の骨板はいったい何のためにあったのか？）。しかし大事なのは、適応形質が進化する段階で、個体の適応度を下げる中間段階を必須とするような適応形質はただの一つも見つかっていないということだ。

それからもう一つの要件がある。適応形質が進化するには、その持ち主の繁殖生産高が上がらなくてはならない。どの遺伝子が次世代に伝達されて進化を起こすかを決めるのは、生存ではなく繁殖だからだ。もちろん遺伝子を伝えるためには、子を作れる年齢になるまで生存していることが第一条件だ。だが一方、繁殖年齢を越えたあとに個体を死なせる遺伝子は、まったく進化上の不利益を被らない。遺伝子プールにずっと保持されたままである。したがって、たとえば個体が若いときにはその繁殖を助けるが、高齢になったら個体を殺すという遺伝子は、むしろ尊重されることにな

る。実際、そうした遺伝子が自然淘汰によって蓄積されているから、われわれは高齢になると多くの面で衰える（「老化」する）のだと考えられている。あなたが若いときに種を蒔きまくるのを助けているその遺伝子が、晩年のあなたに皮膚のしわと肥大した前立腺を持たせているのかもしれない。

自然淘汰の働きを考えると、個体の生存を助けはしても繁殖の助長はしないような適応を自然淘汰が生むはずはない。その一例は、人間の女性が閉経後も生存するのを助けるような遺伝子だろう。あるいは別の種のメンバーだけに利益をもたらすような適応も、まずありえないはずだ。

この最後の予言については、ある種のメンバーにとって有益となっている別の種の形質を調べてみることで検証できる。その特徴が自然淘汰によって生じているのなら、それはその持ち主にとっても有益になっていると考えられる。そこで例にとるのが、熱帯のアカシアの木だ。この木は内部が空洞になっている膨らんだ棘をもち、そこが針を持った獰猛なアリのコロニーの住処となっている。また、この木は花蜜を分泌し、タンパク質を豊富に含んだ葉をつけるので、それがアリの餌となる。これだけ見ると、アカシアは自らを犠牲にしてアリを住まわせ、食わせているかのようである。つまり、先の予言に反するのではないかと思えるが、そうではない。むしろアリを抱えることは、木に大きな利益をもたらす。第一に、草食性の昆虫や哺乳類が葉の茂ったごちそうを狙って立ち寄ろうとすれば、怒り狂ったアリの群れに撃退される。悔しいことに、私はコスタリカでたまたまアカシアの木に軽くぶつかった際に、まさしくそれを経験した。また、アリはアカシアの木の根

元に生える若木を食い尽くすので、まわりに別の木が育たない。その若木が大きくなっていたら、アカシアと養分や光の奪いあいをすることになっていただろう。そんなわけで、アリに捕食者や競争相手からの防衛をしてもらえるアカシアのほうが、その能力を持たないアカシアよりも多くの種子をつくれることは誰が見ても明らかだ。どのような事例においても、ある種が別の種のためになることをしているときは、必ずそれが自分のためにもなっている。これは進化から直接的に予言されることであり、特殊創造やインテリジェント・デザインの考えからでは導かれないものである。

そして、適応形質はつねに個体の適応度を上げるのであり、必ずしもグループや種の適応度を上げるわけではない。自然淘汰が「種のために」働くという考えはよく聞かれるが、実際は誤った考えである。それどころか進化は、個体のことは助ける一方、種全体にとっては有害となる特徴を生み出したりもする。オスライオンの一団がある群れに侵入してきて前にいたオスを追い払ってしまうと、たいていそのあとに、乳離れしていない子ライオンの陰惨な殺戮が起こる。この行動は、ライオンの総数を減らして絶滅の可能性を高めるわけだから、種にとっては有害である。しかし、侵入してきたライオンにとっては有益だ。群れのメスをすぐに受精させられるからである（メスは授乳をしなくなると、ふたたび発情期に入るのだ）。そして殺された子ライオンに代わって、自分自身の子を残せるようになる。子殺しを行なわせる遺伝子が、侵入オスに血のつながりのない子ライオンのお守りをさせるような「良い」遺伝子を犠牲にして広がるのは、気持ちのいい話ではないが当然のことなのである。もし生物が慈悲深い創造主にデザインされていたのなら、個体を犠牲にし

て種の利益を図るような適応が見られていたかもしれないが、現実には進化が予言するとおり、そうした適応は一つも確認されていない。

淘汰の介在しない進化

ここでちょっと脱線しよう。先に進むにあたって、進化的変化のプロセスは自然淘汰だけではないことを頭に入れておくべきだからだ。大半の生物学者は進化の定義を、ある個体群のなかでの対立遺伝子（ある遺伝子の別々の形態）の比率が変化することとしている。たとえば、あるマウスの個体群のなかで「薄い色」のアグーチ遺伝子の頻度が高くなれば、その個体群と毛皮の色が進化する。だが、こうした変化は別の経緯でも起こりうる。すべての個体は各遺伝子のコピーを二つ持っていて、その二つは同一なこともあれば違っていることもある。有性生殖が行なわれるたびに、その一組の各遺伝子のどちらか一つが、両親それぞれから子に受け渡される。どちらの遺伝子が次世代に伝わるかは、五分五分の確率である。たとえばあなたの血液型がＡＢ型（つまり「Ａ」の対立遺伝子が一つ、「Ｂ」の対立遺伝子が一つ）ならば、子供があなたの「Ａ」対立遺伝子をもらう確率は五〇パーセント、「Ｂ」対立遺伝子をもらう確率も五〇パーセントだ。結局のところ、親の遺伝子は毎世代くじに参加しているようなもので、当たりが出れば、遺伝子が次世代に送られる。子の数は有限だから、子に存在する遺伝子の頻度は、親に存在していたときとまったく同じ頻度には

ならない。この遺伝子「サンプリング（標本抽出）」は、まさにコイントスのようなものだ。一回コインを投げて表が出る確率は五〇パーセントだが、コインを投げる回数が限られていれば、その五〇パーセントから外れる確率はかなり高い（たとえばコイントスが四回なら、すべてが表、あるいはすべてが裏になる確率は一二パーセントである）。同じように、異なる対立遺伝子の比率もまったくの偶然によって時間とともに変わることがあり、小さい集団ではなおさらその傾向が強い。新たな突然変異が参戦してきて、このランダムなサンプリングにより自らの頻度を上げたり下げたりすることもあるだろう。その結果、でたらめ（ランダム・ウォーク）な進みが最終的に遺伝子を個体群のなかに「固定」させたり（つまり頻度を一〇〇パーセントに上げるということ）、あるいは逆に、個体群から完全に消失させたりすることがある。

このように、遺伝子頻度が時間とともにランダムに変化することを「遺伝的浮動（ジェネティック・ドリフト）」、または「機会的浮動」という。長年のあいだに起こる対立遺伝子頻度の変化を必要とする点で、これは正統な進化だが、自然淘汰から生じるものではない。遺伝的浮動による進化の一例は、アメリカのオールド・オーダー・アーミッシュやダンカー派の宗教コミュニティに見られる異様な血液型（ＡＢＯ式のような）の頻度である。メンバー同士が近親結婚するような少人数の隔絶された宗教集団は、遺伝的浮動による急速な進化が起こるのにうってつけの環境なのだ。

サンプリングのいたずらは、集団が少数の移民から形成された場合、つまり島や新天地に個体が移り住んでコロニーをつくったときなどにも起こりやすい。たとえばネイティブ・アメリカンの集

団では、血液型のB型を作る遺伝子がほぼ完全に欠落しているが、これは約一万二〇〇〇年前にアジアから北米に移り住んだ人々の小集団で、その遺伝子が失われていたことの反映なのかもしれない。

遺伝的浮動も自然淘汰も、われわれが進化と称する遺伝的変化を生み出す。しかし、この二つには重要な違いがある。遺伝的浮動はランダムなプロセスで、自然淘汰はランダムのアンチテーゼだ。遺伝的浮動は遺伝子の持ち主にとって有益であるかどうかとは関係なしに対立遺伝子の頻度を変えられる。一方、自然淘汰は、つねに有害な対立遺伝子を排除して、有益な対立遺伝子の頻度を上げる。

純粋にランダムなプロセスである遺伝的浮動は、適応形質の進化を起こせない。これが翼や眼を作ることは決してありえない。それをするには、ランダムでない自然淘汰が必要となる。遺伝的浮動にできるのは、生物にとって有益でも有害でもない特徴を進化させることだけだ。なんという先見性か、ダーウィン自身が『種の起源』で初めてこの考えを切りだしている。

この好ましい変種の保存と有害な変種の排除を、私は自然淘汰と称する。有益でも有害でもない変種は自然淘汰による影響を受けることなく、変動的な要素として残るだろう。おそらくそれが、多形性と呼ばれる種に見られている。

しかし遺伝的浮動は適応形質の形成に対してこそ無力だが、場合によっては自然淘汰を圧倒する力を持つこともある。特に個体群の規模が小さい場合、サンプリング効果が甚大となって、自然淘汰が反対の方向に働いているにもかかわらず有害な遺伝子の頻度を上げてしまうことがある。隔絶された人間のコミュニティで遺伝的疾患の発生する割合が高いのは、ほぼ確実にこれが原因だろう。たとえば北部スウェーデン人に多く見られるゴーシェ病、ルイジアナ州のケージャン人に見られるテイ・サックス病、トリスタン・ダ・クーニャ島の住民に見られる網膜色素変性症などである。

DNAやタンパク質の配列に生じる特定の変異は、ダーウィンが言うように「有益でも有害でもない」（現在の言い方をすれば「中立である」）ため、そのような変異体は特に遺伝的浮動によって進化しやすい。たとえばある遺伝子に突然変異が起こったとしても、その遺伝子が作るタンパク質の配列に影響がなければ、持ち主の適応度に変化は生じない。同じことが、機能を果たしていない偽遺伝子の突然変異にも当てはまる。これら遺伝子の古い残骸は、ただ無為にゲノムにとどまっているだけだからだ。このような遺伝子に起こる突然変異は生物になんら影響を及ぼさず、したがって遺伝的浮動によってしか進化できない。

DNA配列の特定の変化など、分子の進化の多くの側面は、自然淘汰ではなく遺伝的浮動の表れなのかもしれない。生物の極端に目につく特徴の多くも、特にそれが繁殖に影響を及ぼしていない場合は、やはり遺伝的浮動によって進化している可能性がある。オークの葉とカエデの葉が違っているように、種によってさまざまに異なる樹木の葉の形状も、かつては遺伝的浮動によって進化し

た「中立」の形質だと考えられていた。しかし、ある形質に淘汰的な利点がまったくないと断じるのはなかなか難しい。生物学者でもリアルタイムでは気づけないような、ほんの小さな利点でも、長い長い年月のあいだには重要な進化的変化を起こせるかもしれない。

進化において、遺伝的浮動と自然淘汰のどちらがどれだけ重要なのかは、いまでも生物学者のあいだで熱い論争の的となっている。ラクダのこぶなど、明らかな適応形質が見られた場合は、間違いなくそれは自然淘汰の証拠と見なせるだろう。しかし、どうして進化したのかわからないような特徴も、遺伝的浮動の表れではなく、単にわれわれの無知を表しているだけかもしれない。とはいえ、遺伝的浮動が必ず起こることはわかっている。限られた数の個体群のなかでは決まって繁殖のときにサンプリング効果が生じているからだ。そしておそらく、小規模な個体群の進化においては遺伝的浮動が大きな役割を果たしているだろう。ただ、われわれには少数の例しか挙げられないだけなのだ。

動植物のブリーディング

自然淘汰の仮説に従えば、自然界にどういう種類の適応形質が見られるかだけでなく、よりいっそう重要な、どういう適応形質が見られないかまで予言できる。そして実際、それらの予言は次々と確認されてきた。しかし多くの人は、それだけでは満足しない。自然淘汰がいま、現在進行形で

働いているところを見たがり、自分の生きているあいだに進化的変化が起こるところを目撃したいと思うのだ。自然淘汰が進化を起こせる、たとえば何百万年もかけて陸生動物をクジラに進化させられるという考えは、別にそれほど受け入れがたいものでもない。が、自分の目の前でそのプロセスの進行を見せられれば、なんとなく、自然淘汰の考えがよりいっそう説得力を持ってくるのだ。

このような自然淘汰と進化をリアルタイムで見たいという欲求は、理解はできるが、やはり奇妙だ。考えてもみてほしい。われわれはグランド・キャニオンが数百万年の時をかけてゆっくりと、わずかずつ、コロラド川によって刻まれてきた結果であることをあっさりと受け入れているではないか。この峡谷が自分の生きているあいだにさらに深くなっていくところを見られなくても、誰も気にしないではないか。しかし一部の人々にとっては、時間から地質学的な力を推定できる能力が、進化には適用されないのである。となると、自然淘汰が進化の重要な原因であったかどうかを、どうしたら確定できるだろう。クジラが陸から水に戻っていくまでの進化過程を逐一再現して、それぞれの小さな変化段階での繁殖上の利点をすべて確認するのは明らかに不可能だ。しかし、自然淘汰がほんの数世代のあいだに小さな変化を起こすところを見られれば、何百万年もの時をかけた同種の自然淘汰が、化石記録に残されているような大きな適応的変化を起こせるという考えを受け入れやすくなるのではないだろうか。

自然淘汰の証拠は多くの分野から出されている。最もわかりやすいのは、自然淘汰の映し鏡のようだとダーウィンも認めている人工淘汰、すなわち動植物のブリーディングである。よく知られて

いるように、ブリーダーは驚異的な仕事をなしとげてきた。野生の動植物をまったく違った形態に改変し、あるものは食材として、またあるものは人間の美的要求を満たすものとして供してきたのである。そして、この改変が野生の祖先に存在していた多様な変種を淘汰することによって実現されてきたこともわかっている。さらに、ブリーディングがごく短い期間で大きな変化を生み出してきたこともわかっている。動植物のブリーディングが実施されるようになったのは、わずか数千年前のことなのだ。

家畜のイヌ（*Canis lupus familiaris*）を考えてみよう。これは単一の種だが、形も、大きさも、色も、気質も、みな千差万別である。しかし純血種だろうが雑種だろうが、どのイヌもすべて単一の祖先の種――おそらくはユーラシア産のタイリク（ハイイロ）オオカミ――から生まれており、それを人間が一万年ほど前に淘汰しはじめた。現在アメリカ・ケンネル・クラブは一五〇の犬種を公認しており、あなたもその多くを見たことがあると思う。神経質でとても小さなチワワは、おそらく食用動物として、メキシコのトルテカ族により繁殖された。厚い毛皮に覆われた頑健なセントバーナードは、雪で動けなくなった旅人にブランデーの樽を届けてやれる。レース用に繁殖されたグレーハウンドは、長い脚と流線形の体を持っている。細長い体に短い脚のダックスフントは、穴に隠れているアナグマをつかまえるのにうってつけの体型だ。レトリーバーはその名（「回収者」）のとおり、猟の獲物を水から取ってこさせるために繁殖された。そして毛のふわふわしたポメラニアンは、膝に乗せる愛玩犬として繁殖された。ブリーダーはこれらのイヌを、まるで彫像のように

自在につくってきた。毛皮の色合いや厚さを変え、耳の長さや先端のとがりぐあいを変え、骨格の大きさや形状を変え、行動や気質の奇抜な部分を変え、その他ほぼすべての要素を変えてきた。

もしこれらの犬種がすべて一堂に会したら、どれほど多様なものかを想像してみてほしい。もし現在の公認犬種が化石として残っているだけだったら、古生物学者はこれを単一の種だとは思わないに違いない。少なくとも、現在自然界に生息する野生のイヌの三六種よりも多く数えられることは確実だ。[29] 実際、家畜のイヌの多様性は野生のイヌの種をはるかに上回る。たとえば体重という一形質を考えても、家畜のイヌは、約一キロのチワワから八〇キロ超のマスチフまでいるが、野生のイヌは、せいぜい一〜三〇キロというところだ。そしてもちろん、ダックスフントのような体型やパグのような顔をした野生のイヌはまずいない。

イヌのブリーディングの成功は、淘汰による進化の三つの要件の二つを立証している。第一に、祖先のイヌの系統には、色や大きさや形状や行動において、あらゆる犬種を生み出せるだけの充分な多様性があった。そして第二に、その多様性の一部は、次世代に受け渡すことができる遺伝子の突然変異によって生じていた。もしこれがなかったら、ブリーダーは何もできなかっただろう。しかしイヌのブリーディングに関して何よりも驚くのは、これが非常に早く結果を出していることだ。これらの犬種が淘汰されはじめてから、まだ一万年と経っていない。自然界において、野生のイヌの種が共通祖先から分岐するのに要した時間の、わずか〇・一パーセントである。人工淘汰がこれだけの短期間でこれだけの多様性をイヌに生み出せるとすれば、ささやかな野生のイヌの多様性が

一〇〇〇倍も時間をかけて働いている自然淘汰によって生じていることも受け入れやすくなるだろう。

人工淘汰と自然淘汰には一つだけ違いがある。人工淘汰では、変種の「良い」「悪い」を選別するのが自然ではなくブリーダーだということだ。言い換えれば、繁殖成功の基準が自然環境への適応ではなく、人間の要望で決められている。この基準がたまたま同じになると、たとえば速く走るようにと淘汰されたグレーハウンドが、最終的にチーターと非常によく似た体型になる。これは収斂進化の一例だ。同じような淘汰圧が、同じような結果を生み出す。

イヌは代表的な成功例だが、ほかにも繁殖計画はさまざまなところで成功している。ダーウィンが『種の起源』で言っているように、「ブリーダーはつねづね動物の構造のことを、きわめて可塑性の高いもののように話す。それをほとんど自分の好きなように成形できると思っているのだ」。ウシも、ヒツジも、ブタも、花も、野菜も、すべて人間が野生の祖先に存在していた変異体を選択することで、あるいは家畜化の過程で突然変異によって生じた変異体を淘汰することで生まれている。ほっそりした野生の七面鳥も、淘汰を通じて、われわれのよく知るおとなしい、でっぷりした、ほとんどまずいとも言える感謝祭の化け物に変容した。家畜化された七面鳥のオスは胸が大きくなりすぎて、もうメスにマウントすることもできないので、メスは人工的に受精させられなくてはならない。ダーウィン自身もハトの繁殖を経験しており、品種ごとに行動も外見もじつに多様になることを記しているが、それらはすべて祖先のカワラバトから選択されたものだった。トウモロコシ

の祖先は誰も知らないと思うが、それは目立たないイネ科の草だった。祖先のトマトはわずか数グラムの重さしかなかったが、いまでは一キロ近い（これまたまずい）巨大トマトができていて、長く棚においても腐らないようになっている。野生のキャベツからは五種類の野菜が生まれた。ブロッコリー、栽培種のキャベツ、コールラビ、芽キャベツ、カリフラワーで、それぞれが野生のキャベツの異なる部分を改良する目的で淘汰された（たとえばブロッコリーは、単に花房が密集して肥大したものである）。そして野生の作物種の栽培品種化は、すべてこの一万二〇〇〇年のあいだに始まったことである。

こうしてみると、ダーウィンが『種の起源』を自然淘汰や野生での進化の話で始めずに、「飼育のもとでの変異」と題した章、すなわち動植物のブリーディングの話で始めたのもうなずける。人工淘汰が人々に受け入れられるなら――これだけ成功が明らかなのだから受け入れるに違いなかった――そこから自然淘汰に飛躍するのもそう難しくはないだろうと知っていたのである。ダーウィンはこう記している。

> 飼育のもとでは、構造全体がある程度まで自由に形作れると言ってさしつかえないかもしれない。……そうであれば、人間にとって有益な変種が疑いなく生じているとわかったいま、激しく複雑な戦いに生きている各生物にとって何かしら有益なほかの変種が、数千世代が経過するあいだに、時おり生じることがありえないと思えるだろうか？

ダーウィンはよくわかっていた。野生種の家畜化や栽培品種化は、人間が文明化してからの比較的短い期間にしか起こっていない。したがって自然淘汰がもっとはるかに長い期間に、もっとはるかに大きな多様性を生み出せたことを受け入れるのも、そう大した拡大解釈にはならなかったはずなのだ。

試験管のなかの進化

話をもう一歩進めよう。自分の要望する変種を選び出すブリーダーの代わりに、これを実験室で「自然に」起こさせることができる。捕獲した個体群を新しい環境の試練にさらすのである。これを最もやりやすいのは、バクテリア（細菌）などの微生物だ。二〇分に一回の頻度で分裂するので、数千世代にわたる進化的変化をリアルタイムで観察できるからである。しかも、それは正真正銘の進化的変化で、淘汰による進化の三つの要件、すなわち多様性と、遺伝可能性と、変種ごとの特異な生存と繁殖をすべて実証してくれる。環境の試練は人間が用意したものだが、人間はどの個体が繁殖にいたるかを選べないという点で、この種の実験は人工的な淘汰よりも自然に近い。

まずは単純な適応から見ていこう。微生物は実験室で生物学者から何を投じられても、たいていそれに適応できる。高温、低温、抗生物質、毒素、飢餓、新しい栄養源、そして天敵のウィルス。この種の研究で最も長期的に行なわれたのが、おそらくミシガン州立大学のリチャード・レンス

キーによる実験だろう。一九八八年、レンスキーは一般的な腸バクテリアである大腸菌（*E. Coli*）の遺伝的に同一な株を、栄養源であるブドウ糖が毎日なくなって翌日にまた補給される環境に置いてみた。つまりこの実験は、ごちそうと飢えが繰り返される環境に大腸菌がどれだけ適応できるかを試すものだった。以後一八年（バクテリアの世代にして四万世代）、バクテリアはこの新しい環境に自らを適応させる新しい突然変異を蓄積しつづけた。変動する摂食条件のもとで、いまやバクテリアは最初の未選択の株より七〇パーセント早く成長している。バクテリアはいまも進化を続けており、レンスキーのチームは、少なくとも九個の遺伝子の突然変異が適応につながっていると特定している。

だが、「実験室」適応はさらに複雑にもなりうる。新しい生化学システム全体を進化させることまであるのだ。おそらく究極の挑戦は、ある特定の環境で微生物が生存していくのに必要な遺伝子を取り去ってしまい、それに微生物がどう対応するかを見ることだろう。微生物はその問題を回避する手段を進化させられるのか？　答えは、イエスと言ってよい。ロチェスター大学のバリー・ホールのチームが、ある劇的な実験を行なっている。彼らは研究の第一段階として、大腸菌からある遺伝子を削除した。この遺伝子は、大腸菌が乳糖を分解してサブユニット（亜粒子）に変えてから食べられるようにするための酵素を作っている。その後、遺伝子を奪われた大腸菌は、栄養源が乳糖しかない環境に置かれた。もちろん最初は、必要な酵素が作られないために成長できなかった。しかしまもなく、失われた遺伝子の機能が別の酵素に担われた。その酵素はそれまで乳糖を分解で

きなかったが、新しい突然変異のおかげで、いまではかろうじて分解ができるようになっていた。やがて、また別の適応的な突然変異が起こった。今回は、それによって新しい酵素の総量が増えたので、以前より多くの乳糖が使えるようになった。そして最後に、別の遺伝子に三回目の突然変異が起こり、バクテリアは以前よりも容易にその環境から乳糖を摂取できるようになった。これらを考えあわせると、この実験は、バクテリアが以前は利用できなかった食物で成長できるようになるための複雑な生化学経路の進化を実証したことになる。しかも進化を実証しただけでなく、二つの重要な教えを示してもいる。一つは、あらゆる部分が共存関係にあるような複雑に連結しあった生化学系の進化を自然淘汰が促せることで、そんなことは不可能だと主張する創造論者への反駁にもなっている。二つ目は、すでに何度も見てきているとおり、自然淘汰は新しい形質をいきなりゼロから生むわけではないということだ。淘汰は、以前にあった特徴を改良することによって「新しい」適応を生むのである。

この種の実験では、生態的に異なる新しいバクテリアの種の起源まで、一本の研究用フラスコのなかで見ることができる。オックスフォード大学のポール・レイニーのチームは、蛍光菌というバクテリア（*pseudomonas fluorescens*）の株を、培養液の入った小さな容器のなかに入れ、その後の経過を見守った（じつに驚きだが、このような容器一つで本当に複数の異なる環境を用意できるのである。たとえば酸素濃度は上の部分で最も濃くなり、底の部分で最も低くなる）。一〇日のうちに――数百世代程度で――変化は起こった。自由に浮遊していた「つるつるした」祖先のバクテリ

アが、ビーカーの別々の部分を占める新たな二つの別形態に進化したのだ。片方の「しわの寄った拡散者」は培養液の最上部で膜のように表面に広がり、もう片方の「毛羽立った拡散者」は敷きつめられたじゅうたんのように底辺に広がった。つるつるした祖先のバクテリアもまだ残っていて、培養液の中央部の環境を占めていた。新しい二つの形態は、それぞれ祖先とは遺伝的に異なっており、突然変異と自然淘汰を通じて、それぞれの環境に最も見合った繁殖ができるように進化していた。つまり実験室内で進化が起こっただけでなく、種分化も起こったわけである。祖先の生物は生態学的に異なる二つの子孫を生み、それらと共存していた。そしてバクテリアでは、こうした変種は別の種と見なされる。非常に短い期間のうちに、蛍光菌に働いた自然淘汰は小規模な「適応放散」を生じさせた。それは動植物の種が海洋島で新しい環境に遭遇したときに別の種を形成したのとまったく同じことなのである。

薬と毒に対する抵抗

一九四〇年代に抗生物質が初めて導入されたとき、これでようやくバクテリアによる感染症の問題が解決したと誰もが思った。薬は非常によく効き、結核や連鎖球菌咽喉炎や肺炎の患者はほぼすべて、二回の簡単な注射か一瓶の錠剤で治るようになった。だが、人間は自然淘汰を忘れていた。バクテリアの膨大な個体数と短い世代時間――これこそバクテリアを実験室での進化の研究に最適

な生物としている特徴――を考えれば、抗生物質への耐性（抵抗力）を生じさせる突然変異が起こる確率はきわめて高い。そして薬剤への耐性を持ったバクテリアは、生き残って、遺伝的に同一の子孫を残していくだろう。つまりその子孫もまた、薬剤への耐性を持っているわけだ。最終的に薬剤の効果は薄れ、人間はふたたび医学的問題を抱えるようになる。実際、これが一部の疾患にとっては深刻な脅威となっている。たとえば現在では、これまで結核の治療に使われてきたあらゆる薬剤に耐性をもつ結核菌の株ができている。もうすっかり完治できるものと長らく楽観視されていた肺結核が、ここにきてふたたび致命的な病気となったのだ。

これが自然淘汰である。明快で単純なことだ。薬剤耐性については誰もが知っているだろうが、しばしば見落とされがちなのは、これがまさに進行中の自然淘汰の好例であることだ（この現象がダーウィンの時代に存在していたら、きっとこれを『種の起源』の目玉にしていたに違いない）。一般に、薬剤耐性が生じるのは患者側に何らかの変化があって、薬が効かなくなるからだと思われている。しかし、その解釈は誤りだ。耐性は微生物の進化から生じるのであって、患者が薬剤に慣れてしまうからではない。

ペニシリンへの耐性も、やはり自然淘汰の代表例である。一九四〇年代初頭に導入されたとき、ペニシリンは奇跡の薬だった。特に、黄色ブドウ球菌を原因とした感染症の治療にとても効果的だった。一九四一年には、これによって世界中の黄色ブドウ球菌株が一掃できるようになった。それから七〇年後の現在、黄色ブドウ球菌株の九五パーセントは、ペニシリン耐性を獲得している。

どうしてそうなったのか？　菌の個体に突然変異が生じて薬剤を破壊できるようになり、当然ながら、その突然変異体が世界中に広まったためである。これに対抗して、製薬業界は新しい抗生物質のメチシリンを開発した。だが、それもいまでは新しい突然変異体のせいで効力が薄くなっている。いずれのケースでも、バクテリアのＤＮＡのどのような変化が薬剤耐性をもたらしたかを科学者は正確に特定している。

進化可能な生命の最小形態であるウィルスも、同じように抗ウィルス薬への耐性を進化させてきた。とくに代表的な抗ウィルス薬といえば、エイズ治療薬のＡＺＴ（アジドチミジン）だろう。これはＨＩＶウィルスが感染者の体内で複製されないようにするために開発された。進化は一人の患者の体内においてさえ起こる。ウィルスは猛烈な勢いで突然変異するからで、ＨＩＶウィルスも最終的には耐性をつけてＡＺＴの効力をなくしてしまうだろう。現在、エイズは三種類の薬剤を毎日服用することで発症を抑えられている。しかし歴史がなんらかの指針となるとすれば、これもやがては効力を失うことになる。

耐性の進化は、人間と微生物のあいだに軍拡競争を生じさせている。そこでの勝者はバクテリアだけでなく、効き目がなくなった古い薬剤に代えてつねに新しい薬剤を開発しつづけている製薬産業も、一種の勝ち組と言えよう。しかし幸い、耐性を進化させることに成功していない微生物のすばらしい例もいくつかある（進化論はあらゆるものが進化するとは言っていないことを思い出してほしい。適切な突然変異が生じなければ、あるいはそれを生じさせなければ、進化が起こることは

ないのだ)。たとえば連鎖球菌というバクテリアは、小児に多い感染症である「連鎖球菌咽喉炎」を引き起こす。このバクテリアはわずかなペニシリン耐性さえ進化させられていないので、この治療に関してはいまでもペニシリンが第一に使われる。また、インフルエンザウィルスと違ってポリオウィルスや麻疹ウィルスはワクチン耐性を進化させていないので、これらに対しては、五〇年以上前からずっと同じワクチンが使われている。

そのほかにも、人間の引き起こした生息環境の変化に対して淘汰を通じて適応してきた種はいろいろある。昆虫はDDTなどの殺虫剤に対する耐性をつけてきたし、植物は除草剤に対する耐性をつけ、菌類や蠕虫や藻類も、生息環境を汚染する重金属への耐性を進化させてきた。どうやらどんな場合でもほぼ必ず、少数の個体に幸運な突然変異が起こって危機をくぐりぬけ、その個体が無事に生存して繁殖し、結果的に、耐性のなかった個体群がたちまち耐性をつけた個体群に進化するらしい。だとすれば、人間から生じたのではない圧力に対しても同じことが言えるはずだ。たとえば、ある個体群が塩分や温度や降雨量などの変化に遭遇したら、きっとそこでも自然淘汰を通じた適応的な反応がとられるに違いない。

野生での淘汰

考えてみれば、これまで見てきたような人間の押しつけた圧力や化学物質に対する反応も、すべ

て自然淘汰の一要素である。淘汰を引き起こした動因は人間が作ったものだが、反応そのものはまったくの自然であり、しかも――すでに見てきたとおり――きわめて複雑なものになりうる。だが、このプロセス全体が自然において、人間の介入なしに起こっているところが見られれば、説得力はさらに増すだろう。結局のところ、われわれは自然の個体群が自然の試練に対処するところを見たいのだ。その試練がどういうものかを知りたいし、個体群がそれに対処するために進化するところを自分の目で見たいと思うのである。

しかし、そのような状況がそこらに転がっているわけはない。なんといっても、野生での自然淘汰は恐ろしくゆっくり進むのがつねである。たとえば羽毛の進化には、おそらく数十万年がかかった。羽毛が今日も進化しているとしても、その進行をリアルタイムで見るのは無理であり、ましてやどのような淘汰が働いて羽毛をさらに伸ばしているかなど測定しようがない。われわれが自然淘汰を見られるとすれば、それはよほど強い淘汰で、急激な変化を引き起こすものでなくてはならない。したがって最善なのは、世代時間の短い動植物に注目することだろう。それなら何世代かのあいだに進化的変化が見られるかもしれない。そして、それはバクテリアより優れたものでなくてはならない。人が見たいのは、いわゆる「高等」な動植物における淘汰なのだ。

ただし、われわれが見られるのは、ある種の一つか二つの特徴における小さな変化、すなわち「小進化」がせいぜいだと心しておくべきである。進化の漸進的なペースを考えれば、一人の人間が生きているうちに、ある「種類」の動植物を別の種類に変える――「大進化」を生じさせる――よ

うな淘汰が見られるはずはない。大進化は今日も起こっているが、それは人間にはとうてい見届けられない。ここで重要なのは大進化的な変化が起こるかどうかではなく――それはすでに化石記録からわかっているのだから――その変化が自然淘汰によって起こったのかどうか、そして、自然淘汰が複雑な特徴や生物を構築できるのかどうかということだ。

リアルタイムの淘汰を見るのが難しい理由はもう一つある。ごく一般的な自然淘汰は、種を特に変化させないのである。すべての種は非常にうまく適応しており、言い換えれば、淘汰はすでに種を環境とうまく協調させ終わってしまったわけだ。種が新しい環境の試練に対処するときに生じる変化のエピソードはめったに出てこない。おそらく適応の必要な新しい事態が何もない期間のほうがずっとありふれているだろう。しかし、だからといって淘汰が起こっていないわけではない。たとえば、ある鳥類の種が環境に最も適した体の大きさに進化していて、その環境に変化がなければ、淘汰は最適値よりも大きい鳥か小さい鳥を処分するためにだけ働くだろう。しかし、この種の淘汰は「安定化淘汰」といって、種の平均的な体の大きさを変えることはしない。実際に個体群をある世代と次の世代とで比べてみれば、ほとんど何も変わっていないことがわかるだろう（体を大きくする遺伝子と小さくする遺伝子は排除されているだろうが）。これは人間の赤ん坊の出生時体重を見てもわかる。病院の統計は一貫して、平均的な出生時体重――欧米では三四〇〇グラム前後――で産まれてきた赤ん坊のほうが、平均以下の体重の赤ん坊や、平均以上の体重の赤ん坊より生存率が高いことを示している（平均より軽い赤ん坊は早産だったり母親が栄養不良だったりするし、重い

赤ん坊は産まれてくるときに支障がある)。

したがって淘汰が進行しているところを見たければ、世代時間が短くて、なおかつ新しい環境に適応している最中の種を見るべきだということになる。それが最も見られそうなのは、種が新しい生息環境に侵入したときか、深刻な環境の変化に遭遇しているときである。そして実際、実例があるのはまさにそのような場合だ。

最も有名な事例は、もうすでに別のところで語られているので深くは述べないが(ジョナサン・ワイナーの『フィンチの嘴――ガラパゴスで起きている種の変貌』など)、気候の異常な変化に対する鳥の適応である。ガラパゴス諸島に生息する中ぐらいの大きさのガラパゴスフィンチは、プリンストン大学のピーター・グラント、ローズメリー・グラントの夫妻によって、数十年前から研究されてきた。一九七七年、ガラパゴス諸島に深刻な旱魃(かんばつ)が起こり、ダフネ島の種子の供給量が激減した。ガラパゴスフィンチは通常なら小さくて柔らかい種子を好むのだが、大きくて堅い種子しか食べられるものはなかった。実験により、堅い種子を簡単に割れるのは体が大きくて、くちばしも大きく頑丈な鳥だけであることがわかっていた。したがって当然ながら、くちばしの大きな個体だけが充分な餌にありつけ、くちばしの小さな個体は餓死するか、あるいは栄養不良で繁殖ができなくなった。くちばしの大きな個体は生き残って、子を多く残せたから、次の世代では自然淘汰によってくちばしの平均的な大きさが一〇パーセント大きくなっていた(体の大きさも同じように大きくなっていた)。これは驚くべき進化的変化の率である。化石記録に見られるどの変化よりもは

るかに大きい。たとえばヒトの系統における脳の大きさなどは、一世代につき平均〇・〇〇一パーセント程度しか大きくなっていないのだ。自然淘汰による進化に必要なすべてのものは、グラント夫妻の別の研究で充分に実証された。最初の個体群にいる個体のくちばしの大きさに多様性があること、その多様性の大部分が遺伝的なものであること、そして個体のくちばしの大きさの違いに応じて、個体が残す子の数も、予言されるとおりに違っていることである。

生存にとって食物がいかに重要かを考えると、食物を効率的に採集し、摂取し、消化する能力は、強い淘汰圧であると言える。多くの昆虫は寄主を特定しているが、ある限られた数種の植物だけを食べ、産卵場所とする場合、昆虫はその植物を利用するための適応を果たしておかなくてはならない。その植物から栄養物を取り出すための適切な摂食装置、どんな植物の毒も中和する代謝機能、食物が入手できるとき（その植物の結実期間）に子を産むようにする繁殖サイクルなどだ。多くの近縁の昆虫が別々の寄主植物を利用していることからして、長い進化期間のあいだに、ある植物から別の植物への切り替えが何度も行なわれてきたに違いない。これらの切り替えにも、まるで異なる環境に移り住む場合と同じく、やはり強い淘汰がともなっていたはずだ。

この数十年のあいだに実際にそれが行なわれたのが、新世界のムクロジカメムシ（*Jadera haematoloma*）である。この虫はアメリカの二つの地域で別々の原産植物を常食としている。アメリカ中南部のムクロジと、フロリダ州南部の多年生フウセンカズラだ。カメムシは針のように細長い口吻をこれらの植物の果実に突き刺し、その内部の種子を液状化して吸い上げる。しかし、この

五〇年のあいだに、カメムシは生息域に新たに導入された別の三種類の植物に移り住むことになった。その三つの植物の果実は、それまでカメムシが寄主にしていた原産種の果実とは大きさがまったく異なる。二つはずっと大きくて、一つはずっと小さいのである。

この虫を研究しているスコット・キャロルのチームは、この寄主の切り替えが自然淘汰を生じさせて口吻の長さを変化させるだろうと予測した。果実の大きな種に移り住んだカメムシは、果実を突き抜けて種子に届くようにするために口吻を長く進化させるはずであり、一方、果実の小さな種に移り住んだカメムシは、逆の方向に口吻を進化させるだろう。現実はまさにそのとおりだった。わずか数十年のあいだに口吻の長さは最大二五パーセントまで変わったのである。その程度かと思われるかもしれないが、これは進化の基準に照らせばたいへんな数字であり、しかも一〇〇世代という短さを考えればなおさらである。[30] こう説明すればわかるだろうか。この口吻の進化の割合がそのまま一万世代（五〇〇〇年）続いたとすると、口吻の長さはおよそ五〇億倍に伸びる。長さにして二九〇〇キロメートル、月の大きさの果実を串刺しにできる！　もちろん、これはばかげた非現実的な数字だが、一見すると小さな変化も、蓄積されるとこれだけの威力を持つのである。

ここでもう一つ予言をしよう。長期にわたる旱魃のもとでは、自然淘汰を通じて、祖先よりも早く花を咲かせる植物が進化する。なぜなら、旱魃のあいだは雨が降ってもすぐに土壌が乾いてしまうからだ。旱魃のときにすぐに花を咲かせて種をつける植物でなかったら、子孫が残せなくなってしまう。一方、通常の天候条件のもとなら、花を咲かせるのはできるだけ遅くしたい。そのあいだ

にそれだけ大きく成長して、多くの種をつけられるだろう。

この予言は、約三〇〇年前にカリフォルニアに導入された野生のアブラナ（*Brassica rapa*）を材料にした自然実験で検証された。二〇〇〇年以来、南カリフォルニアは五年に及ぶ深刻な旱魃に悩まされていた。カリフォルニア大学のアーサー・ワイスのチームはその期間の最初と最後に、アブラナの開花時期を測定した。すると案の定、自然淘汰は開花時期を予想されたとおりに正確に変化させていた。旱魃後、アブラナの開花は祖先よりも一週間早くなっていたのである。

ほかにも例はたくさんあるが、どれも同じことを実証している。われわれは自然淘汰がより良い適応を導くことをじかに目撃しているのだ。生物学者のジョン・エンドラーが書いた『野生における自然淘汰』（*Natural Selection in the Wild*）では、観察された進化が一五〇例以上も挙げられているが、そのおよそ三分の一については、自然淘汰がどう働いていたかについておおよそのところがわかっている。ショウジョウバエは極端な温度に適応し、ミツバチは競争相手に適応し、グッピーは捕食者に見つからないように派手な色合いを地味にしている。これ以上まだ例が要るだろうか？

淘汰は複雑さをつくれるか

しかし、自然淘汰が自然界で働いているのは認めるとしても、実際にどれだけ働けるのか？　たしかに淘汰は鳥のくちばしや植物の開花時期を変えられるだろう。だが、これに複雑なものが構築

できるのか？　四足類の肢のような入り組んだ形質は？　血液凝固のような、多くのタンパク質を絡めた一連の段階を正確に踏んでいかなくてはならない、緻密で精巧な生化学的適応は？　そして、これまで進化してきたもののなかで最も複雑な装置かもしれない、人間の脳は？

この点について、われわれはいささかハンディキャップを抱えている。というのも、すでにご承知のとおり、複雑な特徴が進化するには長い時間がかかり、そうした特徴のほとんどは遠い昔に進化しているから、当然われわれはその現場にいなかった。したがって、淘汰が本当に関わっていたかは確かめようがない。創造論者は、淘汰にできるのは生物に小さな変化をもたらすことだけで、大きな変化については無力だと言うが、それが誤りだとどうしてわかるだろう。

だが、そもそも考えてみてほしい。これに対抗する別の仮説があるのだろうか？　複雑な適応を構築できる自然的なプロセスを、われわれは淘汰のほかに一つも知らない。最もよく聞かれる代替説は、超自然の領域に入ってしまっている。それはもちろん創造論で、その最新の表れが「インテリジェント・デザイン」（ＩＤ）だ。ＩＤ論者が主張するには、超自然的なデザイナーが生命の歴史の過程で折々に介入し、自然淘汰には作れないとされる複雑な適応を瞬時にして出現させるか、あるいは偶然では起こるはずのない「奇跡の突然変異」を生じさせるのだという（一部のＩＤ論者はさらに話を広げる。「若い地球」を主張する極端な創造論者は、地球の年齢が六〇〇〇年程度で、生命に進化の歴史はまったくないと信じている）。

ＩＤ論は概して非科学的だ。中身のほとんどが検証不可能な主張でできている。たとえば突然変

異が単なるＤＮＡ複製の事故だったのか、それとも創造主の意図によって生み出されたのか、どうやって確認できるのだろうか。とはいえ、もし自然淘汰には作れたはずのない適応があったとしたら、と考えてみることはできる。その場合は、別のメカニズムを考えなくてはならない。ＩＤ論者はそうした適応の例をいくつか挙げてきている。たとえばバクテリアの鞭毛（複雑な分子のモーターがついた微細な毛髪のような装置で、一部のバクテリアが前進するときに使うもの）や、血液凝固のメカニズムだ。たしかにこれらは複雑な特徴で、鞭毛などは数十種類のタンパク質からなり、そのすべてが協調して働かないと毛髪のような「プロペラ」が動かない仕組みになっている。

このような、多数の構成要素が協調して働かないとまったく機能しない形質は、ダーウィン説では決して説明できないものだとＩＤ論者は主張する。だから当然、それらは超自然的な主体者によってデザインされたに違いない、というわけだ。これはいわゆる「隙間の神」論法であり、無知を根拠とする見方である。要するに、自然淘汰がどうやってある形質を構築するかについてのすべてが理解されているわけでないのなら、その理解のできなさ自体が、超自然的な創造の証拠になるというのである。

あいにく、この論法には穴がある。たしかにわれわれは、あらゆるものの進化の経緯をすべて再構築することは決してできない。われわれは進化が起こったときの現場にいなかったのであり、いくつかのものは永久にわからないままだろう。しかし、進化生物学はあらゆる科学と同様である。謎はあっても、その大半は一つずつ解決されていく。たとえばいまでは、鳥がどこから生じたかわ

かっている。鳥は何もないところから（創造論者がよく言うように）いきなり創られたわけでなく、恐竜から徐々に進化したのである。そして謎が一つ解決するたびに、ＩＤ論は後退せざるをえなくなる。ＩＤ論自体で検証可能な科学的主張をするわけでもなく、ただ中途半端なダーウィニズム批判をするだけなので、われわれの理解が深まるたびに、ＩＤ論の信頼性は少しずつ溶解する。さらにいえば、複雑な特徴に対するＩＤ論自体の説明――超自然的なデザイナーの気まぐれ――では、自然界に見られそうなものをなんでも説明できてしまう。だとすると創造主の気まぐれで、生物はあたかも進化したかのような姿になっているのかもしれない（多くの創造論者は――認めずとも――そう信じているらしいが）。しかし、ある仮説の誤りを立証できるような発見がありえないなら、その仮説はもともと科学的ではないのだ。

とはいえ、自然淘汰ではどんな起源にもたどりつけない形質もあるというＩＤ論者の主張にどう反論できるだろう？　そのような場合も、進化生物学者には、複雑な特徴がどう進化したかを一段階ごとに正確なシナリオを描いて厳密に立証する責任はない。それをするには、われわれがいなかったころに起こったことに関してのすべてを知っていなくてはならないが、そんなことは大半の形質、ほぼすべての生化学的経路において不可能だ。鞭毛が進化できたはずはないというＩＤ論者の主張に対して生化学者のフォード・ドゥーリトルとオルガ・ジャクシバエワが言ったように、「進化学者は、鞭毛の進化の詳細をすべて突きとめるなどという不可能な課題を背負う必要はない。われわれはただ、そうした発達が、すでに知られていて同意がなされているものと何ら変わらない

プロセスと構成要素を持つことから、実際にありうると示すだけでよい」。この「ありうる」というのは、言い換えれば、新しい形質にはそれぞれ必ず進化上の前身があるはずで、そのような形質の進化は、適応形質ができるまでの各段階はいずれもその時点での個体に利益をもたらすというダーウィニズムの要件に反していないということだ。

実際、自然淘汰が介在しえない起源を持つ適応形質など、われわれは一つも知らない。どうしてそう言いきれるのかといえば、身体構造上の形質に関しては、化石記録から（それがある場合は）進化がたどれるので、さまざまな変化がどういう順番で起こったのかわかる。そうしたら、その一連の変化が、少なくとも一段階ごとの適応プロセスに適合するかどうかが判断できる。そしてどの場合においても、とりあえず可能性のあるダーウィニズム的説明は見つけることができる。魚から陸生動物への進化についてもそうだし、陸生動物からクジラへ、爬虫類から鳥類への進化についても同じだ。それは、必ずしもそうである必要はなかった。たとえば祖先のクジラにおいては鼻孔が頭頂部に移動したが、それはひれの進化より前にも起こりえたはずだ。それなら天の創造主による行為であってもおかしくないし、逆に自然淘汰による進化では起こりえない。だが、実際に見られるものはつねに、ダーウィニズムが説明するとおりの進化の順番なのだ。

複雑な生化学的特徴や生化学的経路の進化を突きとめるのは容易ではない。なにしろ、それらは化石記録に残っていないのだ。それらの進化を再構築するには、もっと推論的な方法をとるしかない。そうした経路ができるには、比較的単純だった生化学上の先行物がどうまとまればいいのかを

考えるのだ。われわれはそうしたまとまりの各段階を知りたいし、その新しい段階のたびに個体の適応度が高まったかどうかを知りたいのである。

こうした経路の背後には超自然的な手が働いているというＩＤ論者の主張をよそに、科学者たちの粘り強い研究から、それらがどう進化したかについての妥当な（そして検証可能な）シナリオが出されはじめている。例として、脊椎動物の血液凝固の経路をとりあげてみよう。血液凝固は、開いた傷口の近辺で一個のタンパク質が別のタンパク質に接着することから始まる、一連の事象で成り立っている。最初の事象をきっかけに複雑なカスケード反応が起こり、全部で一六の段階を通過する。その各段階で異なる二個のタンパク質のあいだに相互反応が生じ、最終的に凝血塊そのものが形成される。この過程に合計二〇個以上のタンパク質が関わっている。こんなものがどうやって進化できたのだろう？

まだ確実にはわかっていないが、このシステムがもっと単純な先行物から適応的に組み立てられたと考えられる証拠がある。血液を凝固させるタンパク質の多くを作っているのは、重複で生じた類縁遺伝子だ。これは一種の突然変異で、細胞分裂時のエラーのせいで祖先の遺伝子、およびのちにはその子孫の遺伝子が、完全に重複してＤＮＡの鎖に並ぶことになる。いったん生じると、この重複した遺伝子は別々の経路に沿って進化できるので、最終的に別々の機能を果たすようになる。これが現在、血液凝固において見られることだ。そして、血液凝固の経路にあるほかのタンパク質や酵素も、脊椎動物よりも前に進化したグループにおいては、別の機能を持っていたことがわかっ

ている。たとえば、血液凝固の経路において欠かせないタンパク質の一つがフィブリノゲンで、これは血漿に溶解している。血液凝固の最後の段階で、このフィブリノゲンが酵素によって分解されると、短くなったタンパク質（フィブリン）は互いに接着して溶けなくなり、最終的な血塊を形成する。フィブリノゲンは、あらゆる脊椎動物において血液凝固タンパクとして存在しているので、血液凝固経路を持っていなかった祖先の無脊椎動物においては別の機能を持っていたタンパク質から進化したものと考えられる。インテリジェントなデザイナーなら適切なタンパク質を発明できただろうが、進化はそのようには働かない。フィブリノゲンの進化のもとになった、祖先のタンパク質が存在していたに違いないのだ。

カリフォルニア大学のラッセル・ドゥーリトルは、そうしたタンパク質が見つかるはずだと予言し、実際に一九九〇年、同僚のジュン・シューとともに、中国料理に使われることもある無脊椎動物のナマコのなかにそれを発見した。ナマコは少なくとも五億年前に脊椎動物の系統から分岐したが、それでもなお脊椎動物の血液凝固タンパクと明らかに類縁の、しかし血液凝固には使われていないタンパク質を持っている。これはナマコと脊椎動物の共通祖先が、のちに脊椎動物においては新しい機能のために使われるようになった遺伝子を持っていたことを意味している。まさに進化が予言するとおりだ。以後、ドゥーリトルや細胞生物学者のケネス・ミラーは、もともとのタンパク質の各部分から血液凝固のカスケード全体が進化するための適応的な配列の可能性を探ってきた。その先行タンパク質はすべて無脊椎動物に見つかっており、そこでは血液凝固とは別の機能を担っ

ている。これが進化して脊椎動物で別の目的に使われるようになり、血液凝固系に組み込まれた。バクテリアの鞭毛についても、まだ完全には解明されていないが、やはり別の生化学的経路から取り込まれた多くのタンパク質が関わっていることがわかっている。[31]

難問も科学の前にはしばしば屈する。複雑な生化学系の進化の経緯がすべて解明されているわけではないにせよ、われわれの知識は日ごとに増えている。そう焦らずとも、生化学的進化はまだ生まれてまもない分野なのだ。科学史がわれわれに教えてくれることがあるとすれば、われわれの無知を打破するものは調査研究だということだ。解明をあきらめて、自分の無知を創造主の奇跡的な業にすりかえることではない。そうではないと主張する声があったなら、ダーウィンのこの言葉を思い出してほしい。「無知はしばしば、知識よりもよほど確信を生じさせる。この問題やあの問題は決して科学では解決されないと確信的に断言するのは、よく知っている人ではなくて何も知らない人のほうである」。

こうなると原則として、進化が複雑な生化学系を構築することに深刻な問題は何もないように見える。だが、時間についてはどうだろう。複雑な適応形質もそうだが、現在のような生命の多様性が自然淘汰によって生まれるだけの充分な時間はあったのだろうか。生物が進化してきたことについては、明らかに時間はあった――それは化石記録からだけでもわかる――が、これだけの変化を起こせるほどの強い力が果たして自然淘汰にあったのだろうか。

それを知るための一つの方法は、化石記録に現れている進化の速度を、人工的な淘汰を用いた実

験室での実験に現れる速度、あるいは、大昔に種が新しい生息環境に移り住んだときに生じた進化的変化についての歴史的データと比較してみることである。もしも化石記録に現れている進化のほうが、実験室での実験に現れる進化や移住にともなう進化――ともに非常に強い淘汰圧がかかるケース――よりもずっと速かったら、化石に見られる変化を淘汰で説明できるかどうかについて考えなおさざるをえないかもしれない。しかし幸い、結果は逆となっている。ミシガン大学のフィリップ・ギンガリッチが、実験室実験と移住調査において動物の体の大きさと形状の変化を調べたところ、その変化速度は化石の変化速度よりも断然速かったのである。その差は五〇〇倍（移住時に働く淘汰）から一〇〇万倍近く（実験室実験での淘汰）に及んだ。化石記録に見られる最も速い進化速度でさえ、人間が実験室で淘汰を実施したときの最も遅い速度に並ぶべくもなかった。さらに言えば、移住調査に見られる進化の平均速度は、ネズミをわずか一万年でゾウの大きさに変えられるほどの速さだった！

ここからわかるのは、淘汰は化石記録に見られる変化を完璧に説明できるということだ。人々がこれを疑問に思う理由の一つは、淘汰が働くのにかかる時間の長さがとんでもなく長いため、その規模がつかめない（あるいは信じられない）からである。なにしろわれわれは、自分の一生の長さの範囲にあるものに対処するために進化してきたようなものだ。つまり進化過程の大部分において、せいぜい三〇年規模の事柄が相手だったのである。一〇〇〇万年規模のことなど直観的につかめるはずがない。

そして最後の質問だ。自然淘汰は本当に複雑な器官、たとえば眼なども充分に説明できるのか？　脊椎動物（およびイカやタコなどの軟体動物）の「カメラ」のような眼は、かつて創造論者が大好きだったものである。虹彩、レンズ、網膜、角膜などが複雑に配置され、そのすべてが噛みあって初めて像が作られる。こうした眼というものの精巧な構成に気づいて、自然淘汰に反対する者たちはこう主張したのである。眼が漸進的な段階を経て形成されるなどありえない。「半分までできた眼」がいったい何の役に立つ？

ダーウィンは『種の起源』でこの主張をとりあげ、みごとに反駁している。現存している種のなかに、機能はしているがそれほど複雑でない眼、しかも役に立っているだけでなく、カメラのような眼がどう進化したと考えられるかを示す仮説上の配列どおりにつなぎあわされている眼が見つかるかどうかを調べたのである。もしそれが見つかれば――実際に見つかったのだが――自然淘汰では眼をつくれなかったはずだとする主張は崩壊する。現生種の眼が役に立っているのは明らかだからだ。少しずつでも眼が改良されていけば、それは明らかな利点となる。個体はその分だけ食物が見つけやすくなり、捕食者から逃げやすくなり、自分の生息範囲を徘徊しやすくなる。

考えられる順序として、この一連の変化は、扁形動物に見られるような感光性の色素でできた単純な眼点から始まる。そこに折りたたまれた皮膚がはさまって眼杯が形成され、これで眼点が保護されるとともに、個体は光源の場所を突き止めやすくなる。巻貝の一種であるカサガイはまさにこのような眼を持っている。同じく巻貝の一種であるオウムガイでは、眼杯の開口部がさらに狭まっ

て、より改善された像を作る。環形動物のゴカイでは、この眼杯が透明なカバーによって蓋をされ、開口部を保護されている。アワビでは、目のなかの液体の一部が凝固してレンズを形成し、それが光の焦点をあわせる働きをしている。そして哺乳類も含めた多くの種では、付近の筋肉が働いてレンズを動かし、焦点をさまざまに変えている。続いて、網膜や視神経などの進化が自然淘汰を通じて起こる。この仮説上の「連続した」移行過程の各段階は、より高い適応性を眼の持ち主にもたらしていく。眼がそれだけ光を集めやすくなり、より明確な像を作れるようになるので、ともに生存と繁殖の助けになるからだ。そしてこの仮説の各段階は、実際に異なる現生種の眼に見られているのだから、可能性として充分にありえる。そして一連の過程の最後に、われわれのカメラのような眼がある。その適応的な進化の結果は、ありえないほど複雑になっているように見える。しかし、この最終的な眼の複雑さは、一連のささやかな適応段階に分解できるのである。

さらに、われわれは現生種の眼を適応順序に沿って並べるだけでなく、それ以上のこともできる。単純な先行器官を起点にした眼の進化モデルを作って、その先行器官を自然淘汰が妥当な期間で複雑な眼に変えられるかどうかを確かめられるのだ。スウェーデンのルンド大学のダン＝エリック・ニルソンとスサン・ペルゲルは、そうした数学的モデルを作って、色素層（網膜）に支えられた感光性細胞の集まりから始まる眼の進化を再現してみた。この構造の周囲の組織がランダムに変化するようにし、各段階での大きさや厚みの変化の割合は一パーセント以下に抑えた。自然淘汰に模するため、モデル上の「突然変異」は視力を向上させるものだけとし、視力を低下させるものは除外

されるようにした。

すると驚くほど短期間のうちに、モデルは複雑な眼を生み出した。その過程で経た各段階は、前述した現実の動物に見られる一連の段階ととてもよく似ていた。眼は内側に折りたたまれて眼杯を形成し、その眼杯が透明な膜で蓋をされ、眼杯の内部がゲル化してレンズを形成するとともに、幅や厚みを備えたレンズが最善の像を作るようになった。

扁形動物のような眼点から始まって、モデルはやがて脊椎動物の複雑な眼のようなものを作るにいたり、その過程で一連のささやかな適応段階を――正確に言えば一八二九段階を――通過した。だがニルソンとペルゲルはそれだけでなく、この過程にどれだけの長さがかかるかも計算した。その前提として、淘汰を受けはじめた個体群にどれだけ眼の形状に関する遺伝的多様性があったか、淘汰がどれだけの強さで眼の大きさの有益な向上を選び取っていったかも推定した。この推定値はあえて保守的な値に抑えられた。遺伝的多様性はそれなりにあったとしても、さほど大きくはなかっただろうし、自然淘汰もかなり弱かっただろうと思われたからだ。にもかかわらず、眼はたいへんな速さで進化した。原初的な感光器から始まってカメラのような眼にいたる全過程が、たった四万年以下で完了したのである。このモデルのとおりなら、眼を持った最古の動物が現れたのは五億五〇〇〇万年前ごろだから、複雑な眼が進化できるだけの時間は充分にあった。充分どころか一五〇〇倍以上の余裕があったことになる。実際に、眼は少なくとも四〇の動物のグループで独立に進化してきている。ニルソンとペルゲルの論文にあるそっけない一言のとおり、「ダーウィンの進

化論にとって眼が深刻な脅威となりえないのは明白」なのである。

というわけで、ここまでの話を簡単にまとめておこうか。まず、自然淘汰によく似たプロセス――動植物のブリーディング――が野生の種に存在する遺伝的差異をとらえて、そこから非常に大きな「進化的」変容を生み出しているのがわかった。そうした変容は、過去に起こった実際の進化的変化よりもずっと大規模に、ずっと短期間でできることもわかった。また、淘汰が実験室で行なわれるところも、病気の原因となる微生物や、野生の種を事例にして見てきた。さらに、自然淘汰によっては絶対に形成されえない適応形質などないこともわかった。しかも多くの場合、それが淘汰によってどう形成されたかも、かなりの妥当さで推測できる。そして、自然淘汰が複雑な特徴を充分に作れることを数学的モデルによって確認した。これで結論は明白だ。とりあえず、自然淘汰はあらゆる適応的進化の動因になっていると考えてよい。ただし進化のすべてではない。一部には、遺伝的浮動がその役割を果たしているからだ。

もちろん、ブリーダーはネコをイヌには変えていないし、実験室での研究でバクテリアがアメーバに変わったこともない（ただし実験でバクテリアの新しい種が生まれたことはあったが）。とは言え、それが自然淘汰にとって深刻な反証になると考えるのはばかげている。大きな変換には時間が――とてつもなく長い時間が――かかる。淘汰の威力を本当に理解するには、われわれが生きているあいだに淘汰が生み出す小さな変化を、実際に自然界で淘汰が働くときに要する何百万年もの期間に当てはめて考えてみなくてはならない。われわれはグランドキャニオンが少しずつ深くなっ

ているところも目で見ることはできないが、その深い裂け目をのぞきこんで、底を流れるコロラド川がひそかに淵を削りとっているのだと想像すれば、ダーウィニズムの最も重要な教えが実感されてくるだろう。弱い力も長期にわたって働けば、大きい劇的な変化を生み出すのである。

第6章

性はいかにして進化を促すか

たとえばゴクラクチョウやクジャクのオスが、メスの前でなんの目的もなく、その美しい羽をわざわざ立たせたり広げたり揺らしたりしているとは考えられない。

——チャールズ・ダーウィン

自然界で一、二を争う華麗な動物といえば、自らを存分に誇示しているときのオスのクジャクをおいてほかにない。目玉模様の散りばめられた虹のような青緑色の尾が、艶やかな青色の体の後ろできらびやかに広げられている。だが、この鳥はダーウィニズムのあらゆる側面に反しているように見える。これらの形質はクジャクを美しく見せている一方、生存にとっては不適応としか思えないからだ。長い尾が飛翔のときに空気力学的な問題を生じさせるのは、クジャクがえらく苦しそうに飛んでいるところを見たことのある人なら誰でもうなづけると思う。これではクジャクもさぞ大変だろう。夜に樹上のねぐらに上がるにも一苦労だし、捕食者からも逃れにくい。特にモンスーンの季節には、濡れた尾が引きずられて邪魔以外の何物でもない。輝かしい色彩も捕食者の目を引き

やすい。尾が短く、さえない緑がかった茶色でカムフラージュされているメスと比べてなんという違いだろう。しかもオスの華やかな尾には、大量の代謝エネルギーが使われてしまう。これは毎年、完全に生え変わるようになっているのだ。

クジャクの羽は無意味に見えるだけでなく、実際に障害でもある。これが本当に適応形質なのだろうか？　それに、もしそうした羽を持っている個体のほうが多く遺伝子を残すというなら――この衣装が自然淘汰で進化したとすれば、そう考えるしかないわけだが――なぜメスも同じくきらびやかになっていないのか？　ダーウィンは一八六〇年、アメリカの生物学者エイサ・グレイへの手紙のなかで、この問題についてこぼしている。「眼について考えているうちすっかり憂鬱になってしまった時期のことはよく覚えているが、それで不平を言う段階はもう乗り越えており、いまは構造のちょっとした点に関して、しばしば非常に落ち着かない思いをしている。クジャクの尾の羽の様子、あれを見るにつけ、頭が痛くなるのだ！」

クジャクの尾のような謎はふんだんにある。オオツノシカもその一つだ（このシカは英名をアイリッシュ・エルクというが、これは不適切な呼称で、アイルランドだけにいたわけではないし、エルク――ヘラジカ――でもない。実際には、これまでの記述に残っている最大のシカで、ヨーロッパとアジアの全域に生息していた）。オオツノシカは一万年前までは生息していた絶滅種で、そのオスは、差し渡し三メートル半以上にもなる巨大な角を誇っていた。総重量四〇キロほどにもなる角が、たった二キロ余りの頭蓋骨のうえに鎮座していたのである。そのストレスを考えてみてほし

い。一日中ティーンエイジャーの子供を頭に載せて歩いているようなものだ。そしてクジャクの羽と同じく、この角も年ごとに生え変わっていた。

派手な形質のほかに、奇妙な行動が片方の性だけに見られることもある。中央アメリカのトゥンガラガエルのオスは、毎晩、鳴嚢（めいのう）という鳴き袋を膨らませて長いセレナーデを歌う。歌はメスの注意を引きつけるが、同時にコウモリや吸血バエの注意も引きつける。これらは歌っているオスを、鳴かないメスよりはるかに多く餌にする。オーストラリアでは、ニワシドリのオスが小枝を積み重ねた大きくて奇妙な「あずまや」を作る。その形状は種によってトンネルのようであったり、マッシュルームやテントのようであったりとさまざまである。しかも建造物には多様な装飾品がついていて、花、カタツムリの殻、果実、莢（さや）などのほか、人間が付近にいる場合は瓶の蓋、ガラス片、アルミ箔なども飾りにされる。この建造には数時間、ことによると数日がかかる（幅三メートル、高さ一・五メートル近くまで達するものもある）が、それは巣として使われるわけではない。なぜオスはわざわざそんな面倒なことをしているのか？

これらの形質は生存の可能性を下げるのではないか――とダーウィンはただ推測するだけだったが、近年では、それらがどれだけ犠牲を強いるかを科学者が実際に示してきている。アカエリホウオウのオスはつやつやした黒い羽毛の鳥だが、後頭部から首の部分がひときわ目立つ深紅になっていて、体長の倍にもなろうかという非常に長い尾羽を持っている。このオスが飛んでいるのを見たことがある人なら、尾をばたばたさせながら苦しそうに飛んでいくその姿に、この尾は何のために

あるのだろうと誰でも不思議に思うだろう。スウェーデンのエーテボリ大学のサラ・プリーケとステファン・アンデションは、南米で一群のオスを捕獲し、その尾を切り取ってみた。一つのグループは二・五センチほど切り落とし、もう一つのグループは一〇センチほど切り落とした。そして繁殖期のあいだにふたたびオスを捕獲してみると、尾の短いオスに比べて、尾の長いオスのほうは体重が激減していた。明らかに、この伸びすぎた尾は相当のハンディキャップとなっている。

明るい色彩も同じことだ。それを実証したのが、クビワトカゲを使っての巧みな実験である。このアメリカ西部に棲む三〇センチほどのトカゲは、オスとメスとでずいぶん姿が異なっている。オスは明るい青緑色で、頭部は黄色く、首周りは黒く、さらに白黒の斑点がついている。一方、メスはもっと地味で、体は灰色がかった茶色だし、斑点も目立たない。オスの明るい色彩は捕食者の注意を引きやすいはずだという仮説を検証するために、オクラホマ州立大学のジェリー・フサークとそのチームは、クビワトカゲのオスとメスに似せた粘土のモデルを砂漠に置いてみた。本物のトカゲと間違えてモデルに噛みつく捕食者がいれば、軟らかい粘土にその噛み跡が残る。わずか一週間で、けばけばしいオスのモデル四〇個のうちの三十五個に噛み跡がついた。噛んだのはおもにヘビと鳥だった。一方、さえないメスのモデル四〇個は、攻撃されたものが皆無だった。

同じ種でもオスとメスとで異なる形質――尾や色や歌など――を持つことを「性的二型」という（図23に一例を示す）。何度も何度も、生物学者はさまざまな生物のオスに、こうした進化論に反するとしか思えない性的二型の形質を見てきた。それらは時間とエネルギーの浪費であり、生存の可

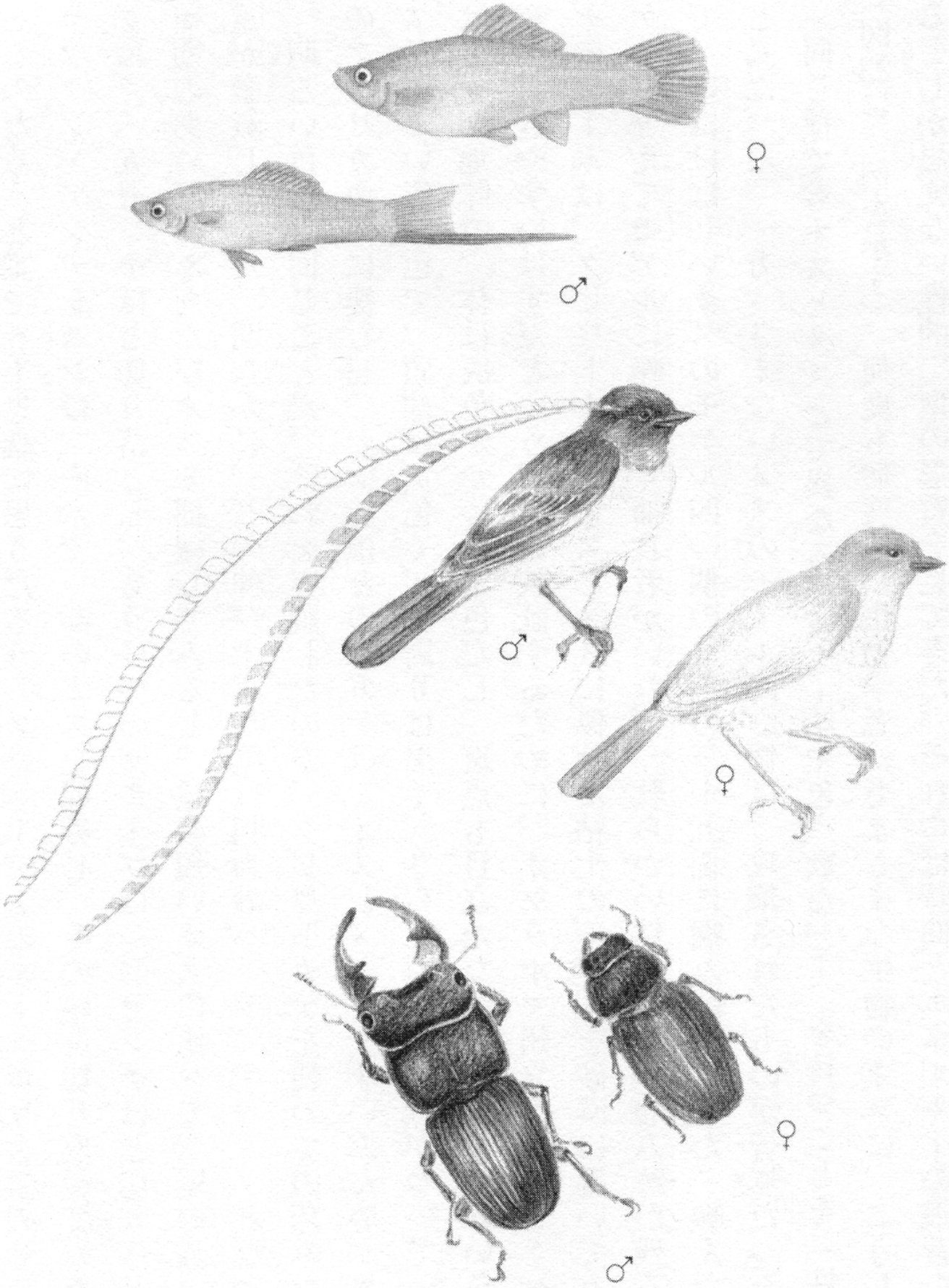


図 23　性的二型の例。オスとメスの外見に顕著な違いが表れている。上：ソードテール（*Xiphophorus helleri*）。中：フキナガシフウチョウ（*Pteridophora alberti*）。オスの頭部には吹き流しのような凝った飾り羽があり、一方が空色、もう一方が茶色になっている。下：クワガタムシの一種、タイワンネブトクワガタ（*Aegus formosae*）。

能性を低下させているだけに見える。色彩豊かなオスのグッピーは、地味なメスより食われる確率が高い。地中海沿岸地方に生息するクロサバクヒタキのオスは、ご苦労にもさまざまな場所に小石を積み上げ、自分の体重の五〇倍にもなる巨大な石塚を二週間かけて築造する。北米に棲むキジオライチョウのオスは、ディスプレー行動がふるっている。羽をバサバサと揺らし、胸をこれでもかと膨らませ、二つの大きな鳴嚢からうるさい音を出しながら、気どって草原を行き来する。[32] こうした奇行は、鳥にとっては膨大なエネルギーを消費するだろう。一日のディスプレー行動でバナナスプリット〔一般に、縦に切ったバナナ、ホイップクリーム、アイスクリームなどでつくるデザート〕と同じだけのカロリーが燃焼されるのだ。もし選択がこれらの形質を生み出しているのなら――その複雑さを思えば、そうとしか考えられないのだが――なぜそうなっているかが説明されなくてはなるまい。

いくつかの解釈

ダーウィン以前、性的二型は謎であった。当時の創造論者は――現在もだが――超自然的なデザイナーがなぜ片方の性に、それも片方の性にだけ、生存を脅かすような特徴をつくるのか説明できなかった。自然界の多様性をみごとに説明した者として、当然ながらダーウィンは、これらの一見すると無意味な形質がなぜ進化したかを解き明かしたいと真剣に思った。そしてついに、それを解明する手がかりに気づいた。同じ種のオスとメスとで形質が異なっている場合、やたらと凝った行

動や構造や飾りを示しているのは、ほぼ必ずオスのほうなのだ。

このコストのかかる形質がどうして進化したのか、すでに察している人もいるかもしれない。あらためて言うが、淘汰において価値あるものは生存ではなく、あくまでも繁殖の成功である。きらびやかな尾や魅惑的な歌は、持ち主の命を助ける役には立たなくても、持ち主が子を残す確率を高める役には立っているのかもしれない――だから、これらの派手な形質や行動が生まれてきたのだ。この交換条件（トレードオフ）に初めて気づいたのがダーウィンで、このような性的二型の特徴を生じさせる淘汰のタイプを「性淘汰」と名づけた。要するに性淘汰とは、個体が交尾相手を獲得する確率を高める淘汰である。これは自然淘汰の一部分にすぎないが、その独特な働き方と、一見すると不適応な適応を生み出している特異な点を考えれば、これで一つの章を費やすだけの価値はある。

性淘汰による形質が進化するのは、その形質でオスの生存が脅かされるマイナス面を、オスの繁殖が成功するプラス面が相殺して、さらに利益が出る場合だ。たとえば長い尾を持ったホウオウチョウは、捕食者からはうまく逃げられないかもしれないが、この種のメスはできるだけ長い尾のオスを交尾相手として好むのかもしれない。巨大な角を持ったシカは、代謝の重荷で生存に苦労するかもしれないが、互いの一騎打ちとなれば角が大きいほうが勝ちやすく、したがって多くの子を種付けできるのかもしれない。

性淘汰は二つの様式に分かれる。一方は、オオツノシカの巨大な角に現れているような、メスを手に入れるための直接的なオス間競争である。もう一方は、ホウオウチョウの長い尾を生み出した

ような、交尾するのにできるだけ好ましい相手を求めるメスの選り好みである。このうち、オス間競争（ダーウィンのよく使う好戦的な用語を借りれば「闘争の法則」）はかなり理解しやすい。ダーウィンが記しているとおり、「ほぼすべての動物に、メスの所有権をめぐるオス同士の争いがあるのは間違いない」。ある種のオスとオスが真っ向から戦うとき――たとえば角を突きあわせるシカにせよ、大顎を突き刺しあうクワガタムシにせよ、頭突きしあうシュモクバエにせよ、あるいは血みどろの戦いを繰り広げる巨体ゾウアザラシにせよ――その戦いの勝者はライバルを追い払ってメスへのアクセス権を手にする。そうして高まった交尾相手の獲得率が、生存を危うくする確率より上をいっているかぎり、淘汰は勝利をもたらしやすくする形質をなんでも助長するだろう。このタイプの淘汰から生じるのは、戦いのための装備である。より強い武器、より大きな体など、オスが身体的な戦いに勝つのを助けるための道具だ。

対照的に、鮮やかな色彩、装飾物、あずまや、繁殖期のディスプレー行動などの特徴は、性淘汰のもう一方のタイプであるメスの選り好みによって形成される。メスからすると、すべてのオスが同じようには見えないらしい。ある特定のオスの形質や行動が、メスにとってはほかのオスのそれより魅力的なので、そうした特徴を生み出す遺伝子が個体群のなかに蓄積されていくのだ。ここにもオス間競争の要素はあるが、それは間接的な競争だ。たしかに勝者のオスは、最もうるさい声、最も明るい色、最も吸引力の強いフェロモン、最もセクシーなディスプレーなどを持っている。しかしオス間競争とは対照的に、ここでの勝者はメスによって決められる。

いずれのタイプの性淘汰においても、オスはメスをめぐって競争する。これはなぜ逆にならないのだろう？　詳しくはあとで見ていくが、理由はすべて、二つの微小な細胞の大きさの違いにある。つまり、精子と卵子の違いである。

ともあれ、オスは競争に勝ったとして、あるいは装飾やディスプレーが一番目立ったとして、本当にそのオスが誰よりも多く交尾できるのか？　もしそうでなければ、性淘汰の仮説全体が崩壊する。

幸い、証拠は一貫してこの仮説を強く裏づけている。まずはオス間競争から見ていこう。北米大陸の太平洋岸に生息するキタゾウアザラシは、その体格に極端な性的二型を見せている。メスは体長がおよそ三メートル、体重が約六八〇キロだが、オスは体長が二倍近くあり、体重は最高二七〇〇キロにも達する。つまりフォルクスワーゲンより大きくて、倍以上の重さがあるのだ。キタゾウアザラシは一夫多妻制でもある。オスが繁殖期のあいだに一頭以上のメスと交尾するということだ。オスの約三分の一はメスのハーレムをガードしながら、そのなかで交尾をする（ボスのオス一頭につき最大一〇〇回もの交尾がなされる！）が、あぶれたオスは独身を貫くしかない。この交尾をめぐる競争に誰が勝ち、誰が負けるかを決めるのは、オス同士の熾烈な闘いであり、それが終わってようやくメスは海岸に上がってくる。争いは流血をともなう。大きいオス同士が巨体をぶつけあい、互いの首筋に歯で深い傷を負わせあったあと、最も大きなオスが首位の座につく優勢順位が決定される。そこにメスが現れると、優位のオスがメスを集めてハーレムをつくり、近寄ってくるライバ

ルを追い払う。一年に産まれる子のほとんどは、最も大きな体をした数頭のオスが父親になっている。

これがまさにオス間競争で、その賞品は繁殖である。この配偶様式を考えると、性淘汰が大きくて獰猛なオスの進化を促すのも容易にうなづける。結局は、大きいオスほど自分の遺伝子を次世代に残すことになり、小さいオスにはそれができない（戦う必要のないメスは、おそらく繁殖にとっての最適体重に近いのだろう）。体の大きさの性的二型は、われわれ自身も含めた多くの種に見られるが、それもメスへのアクセス権をめぐるオス間競争から生まれているのかもしれない。

一方、鳥類のオスはしばしば不動産をめぐって熾烈な競争をする。多くの種では、巣を作るのに適した――草木が豊富な――土地の一画を支配しているだけで、オスがメスを引きつける。ひとたび自分の区画が持てたら、オスはそこを守るために姿や声で示威行動をとる。侵入してくるオスがあれば、直接攻撃もする。われわれの耳を喜ばせる鳥の歌の多くは、実際には威嚇であって、ほかのオスに近づくなと警告しているのである。

北米産のハゴロモガラスは、淡水の沼地などの開けた生息環境でテリトリーを守っている。ゾウアザラシと同じように、この種も一夫多妻制で、数羽のオスにつき一五羽ほどのメスがテリトリー内で巣を作っている。ほかの多くのオスは「フローター（あぶれ個体）」と呼ばれ、交尾できないまま過ごすことになる。フローターは常時、既存のテリトリーに侵入する機会を狙っていて、すきあらばメスと交尾しようとするので、オスはそれを追い払うのに忙しい。オスの時間は、多いとき

には四分の一までが縄張りを見張るのに費やされる。直接あちこちを巡視するほかにも、ハゴロモガラスの防衛手段はいくつかある。複雑な歌をうたったり、その名の由来となっている肩飾りのような鮮やかな赤い羽を威嚇に使ったりするのである（メスは茶色で、小さな痕跡の肩飾りが残っている場合もある）。この肩飾りは、メスを引きつけるためにあるのではない。これはテリトリーをめぐる戦いで、ほかのオスを威嚇するために使われている。実験でオスの赤い羽を黒く塗って肩飾りの威力をなくしてみると、オスの七〇パーセントがテリトリーを失った。一方、透明な溶剤を塗られた支配オスは一〇パーセントしかテリトリーを失わなかった。おそらくこの肩飾りがあれば、テリトリーが占領済みであるという警告になって、侵入者を寄せつけずにいられるのだろう。また、歌も重要なポイントだ。一時的に歌えないようにされた無声のオスは、やはりテリトリーを失っている。

つまりハゴロモガラスでは、歌と羽毛がオスの交尾機会を高めるのに役立っているわけだ。この調査や、ほかの多くの研究から、性淘汰が働く理由は、より凝った特徴を持つオスのほうが子孫のかたちで大きな報いを受けられるからだということが明らかにされてきた。この結論は単純に見えるが、これが得られたのも、生物学者が膨大な時間のかかる退屈なフィールドワークをこなしてくれたからである。光り輝く実験室でＤＮＡ配列を解読しているほうがよほど華やかに思えるかもしれないが、自然淘汰が自然界でどう働いているかを科学者が示すには、野外で土にまみれる以外にないのである。

ところで、性淘汰は性行為そのもので終わりではない。オスは交尾後もさらに競争を続けることがある。多くの種では、メスが短期間に複数のオスと交尾する。オスはメスに精液を注入したあと、どうしたらほかのオスがそのメスを受精させるのを阻止し、自分の父性を守り通すことができるだろう？　この交尾後競争は、性淘汰によってつくられる最も興味深い特徴のいくつかを生み出してきた。オスが交尾後にあたりをぶらぶらしていることがよくあるが、これはメスをほかの求婚者からガードする行為なのである。トンボが二匹くっついて飛んでいるのを見たならば、それはたいてい受精後のメスと、それをガードしているオスである。ほかのオスが近づいてくるのを、受精させたオスが物理的に阻止しているのだ。中米産のヤスデ類は、このガードを極端なまでに突き詰めている。メスを受精させたあと、オスはそのメスに何日も乗っかって、ライバルがメスの卵を横取りするのを阻むのである。化学物質もこの役割を果たすことがある。一部のヘビや齧歯類の精液には、交尾後のメスの生殖管を一時的にふさぐ物質が含まれていて、これがバリケードのようにほかのオスの侵入を阻止する。私が研究しているショウジョウバエのあるグループでは、オスがメスに媚薬の逆のようなものを注入する。精液に含まれているある化学物質のせいで、交尾後のメスは数日間、次の交尾がしたくなくなるのである。

オスは自分の父性を守るため、さまざまな防衛用武器を利用する。だが、それよりもっと狡猾な手を使うこともある。多くのオスは、前に交尾したオスの精子を取り除き、自分の精子に置き換えるための攻撃用武器をもっているのだ。特に巧妙な装置の一つが、一部のイトトンボの「かき出し

ペニス」である。この種のオスは、すでに交尾したあとのメスと交尾するときに、ペニスについている後ろ向きに尖ったとげを使って、先に交尾したオスの精子をかき出すのである。メスの体内から精子がなくなったあと、初めてオスは自分の精子を送り込む。私の研究室もショウジョウバエで、前に交尾したオスの蓄えられていた精子を不活性化させる物質がオスの精液に含まれていることを発見した。

さて、それでは性淘汰の二つ目のタイプ、交尾相手の選り好みについてはどうだろう？　オス間競争に比べると、こちらのプロセスはどう働くかがそれほど詳しくわかっていない。色彩や羽やディスプレーにどういう意味があるかは、角などの武器と比べてずっとあやふやだからだ。

交尾相手の選り好みがどう進化するかを知るために、まずはダーウィンを大いに悩ませた、厄介なクジャクの話から始めよう。クジャクの配偶者選びについての研究は、大半がマリオン・ピートリーのチームによって行なわれてきた。イギリスのベッドフォードシャー州にあるウィップスネード動物園で放し飼いにされている個体群を調査したものである。この種のオスは、一カ所に集まっていっせいにディスプレー行動を行なう。この集合場所を「レック」といい、メスはそこで直接オスを比較する機会を得られる。すべてのオスがレックに参加するわけではないが、参加しなければメスは勝ち取れない。ある調査でレックに集まった一〇羽のオスを観察したところ、オスの尾羽の目玉模様の数と、そのオスが獲得した交尾回数とのあいだに、強い相関関係が示された。一六〇個の目玉を持った最も派手なオスが、全交尾回数の三六パーセントを勝ち得たのである。

この結果を見ると、尾のつくりが凝っているほどメスに好まれることになるが、これだけでは立証はできない。オスの求愛の何か別の要素――たとえばディスプレーの勢いのよさなど――がメスの選り好みの本当の原因で、それがたまたま羽と相関していただけの可能性もある。この可能性を排除するためには、実験で操作を加えればよい。クジャクの尾の目玉の数を変え、それが交尾相手の獲得能力に影響するかどうかを見るのである。驚くことに、そうした実験はすでに一八六九年に提案されていた。提案者はダーウィンのライバルだった、アルフレッド・ラッセル・ウォレスである。この二人は自然淘汰をはじめとして、多くの点で合意していたが、性淘汰になると意見が分かれた。オス間競争はどちらにとっても問題なかったが、ウォレスはメスの選り好みの可能性に難色を示した。にもかかわらず、彼はこの問題についてオープンな姿勢を保ち、時代に先駆けて問題の検証方法を提示した。

実際には立証されていないが、たとえ装飾物のわずかな優位性だけで配偶者選びが決定されると立証されたとしても、装飾物の問題だけで済まされる部分は非常に小さいだろう。

しかしながら、これは実験をしてもよい問題なので、どこかの動物学協会でも手段を持つ個人でもいいから、その実験をやってみるべきだと提案する。まず同年齢のたくさんのオスの鳥――ニワトリでもそこらのキジでもキンケイでも――を選ぶが、すべてメスが許容することがわかっているものとする。その半分は、一本か二本の尾羽を切り落とす。あるいは首の羽を少

し短くする。ちょうど自然界の多様性によって生じるような違いを生み出すためで、鳥の外観を損なってしまうほど変えてはならない。その後、メスがその不備に少しでも気づくかどうか、装飾を減らされたオスを一様に拒絶するかどうかを観察する。こうした実験が注意深く行なわれ、数季にわたって慎重に変化をつけていかれれば、この興味深い問題について何より貴重な情報が得られるだろう。

実際、こうした実験が行なわれたのは一世紀ものちになってからのことだった。しかし、いまでは結果が出て、メスの選り好みは普遍的なものであるとわかった。マリオン・ピートリーとティム・ハリデーがある実験で、クジャクの一群の全オスの尾から二〇個の目玉を取り去り、操作はされているが目玉は削られていない対照群と交尾の成功率を比較してみた。するとやはり、装飾を減らされていたオスは、次の繁殖期に対照群よりも交尾の数が平均二・五回少なくなっていた。

この実験を見れば明らかに、メスは装飾が減らされていないオスを好んでいる。しかし理想を言えば、逆のケースでの実験を行なって確かめたい。尾をもっと装飾的にして、それで交尾の成功率が高まるかどうかを見るのである。これをクジャクで行なうのは難しいが、スウェーデンの生物学者マルテ・アンデションが縄張り習性を持つアフリカ産のコクホウジャクでこの実験を行なっている。この種も性的二型で、オスは五〇センチほどの尾を持つが、メスの尾は八センチほどしかない。アンデションはオスの長い尾の一部を切り取って、それを通常の尾に接着剤で貼りつけることによ

り、異常に短い尾（一五センチ）のオスと、正常な長さの尾を持つコントロール用のオス（いったん切り取られた尾をあらためて貼り直された）と、異常に長い尾（七六センチ）のオスの三種類をつくりだした。予想されたとおり、短い尾のオスは正常なオスに比べてテリトリー内に囲えるメスの数が少なかった。しかし人工的に尾を長くされたオスは、交尾機会をとほうもなく高めていた。正常オスの二倍近くの数のメスを引きつけていたのである。

ここから一つ疑問が生じる。七六センチの尾のオスは、より多くのメスを獲得したわけだが、それならなぜコクホウジャクは最初から尾をそのぐらいの長さに進化させなかったのだろう？　確答はできないが、おそらくそれだけ長い尾を持ってしまうと、交尾相手を得る能力の高まりよりもオスの寿命の低下のほうが勝ってしまうのではないだろうか。寿命とはかりにかけたうえでの総合的な繁殖成果が最大に近くなるのが、おそらく五〇センチの尾の長さなのだろう。

では、キジオライチョウは草原での難儀な奇行から何を得ているのだろう？　もちろん、交尾相手だ。クジャクと同じように、オスのキジオライチョウはレックを形成し、そこでいっせいにディスプレー行動を行なってメスの検分を待つ。そして最も元気のよい――一日に八〇〇回近くも胸を膨らませる――少数のオスだけがメスを勝ち取り、あとの大多数のオスは交尾ができないまま終わる。

ニワシドリが作る立派な建築物も、性淘汰で説明できる。いくつかの調査によれば、種によって異なるあずまやの装飾物のタイプが、交尾の成功率と相関関係になっている。たとえばアオアズマ

ヤドリは、自分の作ったあずまやに青い羽をより多く飾ったほうが、交尾相手を多く得られる。マダラニワシドリの場合は、緑色のソラナム（ナス科に属する野生トマトの近縁種）の実によって最大の成功を得られる。ケンブリッジ大学のジョア・マッデンはマダラニワシドリのあずまやから装飾物を取り去って、そのあとオスの前に六〇種類の物体を置いて選ばせてみた。すると案の定、マダラニワシドリはおもにソラナムの実を選んで、ふたたび自分のあずまやの最も目立つところに飾りつけた。

私がここで鳥の話を多くしてきたのは、生物学者全般が認めるとおり、配偶者選びについては鳥類が最も研究しやすい――日中に活動するので観察しやすい――からだが、ほかの動物においても配偶者選びの実例はたくさんある。トゥンガラガエルのメスは、最も複雑な鳴き声を出すオスと交尾するのを好む。グッピーのメスが好むのは、できるだけ長い尾を持ち、色のついた斑点をできるだけ多く持っているオスだ。マルテ・アンデションは『性淘汰』というたいへんな労作で、一八六の種を対象にした二三二の実験を紹介しながら、じつにさまざまなオスの形質が交尾の成功と相関関係にあることと、それらの試験の大多数がメスの選り好みに関わっていることを示している。メスの選り好みが多くの性的二型の進化を促してきたことは、もはや疑いようがない。ダーウィンはやはり正しかったのだ。

さて、ここまでは二つの重要な問題をとりあえず脇によけてきた。オスは求愛したり、メスを得るために戦ったりしなくてはならないのに、なぜメスは選ぶ立場に立てているのか。そして、なぜ

メスが選ぶ側なのか。この疑問に答えるためには、なぜ生物にわざわざ性別があるのかを理解しておかなくてはならない。

性別はなぜあるのか

なぜ性別が進化したかは、じつは進化の最大の謎の一つだ。有性生殖をする個体は、言い換えれば自分の遺伝子の半分だけを含んだ卵子や精子を作ることによって繁殖をするわけだから、無性生殖をする個体に比べて、次世代に託す自分の遺伝子を五〇パーセント犠牲にしていることになる。たとえば人間にこんな遺伝子があったと考えてみよう。その遺伝子は、通常だと個体に有性生殖をさせるのだが、その突然変異体は、メスに「単為生殖」を可能にさせる。つまり、そのメスの卵子は受精しなくても発生を開始するということだ（一部の動物は実際にこうした生殖をしており、アブラムシ、魚類、トカゲ類などで確認されている）。最初の突然変異の女性には娘しか産まれず、その娘がさらにまた娘を産む。対照的に、突然変異でない、有性生殖をする女性は、男性と性交しなければならず、産まれる子の半分は息子で、半分が娘だ。この個体群の女性の割合はたちまち上がりはじめて五〇パーセントを超える。このときメスの遺伝子プールは、娘しか産まない突然変異体でいっぱいになりつつある。そして最終的には、すべてのメスが無性生殖的に子をつくる母親から生まれることになる。オスは余計なものになって消滅する。突然変異でないメスはオスと交尾す

る必要があるが、いまやすべてのメスは、さらに娘を産むだけなのだ。単為生殖の遺伝子は、すでに有性生殖の遺伝子を打ち負かしてしまっている。理論的には、「無性」の遺伝子はもともとの「有性」遺伝子に比べ、各世代において自分のコピーを二倍多く作ることになる。生物学者はこの状況を「性の二倍のコスト」と呼んでいる。要するに、自然淘汰のもとでは単為生殖の遺伝子がたちまち広がって、有性生殖をなくしてしまうのである。

だが、現実はそのようにはなっていない。地球上の種の大多数は有性生殖で子をつくり、その繁殖様式が一〇億年以上も続いてきている。[33] 性のコストがあるのに、なぜ有性生殖は単為生殖に置き換わらなかったのか？　明らかに、性別にはそのコストを凌駕するだけの大きな進化的利点があったに違いない。その利点がどういうものであるかは、まだ正確にはわかっていないが、仮説には事欠かない。おそらく鍵は、有性生殖が行なわれるときに生じる遺伝子のランダムなシャッフリング（入れ替え）にありそうだ。これにより、子のなかには新しい遺伝子の組み合わせが生じる。一つの個体のなかにいくつかの好ましい遺伝子を取り混ぜることで、有性生殖はつねに変化する環境のさまざまな側面に対処するための、より迅速な進化を促せるのかもしれない――寄生生物がこちらの防衛手段の進化に対抗して、さらに容赦なく進化しているように。あるいはひょっとすると、有性生殖はこの遺伝子の組み換えにより悪い遺伝子をある一つの個体に結集させて、その個体に深刻な不利を負わせる、つまり遺伝的スケープゴートを作ることで、種から悪い遺伝子を放逐しているのかもしれない。いずれにしても、すでに知られている利点が性の二倍のコストに本当に勝ってい

るのか、生物学者はいまだ疑問を消せずにいる。

ともあれ、ひとたび性別が進化すれば、あと二つの問題が説明されるかぎり、性淘汰は必然的についてくる。問題の一つは、異なる性が交尾して遺伝子を組み合わせて初めて子ができるのだが、その性別がなぜ二つだけなのか（三つでも四つでも、それ以上でもなく）ということだ。そしてもう一つは、その二つの性の配偶子はなぜ大きさも数も違っているのか（オスはたくさんの小さな精子を作り、メスは数の少ない大きな卵子を作る）ということである。性別の数の問題は、理論的に説明すると非常にややこしくなるので、あえてここでは追求しないが、とりあえずこれだけは言っておこう。理論上、二つの性別は、三つ以上の性別がある配偶システムに進化過程で取って代わることになる。つまり、二つの性別は最も強固で安定した戦略なのである。

一方、二つの性それぞれの配偶子の数と大きさが異なる点も、やはり理論は同じぐらいややこしい。おそらく過去には、有性生殖をする種の二つの性の配偶子は同一の大きさであって、現在の状態はそこから進化したものと思われる。理論学者はこれをかなりの説得力を持って証明してきているのだが、その理論上、自然淘汰がそうした過去の状態を、現在のような片方の性（これを「オス」という）が多くの小さな配偶子――精子や花粉――を作り、もう片方の性（「メス」）が数の少ない大きな配偶子――卵――を作る状態に変化させるよう働くという。

この配偶子の大きさにおける非対称性が、あらゆる性淘汰が生じる基盤を作っている。というのも、その大きさの違いを理由に、二つの性はそれぞれ別の配偶戦略を進化させるからだ。まずはオ

スの場合を見てみよう。オスは大量の精子を作れるので、潜在的な可能性として、非常に多くの子の父親となれる。その可能性をどこまで満たせるかは、どれだけの数のメスを引きつけられるか、そして、自分の精子にどれだけ競争力があるか次第だ。しかし、メスの場合は話が違う。卵はコストがかかり、数も限られているから、たとえメスが短期間に何度も交尾したとしても、子の数を増やすという点では、ほとんど意味がないとも言える。

人間の男女がそれぞれつくった子の数の記録を調べてみれば、こうした違いが鮮明に例証されている。人間の女性は一生のあいだに最大何人の子を産めるかと聞かれれば、一般的な答えは、一五人前後というところだろうか。残念ながら、それは甘い。ギネスブックによれば、女性が産んだ子の数の「公認」記録は、六九人である。この記録を作った一八世紀のロシアの農婦は、一七二五～一七四五年に二七回妊娠し、一六組の双子、七組の三つ子、四組の四つ子を産んだ（おそらく生理学的か遺伝学的な要因により、一度に複数の子を産む性質を持っていたのだろう）。この女性の根気強さには涙が出るが、彼女の記録よりはるかに上をいくのが、ある男性の作った記録である。モロッコの皇帝ムーレイ・イスマイル（一六四六～一七二七年）は、ギネスブックの記述によると、「少なくとも三四二人の娘と五二五人の息子をもち、一七二一年には七〇〇人の男子の子孫がいたと言われていた」。これらは極端な例としても、オスはメスを一〇倍以上も上回っているわけだ。

オスとメスとの進化の違いは、言ってみれば「投資」の違いの問題である。コストのかかる卵と、かからない精子とでは、投資の度合いが違う。懐胎中（メスが受精卵を保持し、栄養を与えている

期間）の投資もある。さらにメスが単独で子を育てる多くの種では、親としての世話にも投資の差が出る。配偶は、オスにとっては安くあがるが、メスにとっては高くつくのだ。オスにとっての配偶のコストはわずかな量の精液ですむが、メスにとってはそうはいかない。栄養分を豊富に含んだ大きな卵をつくるので、たいてい膨大なエネルギーと時間が消費される。そして哺乳類の種の九〇パーセント以上では、オスの子への投資は精子だけだが、メスは親としての世話もすべてすることになる。

このように、潜在的な交尾回数と子の数がオスとメスとでは非対称になっているため、交尾相手を選ぶとなると、そこに利害の衝突が生じる。オスは「標準以下」のメス（たとえば体が弱いとか、病気であるとか）と交尾しても、失うものはほとんどない。またすぐに、何度でも交尾することが可能だからだ。したがって自然淘汰は、オスを乱婚にさせる遺伝子、どのメスとでもよいから手当たりしだいに交尾しようとさせる遺伝子を好むことになる（これが場合によると、少しでもメスに似たものならどれでもよい、ということになる。たとえばキジオライチョウは牛糞肥料の山と交尾しようとするし、前にも述べたが、一部のランは受粉するために、発情したオスのハチを誘って自分の花びらと交尾させようとする）。

しかし、メスは違う。メスは卵と子への投資が大きいため、メスにとっての最善の方策は、乱婚よりも選り好みをすることとなる。メスは機会を無駄にできないので、自分の限られた数の卵を受精させるのに最善の父親を選ばなくてはならない。したがって、潜在的な交尾相手を徹底的に検分

する。

その結果、オスはメスをめぐって競争しなければならなくなった。オスは必然的に乱婚になり、メスは必然的にはにかみやになっている。オスの一生は内輪でのけんかに明け暮れ、交尾相手をめぐってつねに仲間と争いあう。魅力があるか威勢がよいか、いずれにしても得点の高いオスは、たいてい多数の交尾相手を確保する（そしておそらく、より多くのメスから好まれてもいる）が、標準以下のオスは交尾ができない。一方、メスはほぼすべてが最終的には相手を見つける。あらゆるオスがメスを得るために争っているので、メスの交尾成功の配分はずっと公平になるのだ。

生物学者はこの違いを、メスよりオスのほうが交尾成功の「分散」度が高くなるという言い方で表現する。しかし、本当にそうなのだろうか？　これは実際、さまざまなところで見られる。たとえばアカシカの場合、一生のあいだに残せる子の数の同性間での差が、オスはメスの三倍になっている。この格差はゾウアザラシになるとさらに大きくなり、何回かの繁殖期のあいだに一頭でも子を残せる割合が、メスでは全体の半分以上であるのに対し、オスでは一〇パーセント以下なのである[34]。

潜在的な子の数におけるオスとメスの差は、オス間競争とメスの選り好みの両方の進化を促す。オスは限られた数の卵を受精させるために競争しなければならない。だから「闘争の法則」が展開される。オスとオスとの直接の競争が、それらのオスの遺伝子を次世代に残すのだ。同様に、オスが色彩豊かだったり、ディスプレー行動をしたり、鳴き声を上げたり、あずまやを作ったりするの

も、やはり競争のためである。その種のオスはそうしたかたちで「俺を選べ、俺を選べ！」と訴えている。この場合、オスの長い尾や、威勢のよいディスプレーや、騒がしい歌の進化を究極的に促しているのは、メスの選り好みということになる。

さて、ここまで述べてきたのはあくまでも一般論であり、何事にも例外はある。いくつかの種は一夫一妻制で、オスとメスがともに子育てをする。オスが自分の子を見捨てて新たな交尾をめざすより、子の世話の手伝いをすることで、より多くの子が得られる結果になるのなら、そのとき進化は一夫一妻を選びとる。たとえば多くの鳥類では、フルタイムで世話をする両親が求められる。片方が外に餌を探しにいっているあいだ、もう片方が卵を抱いているのである。しかし、野生において一夫一婦は決して多くない。たとえば哺乳類の種でこの配偶様式をとっているのは、全体のわずか二パーセントにすぎない。

さらに言えば、体格における性的二型を、性淘汰をからめずに説明できる場合もある。私が研究しているショウジョウバエなどは、メスのほうが大きいこともままあるが、その理由は単純に、コストのかかる大きな卵をつくる必要があるからだ。あるいはオスとメスとが異なる餌をとるのに特化していれば、どちらもより効率のいい捕食者になるかもしれない。自然淘汰が二つの性別間で競争が減るように働いた結果、双方の体格差を進化させることもある。一部のトカゲやタカの性的二型はこのためかもしれない。それらの種ではメスのほうが体が大きく、とってくる獲物も大きいのである。

規則を破る

奇妙なことに、「社会的な一夫一妻」の種、すなわちオスとメスがつがいになって、いっしょに子育てをする種にも、性的二型は多く見られる。オスはメスをめぐって競争していないように見えるのに、なぜ明るい色彩や装飾物が進化しているのだろうか。これは一見すると矛盾のようだが、じつは性選択の仮説をさらに裏づける証拠となっている。多くの場合、外見はまやかしだったのである。これらの種は社会的には一夫一妻でも、実情は決して一夫一妻ではない。

こうした種の一つが、シカゴ大学の私の同僚であるスティーヴン・プルエット＝ジョーンズが研究しているムラサキオーストラリアムシクイだ。一見すると、この種は一夫一妻の鑑のようである。オスとメスはたいてい成熟してからの一生をともに過ごし、社会的に強く結ばれている。テリトリーは共同で守るし、子育ても手分けして行なう。にもかかわらず、この種の羽毛には驚くほどの性的二型が見られる。オスは非常に艶やかな青と黒の羽毛なのに、メスはさえない灰色がかった茶色なのである。いったいなぜか。それは、不義がはびこっているからだ。繁殖期になると、メスは「社会的配偶者」とよりもほかのオスとひんぱんに交尾する（これはＤＮＡの父性分析で証明されている）。オスも同じで、積極的に「婚外」交尾を求めて求愛するが、その成功率に関しては、オスはメスに比べてはるかに同性間での格差が大きい。このような不義の交尾にともなう性淘汰が、オスとメスとの色の違いを進化させたに違いない。ムラサキオーストラリアムシクイのほかにも、

こうした行動をとる種はたくさんある。全鳥類の種の九〇パーセントは社会的に一夫一妻だが、それらのまるまる四分の三では、オスもメスも社会的配偶者以外の個体と交尾しているのだ。

性淘汰の仮説からは検証可能な予言が導かれる。もし片方の性だけが鮮やかな羽毛や角を持っていたり、威勢のいいディスプレー行動をしたり、凝った建物を作ってメスを誘ったりしているなら、それはもう一方の性と交尾するために競争する性の一員だと思って間違いない。そして行動や外見に性的二型を見せない種ほど、一夫一妻の要素が強いはずだ。オスとメスがつがいになって、ともに配偶者から脱線しなければ、性競争が起きないので、性淘汰も起こりようがないからである。実際、生物学者は配偶様式と性的二型のあいだに強い相関関係を見いだしている。体格や色や行動における極端な性的二型が見られるのは、ホウオウチョウやゾウアザラシなど、オスがメスをめぐって競争し、少数のオスだけが交尾の大半を独占する種だ。オスとメスが同じような外見をしている種――ガンやペンギンやハトやオウムなど――は本当に一夫一妻で、いわば動物界の貞節の鑑であることが多い。この相関関係は、進化論にとってまた一つの勝利である。これは性淘汰という考えがあってこそ予言されるもので、創造論者の唱えるいかなる説でも予言されないからだ。進化が真実でないのなら、なぜ色と配偶様式に相関関係がある？　クジャクの羽を見て憂鬱になるべきなのは進化論者でなく、創造論者のほうである。[35]

さて、ここまでの性淘汰の話だと、乱婚になる性はつねにオスで、選ぶ側になる性はつねにメスのように思える。しかし時として、まれにではあるが、これが逆になることもある。性別間にその

ような行動の入れ替わりがあれば、当然、性的二型の方向も入れ替わる。この逆転が見られるのが、非常に興味深い魚であるタツノオトシゴと、その近縁のヨウジウオだ。これらの種の一部では、なんとメスではなくオスが懐胎する。なぜそんなことが起こるのか？　この種のメスは産卵はするが、オスがそれを受精させると、あとはオスがその受精卵を自分の腹や尾にある特殊な育児嚢にしまったまま孵化するまで抱えていく。オスが抱えるのは一度に一腹子分だけで、メスのほうが先に新しい一回分の卵を産んでしまうぐらい「懐胎」期間も長い。したがって、オスはメスよりも多くを子育てに投資していると言える。また、未受精の卵を抱えているメスの数のほうが、その卵を受け入れるオスの数よりも多いので、メスは「未懐胎」の希少なオスをめぐって競争しなければならない。ここで、オスとメスの繁殖戦略の違いが逆転する。そして性淘汰の仮説にもとづけば当然予想されるように、ここでは鮮やかな色彩や身体装飾をまとうのがメスのほうとなり、オスは比較的さえない姿となる。

同じことが、ヨーロッパや北米で繁殖する優美な海辺の鳥、ヒレアシシギ科の三つの種にも当てはまる。これらの鳥は、数少ない一妻多夫の配偶様式をとっている種の一例である（この珍しい配偶様式は、チベット民族など、ごく一部の人間の集団にも見られる）。ヒレアシシギのオスは子育てに完全に責任を持ち、メスがほかのオスと交尾してまわっているあいだに、巣を作り、ヒナに給餌する。したがって、子への投資はメスよりもオスのほうが大きく、メスは自分の子を世話してくれるオスを得るために競争する。そしてもちろん、この三つの種では、メスのほうがオスよりも

ずっと鮮やかな色彩をしている。

タツノオトシゴもヨウジウオもヒレアシシギも、すべて規則に反する例外だが、それゆえに規則をきわだたせてもいる。これらの「逆転」した身体装飾は、性淘汰の進化論的説明が真実だった場合にまさしく予想される現象なのだ。もしこれらの種が特殊に創造されていたのなら、この現象は説明がつかない。

なぜ選ぶ？

ここでふたたび「正常」な配偶者選びに戻ろう。つまり、選ぶ側に立っているのがメスである場合だ。メスがオスを選ぶとき、メスは実際に何を求めているのか？　この疑問から、かつて進化生物学における有名な見解の不一致が生じた。前にも述べたとおり、アルフレッド・ラッセル・ウォレスは、メスに選り好みなどというものが本当にあるのか疑問に思っていた（結果的には間違っていたわけだが）。ウォレスの立てた仮説では、メスの色彩がオスより地味なのは、捕食者に見つからないようにするカムフラージュの意味があるからで、オスの鮮やかな色彩や装飾は生理学上の副産物とされていた。しかし、なぜオスだけはカムフラージュを必要とせずにすむかについては、ウォレスは何の説明も与えなかった。

一方、ダーウィンの仮説は多少ましだった。彼はオスの鳴き声や色彩や装飾がメスの選り好みを

通じて進化したものだと強く感じていた。しかし、メスは何を基準に選り好みをしているのか？　ダーウィンの答えは意外なものだった。純粋な美的感覚だというのである。生まれつきなぜか魅力的に思えるのでないかぎり、凝った歌や長い尾のようなものをメスが選びとる理由は見つからない、というのがダーウィンの見方だった。性淘汰についての先駆的な研究であったダーウィンの『人間の由来』（一八七一年）は、動物のメスがオスのさまざまな特徴にどう「魅了され」、「口説き落とされ」るかについての古風な擬人化表現でたっぷり飾られている。しかしウォレスも指摘していたように、そこにはやはり問題があった。動物、特に甲虫やハエのような単純な動物に、本当にわれわれと同じような美的感覚があるのだろうか。ダーウィンはそれについては言葉を濁し、開き直るかのように無知を通している。

オーストラリアのニワシドリなどに見られるように、鳥類が美しいものを理解しているという確かな証拠はいくつかあるし、鳥類が歌の力を理解しているのも確実だが、多くの鳥類やいくつかの哺乳類のメスに、性淘汰によるものと判断される装飾物を理解できるだけの審美眼が与えられているのは驚くべきことで、それは私も存分に認めるところだ。また、それが爬虫類や魚類や昆虫であれば、さらに驚愕すべきことである。しかし、それより下等な動物の意識については、いまのところほとんど何もわかっていない。

いまにして思うと、ダーウィンは答えをすべてわかっていたわけではないにしろ、ウォレスよりはかなり真実に近づいていた。メスはたしかに選り好みをするし、その選り好みが性的二型の原因であるようにも思われる。だが、メスの好みが美的感覚だけにもとづいているというのは納得できない。たとえばニューギニアに生息するゴクラクチョウのように、近縁の種でありながら、オスの羽毛のタイプや交尾行動のタイプが大きく異なっていることがある。ある種にとって美しいものと、その最も近い類縁種にとって美しいものが、そんなに違っているのはおかしいのではないか？

いまでは多くの証拠から、メスの好みはそれ自体が適応形質であることが示されている。ある特定のタイプのオスを好むことは、そのメスの遺伝子を広めることにつながるのだ。好みはダーウィンが考えていたように、かならずしもランダムな生まれつきの審美眼によるものとは限らない。むしろ多くの場合、それは淘汰によって進化したものと思われる。

ある特定のオスを選ぶことによって、メスは何を得るようになるだろう？　その答えは二つある。まず、メスは直接的な利益を得ることができる。そのメスがより多くの子を、あるいはより健康な子を持てるように、子育てのあいだ助けてくれるオスを選べばよいのだ。そしてそれとは別に、メスは間接的な利益を得ることもできる。こちらの場合は、ほかのオスより優良な遺伝子（つまり次世代において、そのメスの子を助けてくれる遺伝子）を持ったオスを選べばよい。いずれの場合も、メスの好みは自然淘汰によって進化を促されるだろう。

直接的な利益から考えてみよう。メスがある遺伝子からの指令によって、より優良なテリトリー

を持っているオスと交尾することになれば、そのメスの子は栄養をより多く与えられ、より快適な巣に落ち着けるだろう。そうした優良なテリトリーで育てられなかった子に比べ、生存でも繁殖でも有利になる。この状況が続くにつれて、子の世代の個体群では、前の世代に比べて「好み遺伝子」を持ったメスの割合が高くなっていく。世代が進み、進化が続けば、最終的にはすべてのメスが好み遺伝子を持つことになる。そして、より優良なテリトリーへの好みを強める突然変異が起こったりすれば、その遺伝子も頻度を高めていくだろう。時間とともに、より優良なテリトリーを持つオスへの好みはいっそう強くなるよう進化する。これが今度は、テリトリーを得るためにいっそう激しく競争するオスの淘汰につながっていく。メスの好みの進化と、不動産をめぐるオスの競争の進化が連動していくわけだ。

一方、選り好みをするメスに間接的な利益をもたらす遺伝子も、同じように広まっていく。あるオスが、ほかのオスよりも病気への抵抗力が強くなる遺伝子を持っていたとしよう。そうしたオスと交尾したメスの子は、やはり病気への抵抗力が強くなるだろう。つまりそのオスを選んだことで、メスには進化的な利益があったことになる。同じく今度はメスのほうに、そうした健康なオスを交尾相手として特定できるようにする遺伝子があったとしよう。このメスとオスが交尾すれば、そこから産まれた息子と娘は、両方の遺伝子を持つようになる。病気に強い遺伝子と、病気に強いオスを好むようになる遺伝子だ。病気への抵抗力が最も強い個体はつねに繁殖の成功率も高いから、そうした個体はどの世代においても、メスに抵抗力の強いオスを好ませる遺伝子を持つことになる。

この抵抗力遺伝子が自然淘汰によって広まるにつれ、メスの好みを決める遺伝子も、それに乗じて広まっていく。このようにして、メスの好みも病気への抵抗力も、種全体のあいだで高まっていく。

これらのシナリオは二つとも、なぜメスが特定のオスの特徴を好むかは説明していない。たとえば鮮やかな色彩や凝った羽毛は、どうしてメスから好まれるのだろう。これはおそらく、メスにより多くの直接的、間接的な利益をもたらしてくれるのがどのオスなのかを、その特徴が示しているからだ。メスの選り好みのいくつかの例で見てみよう。

北米産のメキシコマシコという鳥は、色が性的二型になっている。メスは茶色だが、オスは頭部と胸部に明るい色が入っている。オスはテリトリーを守らないが、子育てはする。ミシガン大学のジェフ・ヒルは、地元の個体群の一つのなかに、薄い黄色からオレンジ色に濃い赤色と、さまざまな色のオスがいることに気がついた。こうした色が繁殖の成功を左右しているのかどうかが知りたくなって、ヒルが毛髪染料でオスの色をさらに濃くしたり薄くしたりしてみたところ、やはり色鮮やかなオスのほうが、地味なオスよりもはるかに多くの交尾に成功した。何も操作されてない鳥のあいだでも、色の薄いオスの巣のほうが色の濃いオスの巣よりもメスに捨てられることが多かった。

どうしてメキシコマシコのメスは色鮮やかなオスを好むのか？　同じ個体群を観察したヒルの調査で、色鮮やかなオスは地味なオスよりも頻繁に子に餌を与えていることがわかった。ということは、メスは色鮮やかなオスを選ぶことにより、子への給餌というかたちで直接的な利益を得るわけ

である（地味なオスと交尾したメスがそのオスの巣を捨てるのも、子が充分に給餌を受けられないためなのかもしれない）。だが、色鮮やかなオスはどうしてより多くの餌を運ぶのか？　おそらくそれは、鮮やかさが全般的な健康の証だからだろう。メキシコマシコのオスの赤色は、オスが食べる種子のカロチノイド色素に完全に由来している。鳥はこの色素を自分では作れないのだ。したがって、色の鮮やかなオスはそれだけ栄養状態がよいということであり、おそらく全般的な健康度も高いだろう。メスが色鮮やかなオスを選んでいるように見えるのは、単にその色が「私は一家の食料の蓄えをいっぱいにできるオスですよ」と伝えているためなのかもしれない。より鮮やかなオスを選ばせるような遺伝子がメスに備わっていれば、そのメスは直接的な利益を得られるので、淘汰はその好みを増強するほうに働くだろう。その好みが定着すれば、食べた種子をより鮮やかな体色に変換できるオスにとっても、やはり利益がもたらされる。そうしたオスは、より多くの交尾を確保できることになるからだ。そして時間とともに、性淘汰がオスの赤色をますます濃くしていくだろう。メスがいつまでも地味なままなのは、色鮮やかになっても何も得るものはないからだ。むしろ捕食者に見つかりやすくなって、失うもののほうが大きくなるかもしれない。

健康で元気のよいオスを選ぶことには別の直接的な利益もある。オスは寄生虫や病原菌を持っていることもあり、それがメスや子や、母子両方に移されないとも限らない。そうしたオスを避けることも、やはりメスの利益となる。オスの色や羽毛や行動は、そのオスが病気にかかっていないか、菌に感染していないかを示す指標でもある。健康なオスだけが大きな声で歌ったり、威勢のよい

ディスプレーをしたり、色鮮やかで均整のとれた羽毛を伸ばしたりできると思われるからだ。たとえば通常、オスが明るい青色をしている種であれば、青白いオスとは交尾をしないと決められる。

進化論に従えば、あるオスがよい父親になることを示す形質を、メスは何でも好むはずである。このとき必要とされるのは、その形質に対する好みを強める遺伝子があることと、その形質の表れに見られる差異によってオスの状態がわかるようになっていることに尽きる。そうすれば、あとは自動的についてくる。たとえばキジオライチョウの場合なら、寄生性のシラミがオスの鳴嚢に血の染みをつくることがあるのだが、この半透明の鳴嚢は、オスがレックで闊歩するときにひときわ膨らませて誇示する特徴である。鳴嚢に人工的に血の染みをつけられたオスは交尾回数が激減する。つまりこの染みは、オスがシラミにたかられていて、ろくでもない父親になる可能性が高いことをメスに知らせているのかもしれない。だとすると淘汰で残っていく遺伝子は、染みのない鳴嚢に対するメスの好みを助長するとともに、オスの状態がわかるようになっている形質を助長する遺伝子ということになる。オスの鳴嚢はますます大きくなり、きれいな鳴嚢に対するメスの好みもますます強くなるだろう。こうしてホウオウチョウのばかばかしいほど長い尾のような、きわめて誇張されたオスの特徴が進化していく。この一連のプロセスが止まるとすれば、それは唯一、オスの特徴が誇張されすぎて、それ以上進むとメスを引きつける以前に生存が危うくなり、結果的に残せる子の数が減ってしまうとなった場合である。

では、メスに間接的な利益をもたらす好みについてはどうだろう？　そうした利益で最も明白な

のは、オスが必ず子に与えるもの――すなわち遺伝子である。オスが健康であることを示すような形質は、そのオスが遺伝的に恵まれていることも示せるだろう。より鮮やかな色や、より長い尾や、より大きな鳴き声を持ったオスがそうした特徴を誇示できるのも、そのオスがライバルより生存や繁殖に有利でいられるようにしている遺伝子があればこそなのかもしれない。凝ったあずまやを作れるオスや、大きな石塚を積み上げられるオスについても同じことが言える。個体を生存に強くし、個体の繁殖能力を高くする遺伝子がそのオスにあることを示す特徴はいくらでも思いつける。進化論ではそうした場合、三つのタイプの遺伝子がいっせいに頻度を増す。オスが良い遺伝子を持っていることを反映したオスの「標識」形質をつくる遺伝子と、その標識形質をメスに好ませる遺伝子と、そしてもちろん、その存在が標識によって反映される「良い」遺伝子である。複雑なシナリオだが、生物学者はこれがオスの凝った形質や行動に対する最善の説明だと考えている。

だが、その「良い遺伝子」モデルが本当に正しいかどうか、どうすれば検証できるだろう。メスは直接的な利益を求めているのか、それとも間接的な利益を求めているのか？　たしかにメスは元気のよくないオスや目立たないオスをはねつけるかもしれないが、それはそのオスが遺伝的に恵まれていないことを反映しているのではなく、ちょうど菌に感染しているとか、栄養不良であるとか、単に環境要因で弱っていることを反映しているだけかもしれない。こうした複合的な面があるために、性淘汰の要因を解明するのはとにかく難しい。

おそらく「良い遺伝子」モデルを最もよく検証したのは、ミズーリ大学のアリソン・ウェルチの

チームがハイイロアマガエルで行なった研究だろう。ハイイロアマガエルのオスは大きな鳴き声をあげてメスを引きつける。アメリカ南部の夏の夜の絵に描いたような光景だ。捕獲したカエルでの調査によると、メスは鳴き声が長いオスを強く好む。そうしたオスがより良い遺伝子を持っているかどうかを検証するために、研究者は複数のメスから卵を取り去り、各メスの卵を試験管内で受精させた。それぞれの卵の半分には鳴き声の長いオスの精子が、残りの半分には鳴き声の短いオスの精子が用いられている。その後、これらの交配から産まれたオタマジャクシが成熟するまで育てられた。結果はみごとだった。長い鳴き声のオスから生まれた子は、オタマジャクシ時代の成長が速く、生き残る率も高かった。変態期（オタマジャクシがカエルに変わる時期）には体がより大きく、変態期を過ぎたあとの成長も速かった。ハイイロアマガエルのオスは精子以外に子への貢献を何もしないから、メスは長い鳴き声のオスを選んでも直接的な利益は何も得られない。したがってこの試験は、長い鳴き声が良い遺伝子を持った健康なオスの証しであること、そして、そのオスを選んだメスが遺伝的に優れた子を産むことを強く示唆している。

では例のクジャクはどうだろう？　クジャクのメスが、尾の目玉模様の多いオスと交尾するのを好むのはすでに見たとおりである。そして、オスは子育てになんの貢献も果たさない。マリオン・ピートリーはウィップスネード動物園での調査によって、目玉模様の多いオスから生まれた子は成長が速いだけでなく、生き残る確率も高いことを示してみせた。ということは、より装飾的な尾を選ぶことにより、メスは良い遺伝子を選んでいるのではないだろうか。なぜなら遺伝的に恵まれた

オスは、装飾的な尾をより発達させることができるからだ。

いまのところ、メスがより良い遺伝子を持つオスを選んでいることの証拠となるのは、この二つの研究がすべてである。そしてかなりの数の研究が、交尾相手の好みと子の遺伝的な質のあいだに相関関係がないことを示している。それでもまだ、「良い遺伝子」モデルは性淘汰の説明として期待されている。証拠が決して多くないにもかかわらず、この説がそれほど確信されている背景の一つには、進化論者が厳密なダーウィニズム的説明を好むことが反映されているのかもしれない。メスはどうにかしてオスの遺伝子を識別できるに違いないと思いたいのだ。

しかしながら、性的二型には三つ目の説明もあり、それは最も単純な説明でもある。これはいわゆる「感覚便乗」モデルにもとづいている。このモデルでは、性的二型が進化するのは、単にメスの神経系にもともとあった傾向がそれを促しているからだと見なされる。そしてその傾向は、配偶者探し以外の何らかの機能、たとえば食料探しなどを促進する自然淘汰の副産物だと考えられている。仮に、ある種のメンバーが、熟した果実のありかをつきとめるのに役立つという理由で赤い色に対する視覚的好みを進化させていたとしよう。そこへ突然変異のオスが胸の一部を赤くして現れたとしたら、そのオスは、既存の好みにあっていたという理由でメスから好まれるかもしれない。そうすると赤いオスは有利となり、色の性的二型が進化する（赤色は捕食者を引きつけるのでメスにおいては不利益と仮定する）。あるいは単に、メスは自分の神経系の何かを刺激する新奇な特徴が好きなだけという可能性もある。その場合、通常よりも体の大きなオス、なかなか見ない複雑な

ディスプレーでメスの興味を引きつけるオス、あまりに長い尾をしているので奇妙な格好に見えるオスなどを、メスが好むこともありうるだろう。前述したモデルとは違って、感覚便乗モデルでは、メスは特定の配偶者を選ぶことによって直接的な利益も間接的な利益も得ない。

この仮説を検証するには、オスに本当に新奇な形質を持たせて、それをメスが好むかどうかを見ればいい。これをオーストラリア産キンセイチョウの二つの種で行なったのが、カリフォルニア大学のナンシー・バーリーとリチャード・シマンスキーである。彼らの仕掛けは単純だった。オスの頭に接着剤で一本の羽を垂直に貼りつけて人工的なとさかを作り、そのとさかのできたオスたちを、とさかのないコントロール群とともにメスの前に並べて見せたのである（オウム類のような類縁でない種のいくつかにはとさかが見受けられるが、キンセイチョウにはとさかがない）。するとメスは、白い人工とさかをこれ見よがしにつけているオスに対して、非常に強い好みを示した。赤いとさかや緑のとさかをつけたオス、とさかのない正常なオスには、メスはそれほどの好みを見せなかった。なぜメスが白を好むのかはわからないが、ひょっとすると、メスが捕食者から卵をカムフラージュするために巣の内側を白い羽で覆っているからかもしれない。同じような実験がカエルと魚でも行なわれており、そこでもやはり、メスは一度も目にしたことのない形質に好みを示した。[36]この感覚便乗モデルは意外に重要なものかもしれない。もともと既存の好みは、それが動物の生存と繁殖を助けるものであれば、たいてい自然淘汰によって形成されている。その好みが性淘汰によってすくい取られて、新しいオスの形質をつくっているからだ。そう考えるとダーウィンの美的

感覚説も、メスの好みを「審美眼」と擬人化するのはどうかと思うが、部分的には正しかったのかもしれない。

ところで、この章から明らかに抜け落ちているのが、われわれ自身の種についての話である。われわれヒトはどうなのだろう？　性淘汰の仮説がヒトにどこまで適用されるかは、かなり込み入った問題だ。それについては第9章で見ることにしよう。

第7章

種の起源

種はどれも進化の傑作であり、たとえ人類が遺伝子工学で新しい生物の創造をなしとげられたとしても、種のようなものを人類が複製するのは無理である。

——E・O・ウィルソン

一九二八年、エルンスト・マイヤーというドイツの若い動物学者が、動植物の採集をするためオランダ領ニューギニアの荒野に向けて出発した。大学院を出たばかりのマイヤーはフィールド経験こそなかったが、心強いものを三つ抱えていた。鳥類への終生の愛と、とてつもない熱意と、そして何より重要な、財政的支援である。この支援を提供したのは、イギリスの銀行家で博物学者でもあるウォルター・ロスチャイルド卿だった。ロスチャイルドは世界最大の鳥類標本の私設コレクションを持っており、そこに今回のマイヤーの遠征で新たな標本が加わることを期待していた。それから二年にわたり、マイヤーはノートと採集道具を携えて山やジャングルをさすらった。たいていは一人きりで、悪天候や、足場の悪い道や、たびかさなる病気（抗生物質のない時代には深刻な

問題だった）に絶えず悩まされた。地元民の多くは西洋人を一度も見たことがなかったから、その外人嫌いにも困らされることが多かった。にもかかわらず、マイヤーの単独遠征は大成功を収めた。二六種の鳥類、三八種のランなど、それまで科学界に知られていなかった多くの標本を持ち帰ることができたのだ。このニューギニア調査は、彼の輝かしいキャリアの出発点となった。以後、マイヤーは進化生物学者として業績を重ね、最後にはハーバード大学の教授となった。私はそこで大学院生として、彼の友情と教えにあずかる光栄に浴した。

マイヤーはちょうど一〇〇年生きて、その最後の日まで次々と本や論文を発表しつづけた。そのうちの一冊に、私が進化を学びたいと思うようになったきっかけでもある、一九六三年の『動物の種と進化』（*Animal Species and Evolution*）という古典的な名著がある。マイヤーはこのなかで、驚くべき事実について詳述している。ニューギニアのアルファク山の住民が現地の鳥類につけている名前をマイヤーはすべて足してみて、地元住民の識別している鳥類が全部で一三六種類あることを確認したという。一方、西洋の動物学者が従来の分類法に従って識別してみると、結果は全部で一三七種類となった。つまり地元住民も科学者も、まったく同じように野生の鳥類の現生種を識別していたのだ。まったく異なる背景を持った二つの文化集団のあいだで、これだけの一致が見られたことに、マイヤーは深くうなづいた。そう、これは決して意外ではない。自然の非連続性は恣意的なものでなく、客観的な事実であるということなのだ。[37]

実際、自然に関して最も驚くべき事実といえば、自然が非連続的であるということだろう。動植

物を見ればわかる。各個体はほぼ必ず、多くの別個のグループのどれか一つに分類される。たとえば一頭の野生のネコを見たとして、われわれは即座に、それがライオンなのか、クーガーなのか、はたまたヒョウなのかを特定できる。どんなネコもそれぞれはっきり区別がつき、一本のネコ科のラインのどこか中間にぼやけてしまったりすることはない。そして、ある一群のなかの個体のあいだに違いがあっても（ライオンの研究者なら誰でも知っているように、ライオンはすべてそれぞれ違って見える）、その一群は一群として「生物空間」のなかで独立を保っている。このような一群は、有性生殖をするすべての生物に見られる。

こうした別個の一群が「種」と呼ばれる。一見すると、この存在は進化論にとって問題となるように思える。そもそも進化は連続的なプロセスだ。それなのに、どうして動植物のなかに非連続的な別個の一群ができるのか。外見や行動の隔たりにより、互いに区別されるグループができるのか。これがどうして生じたかが「種分化」という問題であり、言い換えれば、それは種の起源の問題でもある。

もちろんこれは、ダーウィンの最も有名な本のタイトルであり、この題からすれば、きっと彼には種分化について語るべきことがたくさんあったのだろうと察せられる。すでに冒頭の一節から、ダーウィンはさっそくこう述べている。「[南米の生物分布は]種の起源に、いくばくかの光を当てているわれらの最も偉大な哲学者の一人が称したとおりの、まさに謎中の謎に」（この「哲学者」とは、イギリスの科学者ジョン・ハーシェルのことだった）。ところがダーウィンの大傑作は、そ

の「謎中の謎」にほとんど触れていないし、この件に関するわずかばかりの言及も、現代のほとんどの進化学者からすると、どうにも言葉足らずに思える。どうやらダーウィンは、自然の非連続性を解決すべき問題とは思っていなかったらしい。さもなければ、そうした非連続性がどういうわけか自然淘汰によって選ばれるものと考えていたのだろう。いずれにしても、ダーウィンは自然の一群を明晰には説明できていない。

『種の起源』はむしろ、『適応の起源』というタイトルのほうがふさわしかった。ダーウィンはある単一の種が、なぜ、どのようにして時間とともに変化したか（おもに自然淘汰によって）を解明しているが、一つの種がどのようにして二つの種に分かれるかについては何も説明していないからだ。しかし、この分岐の問題は多くの面で、単一の種がどう進化したかを理解するのと同じぐらい重要なことである。なにしろ自然の多様性とは数百万の種を含めたものであり、その種の一つ一つに独自の形質一式が備わっている。そして、この多様性のすべてが、大昔の単一の祖先から発しているのだ。したがって生物の多種多様性を説明したければ、新しい形質がどのように生じるかを説明するだけでなく、新しい種がどのように生じるかも説明できなくてはならない。もしも種分化が起こらなかったら、現在のような生物の多様性はありえず、いちばん初めの種から長きにわたって進化してきた、たった一つの子孫があるのみだからだ。

『種の起源』が出版されてから、生物学者は長いこと、進化の連続的なプロセスが種と呼ばれる独立したグループを生み出した経緯を説明しようと苦心して、結局は失敗した。実際、種分化の問

題がまじめに考えられるようになったのは、一九三〇年代半ばに入ってからのことだった。ダーウィンの没後一世紀以上が経った今日では、ようやく種がどういうもので、どのようにして生じたかについての妥当な全体像ができあがっている。そして、そのプロセスを裏づける証拠もある。

ただし、種の起源を理解できるようになるには、種が何を表しているかを正確に把握しておかなくてはならない。明白な答えが一つあるが、これは種をどう認識するかにもとづいている。この場合、種とはすなわち、そこに属する個体が別のグループに属する個体によりも互いに似ているようなグループ、ということになる。この定義――「形態学的種概念」――に従えば、「トラ」というカテゴリーはこんなふうに定義される。「アジア産のあらゆるネコを含めたグループで、その成体は体長一メートル半を超え、橙色の体に黒い垂直な縞模様が入り、眼と口のまわりに白い部分がある」。なにやら野外観察図鑑によく見られる動植物の種の説明のようだが、これは一七三五年、リンネが初めて種を分類したときに用いた方式でもある。

しかし、この定義にはいくつかの問題がある。第6章で見たように、性的二型がある種では、オスとメスとがまったく違って見えることがある。その昔、鳥類や昆虫を担当していた博物館の研究員は、しばしば同一種のオスとメスとを誤って二つの別の種に分類してしまったぐらいである。たしかに博物館の剥製を見ているだけならば、クジャクのオスとメスがそんなふうに分類されるのもしかたないだろう。さらに、相互繁殖群の内部における多様性の問題もある。たとえばヒトは、眼の色によっていくつかの別個のグループに分類できる。青い眼のグループ、茶色い眼のグループ、

緑色の眼のグループといった具合だ。そこにはほとんど疑いようのない違いが存在するのに、なぜこれらは別の種と見なされていないのか？　同じことが、異なる場所に棲む異なる外見の個体群にも言える。ここでもヒトはいい例だ。カナダのイヌイットは南アフリカのクン族とは違った外見をしていて、このどちらともまた違うのがフィンランドのフィン人だ。われわれはこれらの個体群をすべて別の種に分類しているだろうか？　どういうわけか、われわれはそれが直観的に違うとわかる。結局のところ、ヒトのすべての個体群のメンバーは、無事に相互繁殖ができるのだ。そしてヒトに当てはまることは、ほかの多くの動植物にも当てはまる。たとえば北米産のウタスズメは、羽毛のちょっとした違いにもとづいて三一の地理的「種族」（「亜種」ともいう）に分類されてきた。しかし、そのすべての種族のメンバーは互いに交尾して、繁殖能力のある子を産むことができる。それなら、異なる個体群を別の種と呼ばなければならないほどの大きな違いがどの点にあるのか？　形態学的種概念にもとづくと、種の認定は勝手な取り決めになってしまうが、種はあくまでも客観的な実在であり、人間が勝手に決めてしまえる構成概念ではないのである。

逆に、生物学者が別の種と認めているグループが、互いにそっくり、あるいはかなり似ているという例もある。こうした違いのわかりにくい「あいまい」な種は、鳥類、哺乳類、植物、昆虫など、生物のほとんどのグループに見受けられる。私はショウジョウバエのあるグループの種分化を研究しているが、このグループのなかには九つの種が含まれる。これらすべての種のメスは顕微鏡で見ても見分けがつかず、オスにしても、生殖器の形状のわずかな違いでようやく分類できるぐらいだ。

同じように、マラリアの媒介蚊であるガンビエハマダラカも七つの種からなるグループの一つで、どの種も外見はほとんどそっくりであり、生息場所と刺す対象が違っているだけである。一部の種はヒトの血を吸わないので、マラリアを媒介する危険はない。この病気と効果的に闘いたければ、これらの種を見分けられることがぜひとも必要となるだろう。しかもヒトは視覚的な動物なので、容易に見える形質でないと見落としてしまう傾向がある。外見の似ている昆虫の種を識別するのにしばしば有効なフェロモンにおけるわずかな違いなど、なかなか気づけないのである。

すでに不思議に思っている人もいるかもしれないが、それらの生物が違いのわからないほど似た形態をしているなら、どうしてわれわれはそれが本当に別の種であると考えるのだろうか。答えは、これらの生物が同じ場所に共存していながら、決して遺伝子を交換しないからである。ある種に属するメンバーは、ほかの種に属するメンバーとの雑種をつくらないということだ（これは実験室で検証できる。繁殖実験をしてもいいし、遺伝子を直接調べてグループ間での交換がなされていないかを確かめることもできる）。つまり各グループは、繁殖の面で隔離されている。各グループは別個の「遺伝子プール」を構成していて、その遺伝子プールは混ざりあうことがない。さまざまな理由から自然界で確固とした別グループが成り立っている現実を見るかぎり、これらの見かけのあいまいな生物が本当に別種であることは、どう考えても妥当と思われる。

なぜわれわれが茶色い眼の人々と青い眼の人々、あるいはイヌイットとクン族を同じ種のメンバーと感じるかについても、やはり考えてみれば、これらの人々は互いに交尾して、両方の遺伝子

をあわせもった子をつくれるから、同じ種になるのだとわかる。言い換えれば、これらの人々は同一の遺伝子プールに属しているのだ。あいまいな種やヒトのなかでの多様性をじっくり検討すれば、種が別個なのは単に外見が違っているからではなく、その種と種のあいだに相互繁殖を阻む障壁が存在しているからだという考えに行き着くだろう。

これに初めて気がついたのがエルンスト・マイヤーとロシア人遺伝学者のテオドシウス・ドブジャンスキーで、マイヤーは一九四二年、いまや進化生物学の黄金律となっている種の定義を提出した。種を種と定める基準を繁殖面に据えて、マイヤーは種をこのように定義した――繁殖面で他のグループと隔離された、相互繁殖する自然個体群のグループ。この定義は「生物学的種概念」（BSC）と呼ばれる。「繁殖面で隔離された」とは、同じ種のメンバーがいつでも相互繁殖できるのに対し、異なる種のメンバーは、それらが相互繁殖するのを阻む形質――外見や行動や生理の違い――を持っているということだ。

二つの類縁種のメンバーが互いと交尾するのを阻んでいるものとはなんだろうか？　そのような繁殖の障壁はいろいろある。たとえば繁殖期や開花期が重なっていなければ、当然、異なる種と種が相互繁殖することはないだろう。一部のサンゴなどは、一年に一晩しか繁殖しない。ある決まった数時間のあいだに大量の卵と精子が海中に放出される。同じ地域に生息する近縁種どうしが別個でいられるのは、それぞれの放出時期のピークが数時間ずれていて、片方の種の卵がもう片方の種の精子と出会うことがないからである。また、動物の種はたいていそれぞれ別の求愛ディスプレー

や性フェロモンを持っており、別の種には性的魅力を感じないようになっている。私の研究するショウジョウバエの種のメスも、その腹部に、別の種のオスがまるで引きつけられない化学物質を持っている。あるいは好みの生息環境が異なることにより、単に出会わないから種が隔離されることもある。たとえば多くの昆虫は、ある決まった一つの植物の種しか食べられないし、そこでしか繁殖もできない。それぞれの昆虫の種はそれぞれの植物の種に留めおかれるから、繁殖期に別の種に出会うこともない。植物の近縁種も花粉媒介者が異なるので、やはり出会うことがない。ミゾホオズキ属の二つの種は、シエラネバダ山脈の同じ地域に生息しているが、片方は花粉の媒介にマルハナバチを、もう片方はハチドリを使うので、めったに相互繁殖することはない。

隔離障壁は交尾後でも働くことがある。ある植物の種の花粉は別の種のめしべの上では発芽できないかもしれない。胎生哺乳類の場合なら、仮に胎児ができても産まれる前に死んでしまうかもしれない。実際、ヒツジとヤギをかけあわせれば、そういうことになる。もし雑種が生き残ったとしても、その子は不妊かもしれない。その古典的な例が、力はあるが繁殖はできないラバである。これはメスのウマとオスのロバをかけあわせた動物だ。不妊の雑種をつくる種同士は、間違いなく遺伝子の交換ができない。

そしてもちろん、これらの障壁がいくつか組み合わさって働くこともある。私はこの一〇年間のほとんどをかけて、アフリカ西海岸沖の熱帯性火山島、サントメ島に生息するショウジョウバエの二つの種を研究してきた。これらの種はある程度まで、生息場所によって隔てられている。片方は

火山の上のほうに、もう片方は下のほうに棲んでいるからだ。ただし一部、両者の分布が重なるところがあるが、この二つの種は求愛ディスプレーも違うので、たとえ別の種同士が出会ったとしても交尾にいたることはめったにない。まれに交尾に成功しても、片方の精子がもう片方の卵を受精させるのは難しいので、子ができることはかなり少ない。そして、そうした雑種の子――すべてオス――の半分は不妊である。これらの障壁を考えあわせると、この二つの種が自然界で遺伝子を交換することは実質的にないだろうと結論される。そして実際、この結論はＤＮＡ配列の解析結果からも確認されている。つまりこれらのショウジョウバエは、まさに正しい生物学的種だと言える。

生物学的種概念の有利な点は、見かけの形態にもとづく種概念では説明できない多くの問題が、こちらの種概念では説明できることだ。たとえば、例のあいまいな蚊のグループは何なのだろう？　あれらは遺伝子を交換しないので、別個の種である。イヌイットとクン族は？　この個体群は直接的には交尾しないかもしれないが（そうした結合が過去に起こったことがあるとは私としては考えがたい）、潜在的な可能性として、片方の個体群からもう片方の個体群へ、両者の地理的中間地帯を通じて遺伝子流動があったとしてもおかしくはない。そして、もし実際に両者が交尾したとしても、そのあいだにはほぼ確実に繁殖能力を持った子が産まれるだろう。繁殖時に遺伝子が結合するから、そのオスとメスは同じ種の一員なのである。

したがって生物学的種概念にもとづけば、種とは繁殖コミュニティであるということになる。言い換えれば、遺伝子プールだ。そしてこれを突きつめれば、種とは進化コミュニティであるという

ことにもなる。種の内部で、あるときひょっこり「良い突然変異」が起こったとしよう。たとえばトラのなかで、メスの出産能力を一〇パーセントも引き上げるような突然変異が起こったとしたら、その突然変異体を含む遺伝子はたちまちトラの種全体に広がるだろう。だが、その先にまでは広がらない。トラはほかの種と遺伝子交換をしないからだ。つまり生物学的種とは進化の単位であり、大まかに言えば「進化するもの」である。だからすべての種のメンバーはそれぞれ遺伝的に外見や行動が似通っている。種のメンバーはみな遺伝子を共有していて、進化圧に同じように対応するからだ。そして同じ地域に棲む種であっても種が違えば相互繁殖がなされないので、外見や行動の種ごとの違いが保たれるだけでなく、種の内部での分岐が際限なく続くようになっている。

とはいえ、生物学的種概念も万能ではない。たとえば絶滅した生物はどうなのだろう。これらに繁殖の互換性があったかどうかは検証のしようがない。したがって博物館のキュレーターや古生物学者は見かけの形態にもとづく種概念に頼らざるをえず、それらの全体的な相似性から化石や標本を分類している。また、バクテリアや一部の菌類のような有性生殖をしない生物も、生物学的種概念の基準には適合しない。これらのグループにおける種の構成概念が何かという問題はかなり複雑で、無性生殖をする生物の一群の捉え方が果たして有性生殖の生物のそれと同じでよいのかどうか、いまだ疑問の残るところではある。

しかし、こうした問題はあっても、やはり生物学的種概念は進化学者が種分化を研究するときに頼りとするものだ。なぜならこれは、進化という問題の核心に迫る概念だからである。この概念の

もとでは、繁殖障壁がどう進化するかさえ説明できれば、それで種の起源が説明されたことになる。

繁殖障壁が生じる正確な経緯は、長いあいだ生物学者を悩ませてきた問題だった。しかし一九三五年ごろから、ようやく生物学者はフィールドと実験室の双方において進展を果たせるようになった。とりわけ重要な発見の一つは、博物学者たちがいわゆる「姉妹種」――最も近縁である種同士――を観察して、それらが自然界ではたいてい地理的な障壁によって隔てられているのに気づいたことだった。たとえばウニの姉妹種が、それぞれパナマ地峡の反対側で見つかった。淡水魚の姉妹種はたいがい川の別々の流域に生息していた。このように姉妹種が地理的に分かれているのは、これらが共通祖先から分岐して生じた経緯と何か関係があるのだろうか。

ある、と遺伝学者や博物学者は答えるだろう。彼らはついに、進化と地理の複合効果でそうした事態が起こりうるという仮説にたどりついた。しかしどうしたら、ある一つの種が繁殖障壁によって隔てられる二つの種に分かれるのだろう？　マイヤーによれば、その仕組みは単純だった。地理的に隔離された個体群が自然淘汰や性淘汰を通じて別々の方向に進化していくとき、その副産物として繁殖障壁が生じるというのである。

たとえば、ある顕花植物の祖先の種が、山脈などの地理的障壁によって二つの領域に分かれたとしよう。鳥の腹に入って山を越え、分散したのかもしれない。さて、その片方の個体群が生息する場所では、ハチドリがたくさんいるが、ハナバチはほとんどいなかったとしよう。この一帯で育つ花は、ハチドリを花粉媒介者として引きつけるように進化するだろう。総じて花は赤くなり（鳥が

魅力を感じる色)、花蜜が豊富につくられ(鳥への報酬)、花筒が長くなる(ハチドリの長いくちばしと舌にあわせるため)。一方、山の反対側にいる個体群にとっては、花粉媒介者に関する状況が逆になっているかもしれない。つまりハチドリがほとんどいなくて、多くのハナバチがいる。当然ここでは、花がハチを引きつけられるように進化する。花はピンク色になり(ハチが好む色)、蜜の少ない、浅い花筒が進化して(ハチは舌が短く、蜜の報酬も大量には必要としない)、花弁が着陸場のようになった平たい花ができる(ホバリングできるハチドリと違って、通常ハチは着地して蜜を集める)。最終的に、この二つの個体群は花の形状や蜜の総量の面で分岐して、どちらも特定の一つの動物によって花粉を媒介されるように特化する。さて、ここでいきなり地理的な障壁が消滅し、新たに分岐した二つの個体群がふたたび同じ一帯に生息するようになったとしよう。この一帯にはもちろんハチもハチドリもいる。だが、いまや二つの個体群は繁殖面で隔絶している。それぞれ別の動物に花粉の媒介をされているから、他花授粉を通じて互いの遺伝子が混ざりあうことはもはやない。これらはすでに二つの異なる種になっている。おそらく前述したミゾホオズキも、実際にこうした経緯で共通祖先から分岐したのだろう。

これは繁殖障壁が「分岐」淘汰——異なる個体群を異なる進化方向に促していく淘汰——によって進化する過程の一例にすぎない。地理的に隔離された個体群が分岐した結果として相互繁殖ができなくなるというシナリオは、まだほかにも考えられる。オスの行動や形質に影響を与える別々の突然変異が別々のところで生じたとしよう。たとえば、ある個体群では尾羽を長くする突然変異が、

また別の個体群では羽毛を橙色にする突然変異が起こったとする。それらの個体群は、やがて性淘汰を通じて別々の方向に進んでいくかもしれない。そして最終的に、片方の個体群のメスは尾の長いオスを好むようになり、もう片方のメスは橙色のオスを好むようになる。この二つの個体群がのちに出会ったとしても、それぞれ配偶者の好みが違っているので遺伝子の混合はなされない。したがって、これらは別の種と見なされる。

では、雑種が繁殖不能になったり生存不能になったりするのはどういうことだろう？　これは初期の進化論者にとって大きな問題だった。自然淘汰がどうしてそのような明らかに不適応な、無駄な特徴をつくれるのかわからなかったからだ。しかし、そうした特徴が直接つくられたわけでなく、ただの偶然の副産物だったとしたらどうだろう。自然淘汰や遺伝的浮動によって、種が遺伝的に分岐したときの副産物である。地理的に隔離された二つの個体群がそれぞれ別の方向に進化して、そのまま長い時間が過ぎたとすると、それぞれのゲノムは大きく違ってしまうだろう。それが雑種の子のなかで混ざりあったとしても、もはや協調して機能することはない。雑種の子は発達を阻害されて未熟なまま死んでしまうか、あるいは生きられたとしても不妊になる。

種はダーウィンが考えたように、自然界の空いたニッチを埋めるために生じるのではない。これはぜひとも覚えておきたい。この世界に多様な種がいるのは、なにも自然がそれを必要としたからではない。まったく違う。種分化の研究からわかるのは、種は進化上の偶然であるということだ。生物の多様性にとって非常に重要な「一群」は、それらが多様性を深めるから進化するのではなく、

生態系のバランスをとるために進化するのでもない。それらはただ、空間的に隔離された個体群が別々の方向に進化したときに生じる遺伝的障壁の結果として必然的に現れるものなのだ。

生物学の種分化は多くの面で、共通祖先から派生した二つの近縁言語（たとえばドイツ語と英語のような「姉妹言語」）の「種分化」に似ている。種と同じように、言語もまた、過去に共通の祖語をもっていた集団が分かれて隔絶したときに分岐することがある。そして分かれた集団のあいだで個人の交流が少なくなると、言語はさらに急速に変化する。自然淘汰を通じて（ときには遺伝的浮動も介して）個体群が遺伝的に変化するように、人間の言語も言語淘汰（使いやすくて便利な新しい言葉の発明）と言語的浮動（摸倣や文化的伝播による発音の変化）を通じて変化する。生物学的種分化の過程では、個体群が遺伝的に大きく変化した結果、別々の個体群のメンバーはもはや互いを配偶者として認識しなくなり、互いの遺伝子も協調できなくなって、繁殖能力のある個体が産まれなくなる。同じように、言語も分岐が甚だしくなると、もはや互いに理解することが不能となる。英語圏の人はドイツ語を自動的には理解しないし、逆もまた同じだ。境目のない連続体になるのではなく、独立した別個のグループになるという点でも、言語は生物学的種に似ている。誰が話す言語も、通常は必ず数千ある人間の言語のどれか一つにはっきり分類されるということだ。

類似点はさらに続く。言語の進化も遠い昔にさかのぼれる。異なる言語のなかから似たような言葉や文法を拾って整理していけば、系統樹が描けるわけだ。これはまさに、生物の遺伝子のＤＮＡコードを解読して進化の系統樹を再構成するようなものである。また、子孫の言語が共通して持っ

ている特徴を研究すれば、祖語の再構築もできる。これもまさしく、ミッシング・リンクや祖先の遺伝子がどういうものであったかを生物学者が予測するときのやり方だ。そして何より、言語の起源は偶然にある。人は違った言語を話そうと思って違った言語を話し出すのではない。新しい言語は新しい種と同じように、別のプロセスの副産物として形成される。たとえばイタリアでラテン語がイタリア語に変わったようにだ。このような種分化と言語との類似性を最初に指摘したのは――ほかの誰でもない――『種の起源』でのダーウィンである。

だが、このへんで類似点探しはやめておこう。種と違って、言語は「交雑受精」ができる。英語にドイツ語由来のangust（恐怖）やkindergarten（幼稚園）といった言葉があるように、言語は互いのフレーズを採用しあえるのだ。言語の分岐と種の分岐のあいだに見られる驚くべき類似点や相違点については、スティーヴン・ピンカーの『言語を生みだす本能』という非常におもしろい本に詳しく述べられている。

このような、地理的な隔絶を種の起源における最初のステップと見なす考えを「地理的種分化」という。要約すれば、異なる個体群のあいだで遺伝的隔離が進化するには、最初に個体群が地理的に隔離されることが必要となる、という仮説である。しかし、地理的隔離がなぜそんなに重要なのか？　二つの新しい種が祖先と同じ場所で生じることがどうしてできないのか？　集団遺伝学の仮説――および多くの実験室実験――にもとづけば、ある単一の個体群を遺伝的に隔離された二つの部分に分けるのは、その二つが相互繁殖の機会を残しているかぎり、非常に難しくなる。隔離がな

いと、集団を分割に向かわせる淘汰が、絶えず個体を結合させて遺伝子を混ざりあわせる相互繁殖に逆らって働かなければならなくなるからだ。たとえば、ある昆虫が森林の一部分に生息していて、そこには昆虫が餌にできる二種類の植物があったとしよう。この植物はそれぞれ毒素も栄養物も匂いも違っているので、利用するには別々の適応形質を備えなければならない。しかし、その一帯に棲む昆虫の各グループは、一方の植物に適応しつつも、もう一方の植物に適応しつつある昆虫とも交尾する。こうして絶えず混ざりあわされるため、遺伝子プールは二つの種に分けられない。もう結論は出たも同じだろう。そこにできるのは、両方の植物を利用する「ジェネラリスト」の種、一つのみである。種分化は、言ってみれば酢と油を分けるようなものだ。がんばって分離させようとしても、両方が絶えず混じりあっているかぎり分離してはくれない。

この地理的種分化に証拠はあるのだろうか。といっても、ここで問題にしているのは種分化が起こるかどうかではなく、どのように起こるかということだ。化石記録や発生学やその他のデータから、種が共通祖先から分岐することはすでにわかっている。知りたいのは、地理的に分かれた個体群が新しい種に変化した実例である。それを見つけるのは容易なことではない。第一に、バクテリア以外の生物における種分化はたいてい時間がかかる。言語の分岐よりずっと進みが遅いのだ。私が同僚のアレン・オーアとともに計算したところでは、ある一つの祖先から始まって、繁殖隔離した二つの子孫が進化するまでには、およそ一〇万～五〇〇万年がかかる。種分化の異様に遅いペースを考えれば、わずかな例外を除き、人間の一生のあいだにそのプロセスの全体はもちろん、一部

でさえも見ることはかなわないだろう。種分化がどう形成されるかを調べるには、間接的な手法に頼らなくてはならない。地理的種分化の仮説から導かれる予言を検証するのだ。

第一の予言は、もし種分化のほとんどが地理的隔離によって起こるとすれば、生命の誕生以来、個体群がそうした隔離を経験する機会はたくさんあったはずだ。なにしろ現在、地球上には数百万の種がいる。しかし地理的隔離はいつだって起こりうる。山脈の隆起、氷河の拡大、砂漠の形成、大陸移動、旱魃による森林の分断で生じる草地の点在。こうしたことが起こるたび、種が切り離されて二つ以上の個体群に分かれる可能性はつねにある。約三〇〇万年前にパナマ地峡ができたときも、浮かび上がった陸地が海洋生物の個体群を両側に切り離した。それらの生物も最初は同じ種に属していたのである。一本の川でさえ、水の上を飛びたくない多くの鳥にとっては地理的障壁になるだろう。

しかし、地理的障壁ができないと個体群が隔離されないというわけでもない。偶然の長距離分散によって個体群が切り離される場合もあるからだ。少数の気まぐれな個体が――たった一つの妊娠したメスでもよいが――群れからふらふらと迷い出て、どこかの遠い岸辺に棲みついたとしよう。そのコロニーは、本土の祖先から隔離されて進化することになる。このような分散による隔離が生じる確率は、群島ではさらに大きくなる。個体が近隣の島々のあいだを時おり行ったり来たりできるので、そのたびに地理的な隔離が起こりうるからだ。そして隔離が起こるたび、種分化の機会が生じる。群島が近縁種の「放散」で有名なのもそのためで、ハワイではショウジョウバエが、カリ

ブ海ではアノールトカゲが、ガラパゴスではフィンチが、種の放散を見せている。

地理的種分化の機会が豊富にあったのはよいとして、では時間はどうなのだろう。種分化が起こるだけの充分な時間はあったのか？　これも問題はない。種分化とは分岐の現象だから、各祖先の枝が二つの小枝に分かれ、それがまたいずれ分かれ……と、生命の木が枝分かれしつづけていく。途中で何本かの枝が絶滅によって切り取られたとしても、種の数は指数関数的に増えていくわけだ。では種分化がどのぐらいの速さで進めば、現在の生物の多様性を説明できるのだろう。今日の地球上には約一〇〇〇万の種がいると見積もられている。未発見の種も考慮に入れて、この数字を一億に引き上げよう。三五億年前に一つの種から始まったとして計算すると、各祖先の種が二億年ごとに二つの子孫に分岐したとしても、今日には一億の種がいられることになる。すでに見たように、実際の種分化はもっと速いペースで起こるから、進化したのちに絶滅した多くの種を入れたとしても、時間はまったく問題ではない。[38]

では、繁殖障壁が進化的変化の副産物だという決定的な見方についてはどうだろう。少なくとも、これは実験室で検証できる。生物学者はそれを淘汰実験によって行なっている。進化を通じて動植物を異なる環境に適応させるのだ。これは、隔離された自然個体群が異なる生息環境に遭遇したときにどうなるかというモデルである。一定の適応期間が過ぎたのち、異なる「個体群」を実験室で試験して、繁殖障壁が進化しているかどうかを確認する。野生での種分化には数千世代がかかるが、これらの実験は一〇～一二世代ぐらいで行なわれるので、完全な種の起源はまず見られない。しか

し、ときには繁殖隔離の発端が見られるはずである。

意外なことに、こうした短期間の実験でも遺伝的障壁はかなりの頻度で生じる。これらの調査（約二〇件ほどあり、すべて世代時間の短いハエで行なわれている）の半数以上は望ましい結果を出しており、淘汰が始まってから一年以内に個体群のあいだに繁殖障壁が見られることもしばしばある。たいていの場合、異なる「環境」（餌の種類が変わったり、登らされていた垂直な迷路を下らせられたりといったこと）への適応が果たされると、個体群のあいだに交尾相手の識別が生じる。個体群が互いのどの形質から判断して相手をはねつけているかは定かでないが、これだけの短期間でも遺伝的障壁が生じるのだから、地理的種分化の主軸となる予言は一つの裏づけを得たことになる。

地理的種分化の仮説が予言する第二の点は、地理そのものに関連している。通常、個体群が新しい種に分化するには物理的に隔離されることが必要となるなら、離れた近場に最も新しく分化した種が見つかるに違いない。種がどれだけ前に分化したかを大まかにつかむには、種と種のＤＮＡ配列がどれだけ違っているかを調べればよい。その違いの総量は、それぞれが共通祖先から分岐したあとの経過時間とおおよそ比例関係にあるからだ。そこで好都合なのが「姉妹種」である。姉妹種はＤＮＡの類似性が最も大きいだろう（したがって最も近縁である）から、それらが地理的に隔離されているかどうかを確かめればよい。

そして、この予言も実際に確認されている。地理的障壁によって隔てられた多くの姉妹種がいる

からだ。たとえばパナマ地峡の両側の浅瀬には、テッポウエビの種が七つずついる。それぞれの種の最も近い類縁は、地峡の反対側にいる別の種だ。これはいったいどういうことか。おそらく祖先の七つのエビの種が、三〇〇万年前に地峡が海中から浮かび上がってきたときに、分断されてしまったに違いない。そして、それぞれの祖先が大西洋側の種と太平洋側の種を形成した（ちなみにテッポウエビは、生物学的に驚異の存在だ。その名のとおりに獲物を殺す。このエビは獲物に触れもせず、ただ一本の特大のはさみをかちあわせるだけで高音圧の衝撃を発生させ、それによって相手を気絶させるのだ。テッポウエビの大群がいると非常にやかましくなることがあり、潜水艦の音波探知機まで惑わせるほどである）。

植物についても同じだ。アジア大陸の東部と北米大陸の東部には、顕花植物の姉妹種がいくつか見られる。植物学者なら誰でも知っているとおり、この二つの地域は植物相がよく似ており、ザゼンソウ、ユリノキ、モクレンなどが共通して見られる。ある植物調査が明らかにしたところでは、ノウゼンカズラ、ハナミズキ、ポドヒルムなど、一つの種がアジアに、その最も近縁の種が北米に生息する姉妹種のペアが九つあるという。植物学者の仮説では、この九つのペアはいずれもかつては一つの種で、両大陸にまんべんなく分布していたが、約五〇〇年前の気候の寒冷化と乾燥化によって中間の森林が一掃されたため、地理的に隔離されてしまった（そして別々に進化を始めた）と考えられている。実際、この九つのペアの年代をＤＮＡにもとづいて測定してみると、それらが分岐した時期はおよそ五〇〇万年前となる。

群島も、種分化が物理的隔離を必要とするかどうかを確かめるのに好都合な場所だ。あるグループが一群の島のなかで種を生んできたとすれば、最も近い類縁種は同じ島でなく別の島に見られるはずだ（一つの島では一般に狭すぎて、種分化の第一歩となる個体群の地理的な分断がなされないだろう。一方、別の島なら海によって隔離されているから、新しい種が生まれやすいはずだ）。この予言も総じて正しかったことが確認されている。たとえばハワイでは、ショウジョウバエの姉妹種がたいてい別々の島に棲みついている。これは一部の飛べないコオロギや植物のロベリアについても同じで、どちらもあまり知られてはいないが、かなり劇的な放散を見せている。また、ショウジョウバエの種分化の時期をＤＮＡから調べてみると、まさに予想されたとおり、最も古い種は最も古い島にいたことが確認された。

地理的種分化モデルのもう一つの予言は、地理的種分化がいまでも自然界で進行しているという妥当な仮定にもとづいている。もしそうなら、一つの種の隔離された個体群が分化しつつあるところをどこかで発見できるはずだ。そして、その個体群はほかの個体群から繁殖隔離されているしるしを多少なりとも示しているだろう。実際、これにもやはり多くの実例がある。その一つが、南アフリカに生息するランの一種（*Satyrium hallackii*）だ。南アフリカの北部と東部では、この花はスズメガや舌の長いハエを媒介にして受粉している。したがって、これらの花粉媒介者を引きつけるため、奥深くに蜜を入れた長い花筒が進化してきた。このランで授粉が起きるのは、舌の長いガやハエが近寄ってきて、その舌を筒に差し入れたときだけだ。しかし沿岸部では、このランに授粉し

てくれるのが舌の短いハチしかいない。そのため、ここのランはずっと短い花筒を進化させている。もし仮に、この個体群が三種類の花粉媒介者すべてを含む一帯に生息することになっても、花筒の長い花と短い花には間違いなくなんらかの遺伝的隔離が見られるだろう。舌の長い種は花筒の短い種に容易に授粉できないし、逆もまた同じだからだ。同じように動物の種でも、別の個体群の個体同士では同じ個体群の個体同士ほど容易には交尾できない種がいくつもある。

そして、地理的種分化の検証可能な最後の予言だ。物理的に隔離された一組の個体群のあいだでは、時間とともに繁殖隔離がゆっくりと進むはずである。私と同僚のアレン・オーアはこれを検証するために、ショウジョウバエの多くの種のペアを調査した。過去のさまざまな時期にそれぞれの共通祖先から分岐したペアだ（第4章で述べた分子時計の手法を用い、DNA配列の違いの数をかぞえることで、二つの種が分岐を始めた時期を推定できた）。私たちは実験室で三種類の繁殖障壁を測定した。ペアのあいだでの交尾相手の識別と、ペアのあいだに産まれた雑種の繁殖能力と、その生存能力である。すると予測されたとおり、二つの種のあいだの繁殖隔離は時間とともに着実に進んでいた。そしてグループ間の遺伝的障壁が相互繁殖を完全に阻むのに充分なほど強くなるのは、分岐が始まってから約二七〇万年後だった。これはかなりの長い時間である。少なくともショウジョウバエにおいては、新しい種の発生は明らかに時間のかかるプロセスなのだ。

種がどのように発生するかを突きとめる方法は、星がどのように時間とともに「進化」するかを天文学者が突きとめる方法に似ている。どちらのプロセスも非常にゆっくりと進むため、人間の一

生のあいだではとてもその全体は見られない。しかし、それでもその仕組みは理解することができる。そのプロセスの一瞬の断片をさまざまな進化段階でとらえ、その断片をつなぎあわせて、一本の映画のような連続した流れにすればよい。星の場合で言えば、天文学者はまず、銀河のなかに散らばる物質の雲（「星の育児室」）を見た。それから別のところで、その雲が凝縮して原始星になったのを見た。そしてまた別の場所で、原始星が完全な星となり、それがさらに凝縮して中心核の温度を上昇させ、ついに水素原子が融合してヘリウムになるとともに、その星から光が発せられるのを見た。ベテルギウス星のような大きい「赤色巨星」もあった。そのいくつかは、星の外層が宇宙空間に流れ出ていく様子を見せていた。また別のいくつかは、小さく凝縮した白色矮星になっていた。これらすべての段階を集め、それらの物理的、化学的な構造やふるまいについての知識をもとにして、一本の論理的な流れをつくったことにより、星がどのように形成され、どのように存続し、どのように死んでいくかの全貌を知ることができたのだ。いまやわれわれは、太陽と同じぐらいの大きさの星は一〇〇億年ほど輝きつづけたのち、膨らんで赤色巨星になることを知っている。現在の太陽の年齢はおよそ四六億年だから、この地球が惑星として生きられる期間のちょうど中ほどにいることも知っている。その期間が終わったら、われわれは太陽の膨張に飲み込まれてしまうのである。

種分化についても同じことだ。われわれは地理的に隔離された個体群がどう変わっていくかの全貌をわかっている。最初は繁殖隔離をまったく示していないが、やがて繁殖隔離が少しずつ強まり

（個体群が長く隔離されればされるほど）、そして最後には完全な種分化が生じる。共通祖先から分かれた若い種が、川やパナマ地峡といった地理的障壁の両側や、群島の別々の島にいることもわかっている。これらをすべてつなぎあわせれば、隔離された個体群が分岐すること、そしてその分岐がある程度の長期にわたって続くと、進化の副産物として繁殖障壁ができることがわかってくる。

創造論者がしばしば用いる反論に、われわれの一生のあいだに新しい種が進化するところを見られないなら、種分化など起こっていないのだというものがある。だが、その主張は浅はかだ。星の一生を最初から最後まで見ていないから星は進化していないとか、あるいは新しい言語が生まれるところを見ていないから言語は進化しないと言っているようなものだろう。プロセスの歴史的再構築は、こうしたプロセスを研究するときの完全に正当な方法であり、これにもとづけば検証可能な予言もできる。[39] 太陽がおよそ五〇億年のうちに燃え尽きはじめると予言できるように、異なる方向に人工的に淘汰された実験室の個体群が、いずれ遺伝的に隔離されるという予言もできるのである。

個体群が地理的に隔離されることが種分化の生じる経緯として最も一般的であることは、おおかたの進化学者が認めるところだ。つまり、近縁種が同じ一帯に――共通の条件下に――生息している場合でも、それらがかつて互いから分岐したときには、その祖先同士は地理的に隔離されていたはずなのだ。しかし一部の生物学者の考えでは、新しい種が生じるのに必ずしも地理的な分離は必要でないという。たとえばダーウィンも『種の起源』で、限定された非常に狭いエリアのなかでも新しい種が――特に植物は――生じることがあると繰り返し述べている。そしてダーウィン以降、

地理的障壁がない状態でも種分化が生じる可能性を生物学者はさかんに言い立ててきた（こうした種分化を「同所性種分化」という）。この主張の問題点は、前に述べたとおり、一つの遺伝子プールを二つに分けるのは、そのメンバー全員が同じところにとどまっているあいだは難しいということだ。なぜなら分岐しかけている生物のあいだで相互繁殖がなされる機会がつねにあり、そうなると分かれかけていたものが、ふたたび一つの種に戻されてしまうからだ。数学的理論では、たしかに同所性種分化は起こりうる。しかし、それには厳しい条件があり、その条件が自然界で普通に満たされるとはどうもあまり思われない。

地理的種分化の証拠を見つけるのは比較的容易だが、同所性種分化となるとはるかに難しい。現在同じところに二つの近縁種が生息しているからといって、その二つのどちらもがそこで生じたとは限らない。長期の気候変化や氷河の動きなどにともなって生息環境が拡大したり縮小したりするたびに、種は生息範囲内のあちこちへ移動する。同じところに生息する近縁種も、生まれたところは別々の場所で、それからのちに出会ったのかもしれない。だとしたら、その同じところの近縁種が本当にそこで生まれたとどうして確信できるだろう？

これを確信するには、一つ方法がある。孤島のような生息環境を調べればよい。隔離された狭い一帯は、地上であれ（火山島など）水中であれ（小さな湖など）、たいがい狭すぎて地理的障壁のできる余地がない。そうした生息環境に近縁種が見られれば、それらが同所性種分化でできた種だと結論できる。そこには地理的隔離の可能性がほとんどないからである。

実際、ほんのわずかだが実例はある。最もよい例は、カメルーンの二つの小さな湖に生息するシクリッド（カワスズメ）科の魚だろう。この隔離されたアフリカの湖は、火山の噴火口に水がたまってできたもので、とてもそのなかの個体群が分かれられるほどの広さはない（面積はそれぞれ約〇・五平方キロメートル、約四平方キロメートルだ）。にもかかわらず、この両方の湖では、それぞれでちょっとした種の放散が起こっている。どの種も比較的最近になって共通祖先から派生したもので、片方の湖には一一の種が、もう片方には九つの種がいる。おそらくこれは、いまのところ同所性種分化の最高の例だろう。ただ、これがなぜ、どのようにして生じたのかはわからない。

もう一つの事例は、オーストラリアの東海岸から五六〇キロほどのタスマン海に浮かぶ火山島、ロードハウ島に生息するヤシの木である。この島は面積約一三平方キロメートルの小ささだが、ケンチャヤシ、ヒロハケンチャヤシという二つのヤシの木の原産種があり、なんとこれが互いの最も近い類縁種となっている（ヒロハケンチャヤシは室内用の観葉植物として世界中に出回っているので、比較的おなじみかもしれない）。これらは五〇〇万年前ごろにこの島に生息していた祖先のヤシの木から生まれたものと思われる。この種分化が地理的隔離によって生じた可能性はかなり低い。ヤシの木が風によって受粉していることを考えればなおさらである。広い領域に花粉を撒き散らせる風ならば、ヤシがどこにあってもかまわないだろう。

同所性種分化の例はまだいくつかあるが、前の二つほどは確実でない。むしろ何より驚くのは、機会がありながら同所性種分化が起こらなかった件数である。かなりの数の種を内包している隔離

された環境はいくらもあるのに、最も近い類縁種どうしが一組もないのだ。明らかに、それらの場所では同所性種分化が起こっていない。私は同僚のトレヴァー・プライスとともに、いくつかの隔離された火山島の鳥類を調べ、同所性種分化で生じたと思われる近縁種がいないかどうかを探した。私たちが調査した四六の島のうち、互いの最も近い類縁となっている鳥類の固有種を持っている島は一つもなかった。アノールトカゲについても同じような結果が出た。よくペットショップで売っている緑色の小さなトカゲである。そもそもアノールトカゲ属の近縁種はジャマイカ島より小さな島にはいない。ジャマイカは山の多い大きな島で、地理的種分化が起こるのに充分な多彩さがある。それより小さな島々に姉妹種がいないからには、このグループでは同所性種分化はめったに起こらないということになる。これもまた、創造論者への反証の一つだ。創造主が鳥類やトカゲ類の似たような種を大陸につくっておきながら、島にはつくらないというのは、何も明白な理由がないではないか（この「似たような」とは、進化学者が近縁と見なすぐらいに似ているということだ。大半の創造論者は種を「近縁」とは認めない。それは進化を前提としているからだ）。同所性種分化の希少さは、まさしく進化論が予言するところであり、これで進化論はさらに裏づけられたことになる。

しかしながら、同所性種分化には二つの特殊な形態があり、それらは植物によく見られるだけでなく、「進行中の種分化」、すなわち人間の一生のあいだに実際に形成される種分化の唯一の事例となってもいる。二つのうちの一つは「異質倍数体の種分化」と呼ばれる。この種分化形態の奇妙な

ところは、隔離された同じ種の個体群から種分化が始まるのではなく、同じ一帯に生息する二つの異なる種の交配から始まることである。そしてこれには通常、その二つの異なる種の染色体も、数か種類の点で異なっていることが条件となる。その違いのために、二つの種のあいだにできた雑種は花粉や胚珠をつくろうとするときに染色体が正常な対合をせず、したがって不稔（植物が種子を生じない現象）となる。だが、その雑種のすべての染色体の数を倍にする方法があったなら、各染色体は対合の相手を得て、倍の染色体をもった雑種は不稔でなくなる。そして、それは新しい種にもなる。ほかの同様の雑種とは異系交配できる一方で、もとの二つの親種とはどちらとも相互繁殖できなくなるからだ。そのような交配をしたら、奇数の染色体を持った不稔の子ができてしまう。実際、このような「倍になった染色体」を持つ異質倍数体の雑種は定期的に生まれて、新しい種となっている。[40]

倍数体の種分化は必ずしも交配を必要としない。倍数体は、ある一つの種の染色体すべてが倍になれば、それだけで生じられる。こうしたプロセスの概念を「同質倍数性」という。これも結果的には新しい種となる。同質倍数体は、別の同質倍数体と交配すれば結実能力のある雑種を生めるからだが、ただし、もとの親種と交配すると、その雑種はすべて不稔になる。[41]

いずれの倍数体にしろ、倍数体の種分化を生じさせるには、珍しい現象が二世代続いて起こることが条件となる。異常に数の多い染色体を持った精子と卵が形成されて、互いに結合しなくてはならない。それなら倍数体の種分化などはめったに起こらないのではないか、と思っている人もいる

かもしれない。ところが、そうではない。一つの種が何百万もの卵や花粉粒を生めることを考えれば、ありえないことも最終的にはありえることとなる。その確率はまだ推定どまりで、数値にもばらつきがあるが、世界各地の詳しく調査されている一帯では、顕花植物すべての種の四分の一までもが倍数性のプロセスを通じて形成されたと見られている。また、これまでの系統のどこかで倍数化が起こったとされる現生種の割合は、なんと七〇パーセントにも及ぶ。これは新しい植物種が生まれる経緯として、明らかに一般的なものだ。しかも倍数体の種は、ほぼすべての植物のグループに存在している（樹木は明らかに例外だが）。そして多くの食用植物や観賞用植物は、コムギ、ワタ、キャベツ、キク、バナナなど、みな倍数体か、あるいは倍数体の親を持った不稔の雑種である。これは自然界の雑種が両方の親の種からもらった便利な形質を持っていることに人間が気づいたからで、望ましい遺伝子の組み合わせにするために、あえて倍数体をつくることもあるからだ。家庭の台所で見られるありふれた二つの実例が、それをよく示している。多くのコムギ類は六組の染色体を持っているが、それは三つの異なる種を含めた複雑な異種交配から生まれたもので、われわれの祖先がその異種交配をやったのである。商用バナナは二つの野生種からできた不稔の雑種で、両方の親の種から一組ずつもらった二組の染色体を持っている。あなたが食べるバナナの身の中心部にある黒い点々は、じつのところ、染色体が正しく対合できなかったために種子になり損ねた植物の胚珠の名残である。バナナの苗は不稔なので、株分けなどで繁殖させなくてはならない。

一方、動物においては倍数体は非常に珍しい。魚類、昆虫、蠕虫、爬虫類にときおり見かけられ

る程度だ。それらのほとんどは無性生殖だが、珍しく有性生殖をする倍数体の哺乳類がいる。アルゼンチンに生息するデグー科の奇妙なラットの一種（*Tympanoctomys barrerae*）だ。このラットは、どんな哺乳類よりも多い一一二もの染色体を持つ。動物の倍数体がなぜこれほど希少なのかは不明だが、倍数性がX／Y型性決定のメカニズムを乱すこと、あるいは動物が自家受精できないことと何か関係があるのかもしれない。対照的に、多くの植物は自家受精ができるので、新しい倍数体個体が自分だけで多くの類縁の個体をつくれる。それらがすべて新しい種のメンバーとなるのである。

倍数体種分化がほかのタイプの種分化と異なるのは、これが遺伝子そのものの変化ではなく、染色体の数の変化によって生じる点だ。さらに、これは「正常」な地理的種分化より、とんでもなく速く進行する。新しい倍数体の種はたった二世代で生じうるのだ。地質学的な時間で考えたら、ほとんど瞬時のできごとだ。そして何より、これはわれわれに新しい種が現れるところを「リアルタイム」で見られるという前例のない機会を与えてくれる。進行中の種分化を目撃したいという欲求を、これがかなえてくれるわけだ。少なくとも五つの新しい植物の種は、このプロセスによって生じたことがわかっている。

その一つが、キク科のキオン属に属する顕花植物の一種、ウェルシュ・グラウンドセル（*Senecio cambrensis*）である。この植物は一九五八年に北ウェールズで初めて観察された。近年の調査でわかったところによると、やはり二つの別の親種からできた倍数体の雑種で、片方の親はイギリス原産のノボロギク（*Senecio vulgaris*）、もう片方の親は一七九二年にイギリスに導入されたオックス

フォード・ラグワート（*Senecio squalidus*）だった。ラグワートは一九一〇年ごろまでウェールズでは見られなかった。ということは、イギリス人の植物研究好き――原産植物を絶え間なく増やしつづけている――を考えると、この雑種のウェルシュ・グラウンドセルは一九一〇～一九五八年に生まれたに違いない。これが本当に雑種で、倍数化を通じて生まれたという証拠は、いくつかの方面から出されている。第一に、これは外見からして雑種のようだ。ノボロギクとオックスフォード・ラグワートの特徴を両方とも備えているからである。第二に、これはまさしくその二つの親からできた倍数体の雑種に予想される数の染色体（六〇本）を持っている（片方の親の染色体が四〇本で、もう片方が二〇本）。遺伝学の研究で明らかにされているように、雑種の遺伝子と染色体は、親の種それぞれの遺伝子と染色体の混合体なのである。そして最後に、スコットランドのセント・アンドリューズ大学のジャクリーン・ウィアーとルース・イングラムから出された証拠がある。この二人は実験室で二つの親の種をさまざまにかけあわせ、この雑種を完全に合成してみせたのだ。この人工的につくられた雑種は、野生のウェルシュ・グラウンドセルにそっくりなほど似ている（野生の雑種の種は、系統を確認するためにしばしばこの方法で再合成される）。これでもう疑いはほとんどない。ウェルシュ・グラウンドセルは、この一〇〇年以内に生まれた新しい種なのである。

リアルタイムの種分化のあと四つの例もすべて同じようなもので、どれも在来種と導入種の雑種である。これには人間が植物を移動させるという多少の人工的な要素が入ってくるが、新しい種が目前で生まれるところを見たいなら、それを実現させるにはどうしても必要なことだ。一つのとこ

ろに適切な二つの親の種が生息していれば、倍数体の種分化は非常に速く起こると思われる。したがって、自然界で異質倍数体の種が生じるのを目撃するには、二つの祖先種が近接した直後にその現場に居合わせなければならない。つまり直近に生物侵入があったときにしか機会はないということでもある。

だが、倍数体の種分化そのものは、ただ目撃されていないだけで、進化の過程では何度も起こってきている。なぜそれがわかるかといえば、科学者が温室で、この世に人間が存在するずっと前に自然界で形成されたものとほとんど変わらない倍数体の雑種を合成してきているからだ。そして、その人工的につくられた倍数体は、野生の倍数体との異系交配もできる。これらすべてが、自然に形成された種の起源がたしかに再構築されてきたことの何よりの証拠である。

こうした倍数体の種分化の事例は、目の前で起こっているのを見ないかぎり進化を受け入れることはできないと言っている批判者の不満を解消するはずだ。[42] しかし、たとえ倍数性がなかったとしても、種分化の証拠はいくらでもある。系統の分岐は化石記録に見られる。地理的障壁によって切り離された近縁種も見られる。そして、新しい種が生まれつつあるところも見られる。種分化の土台となる繁殖障壁を個体群が進化させはじめているところが見られるからだ。かのダーウィンがもし今日に目覚めたら、彼はきっと大喜びするだろう――もはや種の起源は「謎中の謎」ではなくなっているのだから。

第8章

われわれヒトは？

ダーウィンの言う人間なんて、いくら気取ってみせたって、
しょせん毛をそったサルだもの。

——ウィリアム・S・ギルバートとアーサー・サリヴァン「王女イーダ」

一九二四年、結婚式のための着替えをしていたレイモンド・ダートは、のちに二〇世紀最大の化石の発見となるものを文字どおり手渡された。ダートは若くして南アフリカのヴィトヴァーテルスラント大学で解剖学教授をしていたが、その一方でアマチュア人類学者でもあり、新設の解剖学博物館に所蔵する「興味深い発見」を探しているとあちこちに触れ回っていた。ダートがタキシードを着込んでいると、郵便配達が二つの箱を届けにきた。箱のなかには、トランスバール州のタウングスに近い石灰岩の石切り場で発掘された、骨の断片を含んだ岩が入っていた。ダートは回顧録の『ミッシング・リンクの謎』で、そのときのことをこう記している。

ふたを開けたとたん、ぞくぞくする興奮が体を貫いた。積み重なった岩の一番上にあったのは、まぎれもなく、頭骨の中身の頭蓋内鋳型だった。これがサルの何らかの種の化石化した脳の鋳型だったとしても、それはそれで大変な発見として位置づけられただろう。そのようなものはまだ一度も報告されていなかったのだから。だが、私は自分の手のなかにあるものを一目見たときから、これはありふれた類人猿の脳などではないとわかった。この石灰で固められた砂のなかにあるのは、ヒヒの三倍の大きさがあり、チンパンジーの成体よりもかなり大きな脳の写しなのだ。脳回と脳溝、それに頭骨の血管の驚くべき残像が、はっきりとそこに見えていた。

初期人類にしては大きさが足りなかったが、類人猿にしてはあまりにも大きく膨らんだ脳で、何より重要なことに、前脳が非常に大きく、後方に発達しているので後脳を完全に覆ってしまっている。

この岩の山のどこかに、この脳にちょうど合う顔があるのだろうか？　私は無我夢中で箱のなかをあさった。その探索が報われ、鋳型がぴったりと合うへこみのできた大きな石が見つかった。その石には壊れた頭骨の一部のほか、下顎の裏側と歯槽まで、かすかに輪郭が見えていた。ということは、このブロックのどこかに顔があるに違いない……。

日陰に立って、黄金を抱きしめる守銭奴のようにぎゅっとその脳を抱えながら、私の意識はすでに先へ先へと走っていた。これはもう確実に、人類学の歴史始まって以来の最大の発見の

一つだと。

人類の初期の祖先はおそらくアフリカに棲んでいたという、おおよそ疑問視されていたダーウィンの仮説がふと思い出された。この私が、ダーウィンの「ミッシング・リンク」が発見される助けになるのだろうか？

こうした心地よい白昼夢が、いきなりさえぎられた。花婿本人が出てきて私の袖を引っぱったのだ。

「頼むよ、レイ」と彼は言った。いらいらと気がせいているのを声に出すまいと必死に抑えているのがわかる。「いますぐ着替えを終えてくれよ――さもないと別の介添人を探さなきゃならなくなる。もういまにも結婚式の車が来るんだからさ」。

花婿の心配はもっともだ。誰だって自分の結婚式の日に、介添人がまもなく始まる式のことより埃まみれの岩の箱に興味があったなどとは知りたくない。とはいえ、ダートの心情にも同調せずにはいられない。ダーウィンは『人間の由来』で、われわれの種の起源はアフリカにあるのではないかと推測していた。われわれに最も近い類縁種であるゴリラとチンパンジーが両方ともアフリカで発見されていたからだ。しかし、それは思いつきにすぎなかった。裏づけとなる化石があったわけでもない。ところがそこへ、明らかに進化の溝を埋めると思われるものが現れた。すなわちヒトと、ヒトがほかの大型類人猿と共有しているに違いない共通祖先とのあいだに存在する、ヒトよりは確

実にサルに近い姿をしている祖先である。一九二四年のその日、溝がようやく越えられるだろうと予感させる最初の足がかりが姿を現した。それはダートの震える手のなかにあって、彼をおぼろげながらも強く実感させた。これこそ長いあいだ、じつにあっさりとした名前でしか呼ばれていなかった、いわゆる「ミッシング・リンク」であるに違いないと。そんなときに、どうして他人の結婚式での仕事に集中していられよう?

ダートが箱のなかに見つけたものは、のちに「アウストラロピテクス・アフリカヌス」(「南方の猿人」)と名づけられるものの最初の標本だった。それから三カ月、ダートが妻からこっそり拝借した先のとがった編み針を使って丹念に岩を解体すると、ついに顔の全貌が現れた。それは幼児の顔で、乳歯と生えかけの臼歯が揃っていた。これは現在、「タウング・チャイルド」と呼ばれている。ヒトの形質とサルのような形質を兼ね備えたその顔は、本当に人類の祖先の起源に突き当たったのだというダートの確信をたしかに裏づけるものだった。

ダートの発見以降、古人類学者、遺伝学者、分子生物学者が、化石とDNA配列を使って進化の系統樹における人間の位置を定めてきた。われわれは、ほかのサルからの系統を下ったサルであり、われわれの最も近いいとこはチンパンジーで、その祖先はわれわれ自身の祖先から数百万年前にアフリカで分岐した。これらは動かしようのない事実である。そして、この事実はわれわれの人間性を損ねるよりも、むしろわれわれに満足と驚異をもたらすはずだ。この事実によって、われわれは生きているものも死んだものも含めて、すべての生物とつながったのである。

だが、誰もがそのような見方をするわけではない。ダーウィニズムをどうしても受け入れたがらない人々にとっては、人間の進化こそが抵抗感の中核をなしている。哺乳類が爬虫類から進化したことは認めよう、陸生動物が魚から進化したことも認めてもいい。しかし、われわれもまたほかのすべての種と同様に、まったく異なる祖先から進化したのだということだけはどうしても認めがたいのだ。人間は、かねて自分たちを自然界のほかのすべてとは別のところに立つものとして認識してきた。人間は創造の特殊な産物であるという宗教的な信念にも支えられ、また、自意識を持つ脳におのずとともなう唯我論的な意識にも後押しされて、われわれはどうしても進化論の教えるところに抵抗してしまう。ほかの動物と同じように、われわれもまた自然淘汰という盲目で無意識のプロセスによってつくられた偶然の産物だということが受け入れられないのである。そしてアメリカでは、原理主義的な宗教がずっと覇権を握っているために、人間の進化という事実に対する抵抗感がとりわけ強くなっている。

一九二五年の有名な「モンキー（サル）裁判」では、テネシー州デイトンの高校教師ジョン・スコープスが、テネシー州の反進化論法（いわゆる「バトラー法」）に違反したかどで審理にかけられ、有罪と宣告された。じつのところ、このバトラー法は進化論全般を教えることを禁止していたわけではなく、人間が進化してきたという考えだけを制限するものだった。

以下、テネシー州総会により制定されるものとする。テネシー州公立高校基金により全面的

あるいは部分的に支援を受けている本州の全大学、全師範学校、およびその他の全公立学校の教師が、聖書で教えられている神の創造の話を否定する理論を教えること、および上記の話に代えて人間が下位の動物の子孫であると教えることは、すべて非合法とされる。

比較的リベラルな創造論者なら、一部の種が別の種から進化したことは容認できているのだが、こと人間となると、すべての創造論者が一線を引く。われわれ人間とその他の霊長類のあいだには溝があり、それは決して進化によって橋渡しできるものでなく、したがってそこには特殊な創造が働いているに違いない、というのが彼らの言い分だ。

人間も自然の一部であるという考えは、生物学の歴史の大部分においても忌み嫌われていた。一七三五年、生物の分類学を確立したスウェーデンの植物学者カール・リンネが、自らホモ・サピエンス（「賢い人」）と名づけたわれわれ人間を、身体構造上の類似性にもとづいて、ほかの大小のサルとひとまとめのグループにした。リンネはこれらの種の進化的関係をほのめかしたわけではなかった――彼の意図は純粋に、神の創造の背後にある序列を明らかにすることだった――が、その判断はやはり物議をかもすもので、リンネは大司教の激しい怒りを買うことになった。

それから一世紀後、ダーウィンは人間が別の種から進化したことを強く確信していたが、それを提唱すればどれだけの怒りを買うかも充分に承知していた。『種の起源』でのダーウィンは慎重にこの件を扱い、本の最後の部分のあいまいな一文にこっそりと真意を忍ばせた――「いずれ人間の

起源とその歴史にも光が当てられるだろう」。ダーウィンがこの件に真剣に取り組んだのは、それから一〇年以上あとの『人間の由来』（一八七一年）においてだった。ますます深まっていった直感と確信に支えられ、また、自分の考えが急速に受け入れられていたことにも自信を得て、彼はついに自分の見解を明白にした。身体構造面と行動面から証拠を集めたうえで、人間がサルのような生き物から進化しただけでなく、それがアフリカで起こったとまで断言したのである。

したがって人間の祖先は、毛で覆われた四足の、尻尾と先のとがった耳を備えた、おそらく樹上生活をしていたと思われる、旧世界の生き物であったことがわかる。

ビクトリア時代の人々の耳に、この一文がどれだけの影響を与えたことだろう。われわれの祖先が木に住んでいたなんて！　しかも尻尾と先のとがった耳を備えていたなんて！　最後の章で、ダーウィンはついに宗教的な異論と真っ向からぶつかっている。

この研究で到達した結論が、一部の人からきわめて不敬だとして糾弾されるのはわかっている。しかしながら、これを糾弾する人々には、多様性と自然淘汰の法則を通じて下位の生物から系統を下ってきた別個の種であるとして人間の起源を説明することが、通常の繁殖の法則「発達のパターン」を通じて各個人は誕生すると説明することよりもどうして不敬になるのか

を示してもらわなくてはならない。

それでもやはり、仲間の全員を納得させることはできなかった。ダーウィンのライバルであったアルフレッド・ラッセル・ウォレスも、師であったチャールズ・ライエルも、ダーウィンの進化の考えは認めたが、人間の高度な知的能力を自然淘汰で説明できるとはやはり思えずにいた。人間が本当に進化してきたことを懐疑論者についに認めさせるには、化石の出現を待たなければならなかった。

化石の祖先

一八七一年の時点でのヒトの化石記録は、発見されたばかりのネアンデルタール人の骨がいくらかあるばかりだった。ネアンデルタール人はあまりに人間に似ていたため、われわれと類人猿のあいだをつなぐミッシング・リンクだとは考えられなかった。結局、これはホモ・サピエンスの変種の個体群と見なされた。一八九一年には、オランダ人医師のウージェーヌ・デュボワがジャワ島で、頭蓋冠、いくつかの歯、大腿骨の骨を発見した。頭蓋は現生人類のものより少々がっしりしていて、脳は小さい。これはまさに期待されていた条件にあうものだった。ところがデュボワの考えに反して、宗教的、科学的な異論が相次ぎ、意気消沈したデュボワは、そのピテカントロプス・エレクト

ス（現在の名称はホモ・エレクトス）の骨を自宅の庭にふたたび埋めてしまった。これがあらためて科学的精査を受けたのは三〇年後のことだった。

ダートによる一九二四年のタウング・チャイルドの発見で、アフリカにおける人間の祖先探しが一気に始まった。これが一九三〇年代からのリーキー夫妻による有名なオルドヴァイ峡谷での発掘や、一九七四年のドナルド・ジョハンソンによる「ルーシー」の発見へとつながり、そのほかにも多くの発見がなされた。現在では、われわれの進化を裏づけると言ってよい妥当な化石記録が揃っているが、まだ完璧とは程遠い。このあと見るように、謎はたくさん残っており、意外なことも少なからずある。

だが、とりあえず化石がなかったとしても、進化の系統樹における人間の位置については多少のことがわかっていただろう。リンネが考えたように、われわれの身体構造からして、人間が類人猿やサルやキツネザルといっしょに霊長目に分類されることは明らかだ。これらはすべて共通の形質、たとえば前向きの眼や、指の爪、色覚、ほかの指と向かいあった親指などを持っているからだ。また別の特徴から、分類上の下位区分では、「小型類人猿」（テナガザル）と「大型類人猿」（チンパンジー、ゴリラ、オランウータン、そしてヒト）といっしょにヒト上科にまとめられる。そしてさらにヒト上科のなかでは、大型類人猿とともにヒト科に属し、平坦な爪、三二本の歯、拡大した卵巣、時期が長くなった子育てなど、独特の特徴を共有している。これら共通の特徴は、われわれと大型類人猿との共通祖先が、ほかのあらゆる哺乳類との共通祖先よりも新しい時代に生きていたことを

示している。

ＤＮＡ配列とタンパク質配列から導かれる分子データは、この関係を裏づけているばかりか、われわれが類縁種と分岐したおおよその時期まで教えてくれる。われわれヒトと最も近い類縁はチンパンジー――普通のチンパンジーともボノボとも等しく近しい――で、その共通祖先からわれわれが分岐したのが約七〇〇万年前である。ゴリラはもう少し遠い類縁で、オランウータンはさらに遠い類縁だ（共通祖先から一二〇〇万年）。

それでも多くの人からすると、化石証拠は分子データよりも心理的に説得力がある。われわれがＤＮＡ配列の九八・五パーセントをチンパンジーと共有しているというのも、それはそれで勉強になることだが、アウストラロピテクスの骨格を目の前にして、その小さいサルのような頭蓋骨が現生人類とほぼ変わらない骨格のうえに乗っているのを見るのは、やはり格別ということだろう。しかし、化石をまだ見ていなくても、ヒトが類人猿から進化したなら当然これが見つかるだろうというものを、いくつか予言することはできる。

われわれとサルとをつなぐ「ミッシング・リンク」はどういう姿をしているはずか？　まず、ミッシング・リンクとは一方で現生人類を生み、もう一方でチンパンジーを生んだ単一の祖先の種であることを思い出してもらいたい。そのような決定的な単一の種を発見できると思うのは、いささか甘い考えだ。これを特定するにはヒトとチンパンジーの両方の系統で、祖先から子孫までが完全につながった化石をそろえなくてはならない。そうして初めて、両方の系統が祖先のところで交

差するまでさかのぼっていけるのだ。ごく一部の海洋微生物を除いて、そのような完全な化石の並びは存在しない。しかも、われわれの祖先の初期人類は大きくて、レイヨウのような草食動物と比べると数も少ない。棲んでいたのはアフリカの狭い一帯で、そこの乾燥した状態は化石化に向いているとはとても言えない。あらゆる類人猿やサルと同じく、初期人類の化石はめったに出てこない。これはわれわれからすると、鳥類の進化についての悩みに似ている。鳥もまた、移行化石がとても少ないのだ。羽毛恐竜から鳥類への進化は確実にさかのぼれるが、どの化石種が現生鳥類の直接の祖先なのかは、いまもって正確にはわからない。

これらを考えあわせると、ヒトとほかのサルとのあいだの「ミッシング・リンク」に該当する特定の単一の種はとても見つかりそうにない。したがってどうにか期待できるのは、その進化上のいとこを見つけることである。もう一つ思い出してもらいたいのが、この共通祖先はチンパンジーではないということだ。そしておそらく、現生チンパンジーにも現生人類にも似ていない。それでもやはり「ミッシング・リンク」の外見は、現生人類よりは現生チンパンジーに近いだろう。われわれヒトは、いわば現生類人猿の進化からのはみ出し者だ。現生類人猿が互いに似ている度合いに比べると、ヒトと似ている度合いははるかに小さい。ゴリラはわれわれの遠いいとこだが、ゴリラはチンパンジーと多くの特徴を共有している。比較的小さい脳、毛深い体、前肢の指関節を地面につける歩き方、先端のとがった大きな犬歯などだ。また、ゴリラとチンパンジーはともに「長方形の歯のアーケード（歯槽弓）」を持っている。上から見ると、歯の下の列が長方形の三辺のように見

えるのだ（350ページの図27を参照）。一方、ヒトという種は類人猿の基本計画から逸脱している。われわれだけは自由に動かせる親指を持っていて、体毛はとても少なく、犬歯は小さくて先が丸い。立って歩くのもヒトだけだ。鏡で下の歯を見てみればわかるとおり、歯列は長方形ではなく放射線状をしている。そして何より、われわれの脳はどんな類人猿の脳よりもはるかに大きい。チンパンジーの成体の脳は、容積およそ約四五〇立方センチメートルだが、現生人類の脳の容積はおよそ一四五〇立方センチメートルだ。チンパンジー、ゴリラ、オランウータンに多くの類似点があるのに比べ、ヒトだけが違った特徴を持っていることを考えると、われわれは現生類人猿よりもずっと大きく共通祖先から変わってきてしまったのだと結論できる。

したがって、五〇〇万～七〇〇万年前ごろの化石には、チンパンジーやオランウータンやゴリラに共通する形質を持ちながら（それらの形質が共有されているのは、共通祖先がその形質を持っていたからだ）、なおかつ人間の特徴も多少は備えた化石が見つかるはずだ。そして化石の年代が新しくなるにつれ、少しずつ化石の脳は大きくなり、犬歯は小さくなり、歯列は長方形ではなく半円形に曲がるようになり、姿勢はより直立に近くなっていくはずだ。実際、この予測はまさにそのとおりになっている。完璧とは程遠いが、ヒトの進化の記録は目下のところ、進化の予言を裏づける非常に強力な証拠の一つなのだ。その予言をしたのがダーウィンなのだから、これはいっそう喜ばしい。

ただし、いくつか注意することがある。ヒトの祖先の化石記録は、一本のつながった線にはなっ

ていない（そうなると期待するのも無駄だ）。現在ある化石は、多くのさまざまな種がややこしく絡みあっている。そのほとんどは子孫を残さずに絶滅した種で、たった一本の遺伝系統だけが長い時を下って現生人類につながっている。どの化石種がその一本の系統上にあり、どの化石種が進化の袋小路にはまってしまったのか、まだ詳しくはわかっていない。とはいえ、われわれの歴史に子孫を残さずに死に絶えた多くの進化的に近しい類縁がいたとわかったのは何よりの驚きだ。かつてアフリカでは、ヒトに類した種が同時代に四つも、しかも同じ場所にいたとさえ考えられている。そこでどんな遭遇が起こっていたことだろう！　種と種は互いに殺しあっていたのか、それとも相互繁殖していたのだろうか。

また、祖先のヒトの化石につけられた名称をあまりまじめに受け取ってはいけない。神学と同じく古人類学も、研究対象より研究者のほうがはるかに多い学問分野なのである。ある化石が本当に新しいものなのか、それともすでに名称のついている化石の変種にすぎないのか、つねに活発な――場合によっては、とげとげしい――討論が繰り広げられている。学名に関するこうした議論は、大して意味のないことが多い。ヒトに類する化石がどういう種として命名されるかは、歯の直径の〇・五ミリメートルの差であるとか、大腿骨の形状のわずかな違いであるとか、その程度の小さな要因で決まることがままあるのだ。問題は標本があまりにも少なすぎることで、しかも、それがあまりにも広大な地理的領域に散らばっているため、なかなか確信を持って名称を決めることができない。新しい発見や既存の結論の改定は、絶え間なく起こっている。とにかく目を離してはならな

いのは時間に沿った化石の全般的な流れで、それこそがサルのような特徴からヒトのような特徴への変遷を明らかに示してくれている。

人類学者は基本的に、現生チンパンジーにつながった枝から「ヒト」が分かれたあと、系統樹のヒト側にあるすべての種に「ホミニン（ヒト族）」という用語を充てている。[43] 全部で二〇種類あるホミニンは、それぞれ別の種として名称がつけられてきた。そのうちの一五種を、出現したおおよその順序で示したのが図24だ。そして一部の代表的なホミニンの頭蓋骨を示したのが図25で、現生チンパンジーと現生人類それぞれの頭蓋骨と比べられるようになっている。

もちろん重要な問題は、ヒトの進化のパターンをどう確定するかということだ。ほかの類人猿からすでに分岐した祖先と見なされそうな最古の化石はいつのものなのか？　ホミニンのうちどれが絶滅していて、どれがわれわれの直接の祖先なのか？　祖先の類人猿の特徴がどのようにして現生人類の特徴になったのか？　われわれの大きな脳と直立姿勢では、どちらが先に進化したのか？　ヒトがアフリカで進化を始めたことはわかっているが、その他のところでは進化にどのようなことがあったのか？

分類が不明ないくつかの骨の断片は別として、最近までホミニンの化石記録は四〇〇万年以上先まではさかのぼれなかった。しかし二〇〇二年、ミシェル・ブルネのチームが驚くべき発見を宣言した。アフリカ中央部のサヘルと呼ばれる一帯にあるチャドの砂漠から、さらに古いホミニンと思われるサヘラントロプス・チャデンシスが出土したのだ。この発見に関して最も人々が驚愕したの

図24　15種のホミニンと、それらが化石として出現した時期、および、それらの脳と歯と移動方法の性質。白い四角によって表された化石は、非常に断片的なので移動様式や脳の大きさについて結論が出せない。

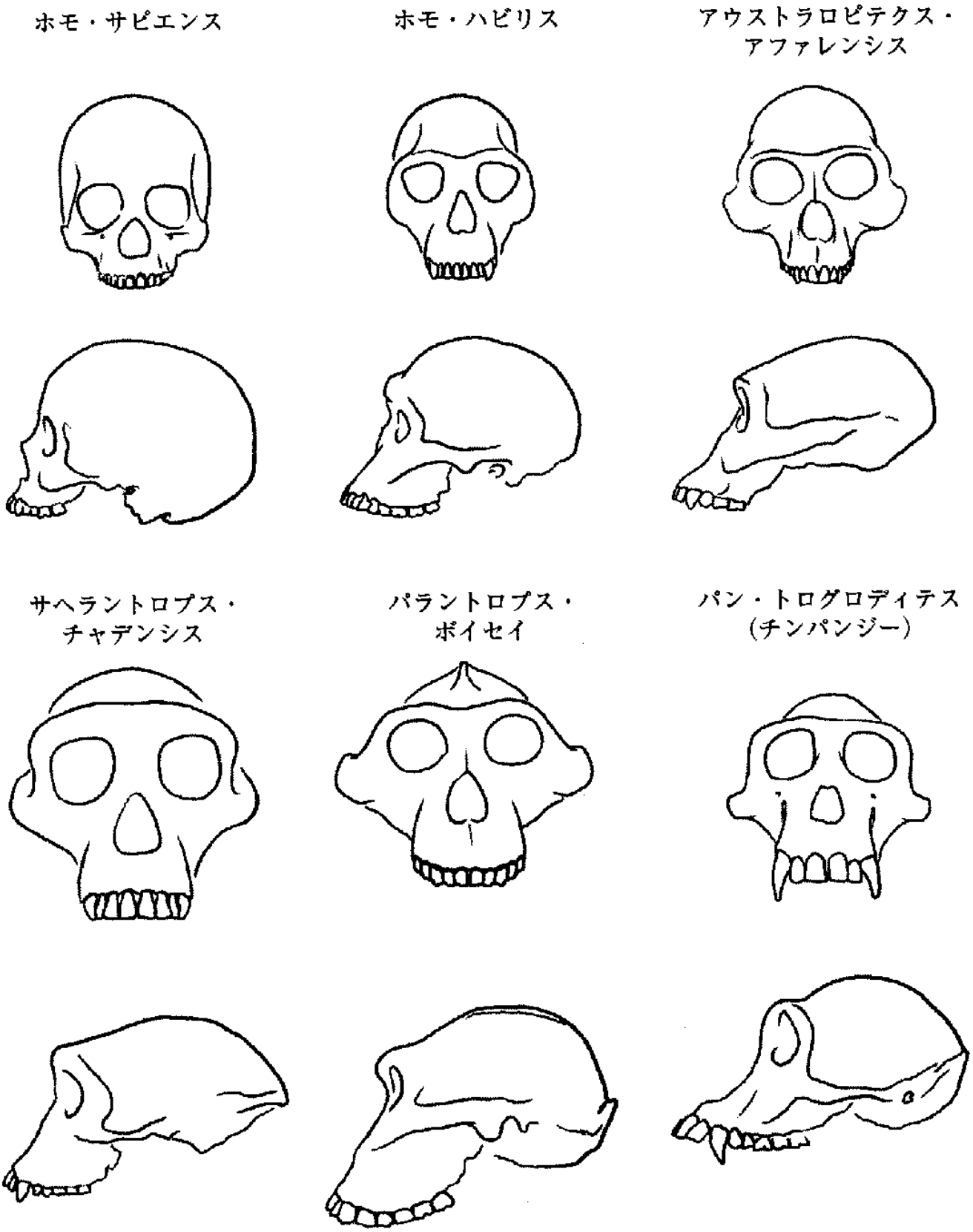


図25　現生人類（ホモ・サピエンス）、初期のホミニン、チンパンジー（パン・トログロディテス）の頭蓋骨

は、その年代だった。六〇〇万～七〇〇万年前というその時期は、ちょうど分子的な証拠から、われわれの系統がチンパンジーの系統から分岐したとされていた時期だったのである。サヘラントロプスはまさしく最古のヒトの祖先なのかもしれない――さもなければ、絶滅した側枝なのではなかろうか。だが、その形質の混ざりぐあいから見て、これがヒトとチンパンジーで分かれた枝のヒト側にあるのは確実だろう。発見されているのは、ほぼ完全な頭蓋骨（化石化の過程で少しだけ押しつぶされている）だが、それは一種のモザイクのように、ホミニンのような形質とサルのような形質が奇妙に混じりあっている。サルのように頭蓋が長く、脳はチンパンジーと同じぐらいの小ささだが、後期ホミニンのように顔は平坦で、歯は小さく、目の上の骨が隆起した眉弓がある（図25）。

骨格のほかの部分が欠落しているため、サヘラントロプスが直立歩行の決定的な能力を備えていたかどうかは定かでないが、おそらくそうだろうと思わせるものはある。ゴリラやチンパンジーのように前肢の指関節を地面につけて四足で歩く動物は、通常の姿勢が水平なので、脊髄が後ろ側から頭蓋骨に入っている。ところがヒトの場合は、頭蓋骨が脊髄の真上に乗っかっている。この違いは、脊髄が通っている頭蓋骨の開口部（「大後頭孔」）の位置に現れている。この穴がヒトにおいてはずっと前寄りにあるのだ。サヘラントロプスの場合、四足歩行の類人猿に比べて、この穴はかなり前寄りにある。これは興味深い事実だ。この種が本当に分岐後のホミニン側にあったのなら、二足歩行はわれわれとほかのサルとを区別する最初の進化的変化の一つだったことになるからだ[44]。

サヘラントロプスのあとは、また別の種である六〇〇万年前のオロリン・ツゲネンシスの骨の断

片がいくつか見つかっている。そのうちの一つである片脚の骨は、この種が二足歩行をしていた証拠と解されてきた。しかし、そこから先の二〇〇万年間は、実質的なホミニンの化石がまったくない状態になっている。ヒトがいつ直立歩行を始めたかについての決定的な情報がいずれ見つかるとしたら、それはこの空洞期間のあいだだろう。そして四〇〇万年前ごろの時期から、ふたたび化石が現れるようになり、そのあとはホミニンの系統樹からいくつもの枝が出はじめる。なかには存在していた時期がかぶっている種さえある。たとえば、ほっそりとして優美な「華奢型」のアウストラロピテクス類もそうで、これらもやはりサルのような形質とヒトのような形質をあわせもっている。サルのほうの形質としては、脳がほぼチンパンジーぐらいの大きさで、頭蓋骨の形状もヒトよりはサルに似ている。しかし、歯は比較的小さく、歯列はちょうどサルの長方形とヒトの放射線状の中間ぐらいの形状をした口蓋に沿って並んでいる。そして、アウストラロピテクスは間違いなく二足歩行だった。

ケニアから出土した一連の初期の化石は、アウストラロピテクス・アナメンシスというグループにまとめられている。これらは一本の化石化した脚の骨から見ても、二足歩行だった可能性が強かった。しかし決定的な発見は、エチオピアのアファール地方で化石を探していたアメリカの古人類学者、ドナルド・ジョハンソンによってもたらされた。一九七四年一一月三〇日、ジョハンソンは朝起きたときから、今日はなんとなくついているような気がして、野外調査日誌にもその旨を書きつけた。だが、どんなふうについているかは知るよしもなかった。午前中いっぱいかけて水の涸

れた溝をむなしく探したあと、ジョハンソンと大学院生のトム・グレーは探索をあきらめてキャンプに帰りかけた。そのとき、ジョハンソンは地表にホミニンの骨が出ているのに気がついた。するとあちらにも、またこちらにも骨が見つかった。驚くべきことに、彼らは偶然にも単一の個体の骨に行き当たっていた。これがのちにＡＬ２８８－１と称された人骨だったが、より一般的には「ルーシー」の名で知られる。この発見を祝ってキャンプでは繰り返しビートルズの「ルーシー・イン・ザ・スカイ・ウィズ・ダイヤモンズ」が流れていたからだ。

ルーシーの数百の断片が集められてみると、彼女は三二〇万年前に存在していた新しい種、アウストラロピテクス・アファレンシスの女性だったことがわかった。年齢は二〇～三〇歳で、身長が約一・一メートル、体重が二七キロ足らず、そしておそらく関節炎にかかっていた。しかし何より重要なのは、彼女が二足歩行をしていたことだった。

それがどうしてわかるかといえば、大腿骨の片方の端の骨盤へのつながり方と、もう片方の端の膝へのつながり方が、それを示しているからだ（図26）。われわれのような二足歩行をする霊長類の場合、大腿骨は腰から内側に向かって伸びている。これにより歩行中の重心が一カ所に定まって、二本の脚を縦方向に大きく動かせるようになる。一方、四足で歩くサルの場合は、大腿骨がやや外側に開いて、Ｏ脚のような格好になっている。こうしたサルが直立して歩こうとすると、チャーリー・チャップリンのような左右に揺れながらのぎこちない歩きかたになってしまう[45]。したがって霊長類の化石が見つかったときは、その大腿骨がどう骨盤に接合しているかを見てみれば、その動

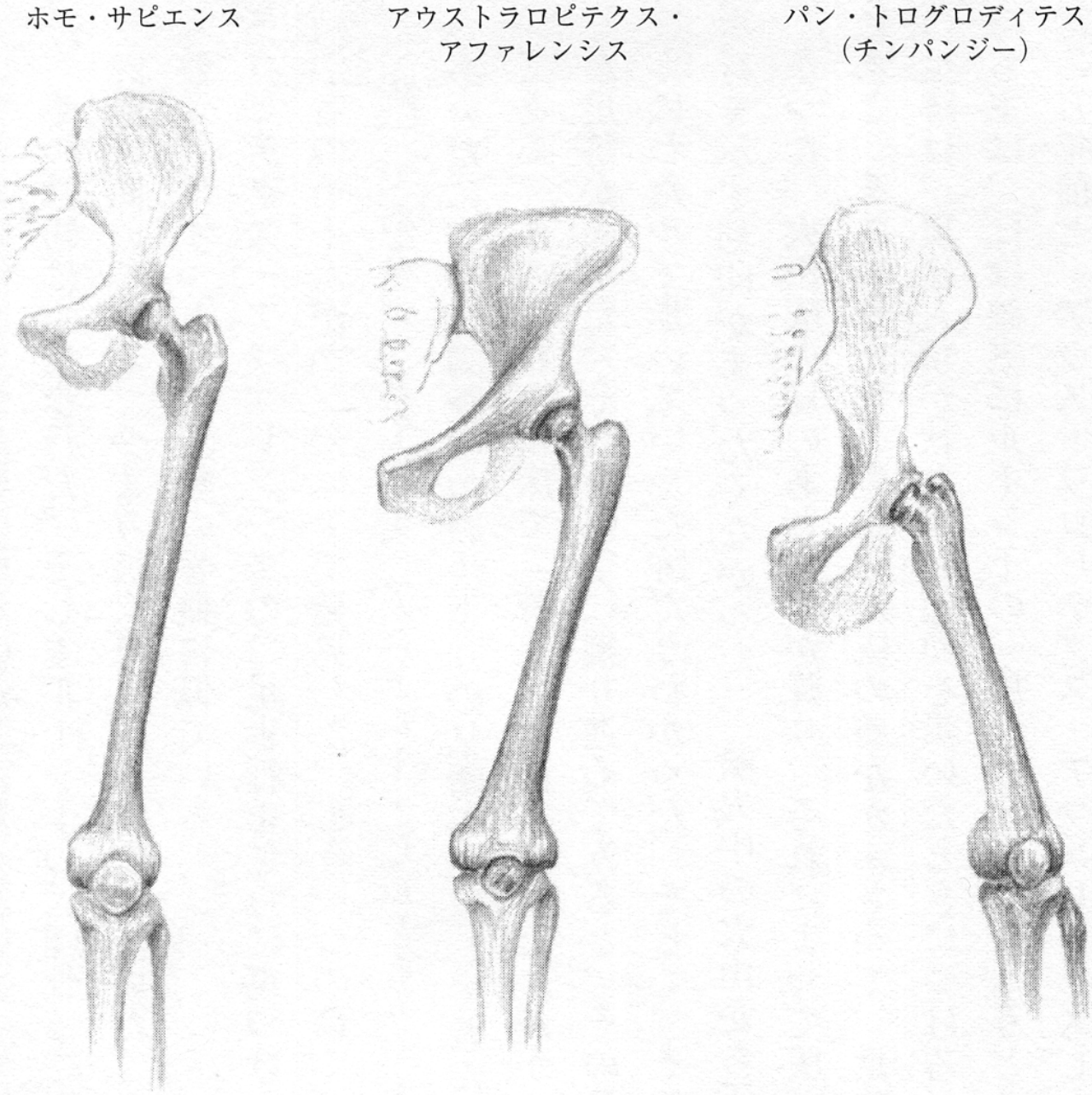


図 26　現生人類と現生チンパンジーとアウストラロピテクス・アファレンシス、それぞれの大腿骨の骨盤への接合部を示したもの。アウストラロピテクス・アファレンシスの骨盤はちょうど人類とチンパンジーの中間だが、その大腿骨は人類に似て内側に向いている。これは直立歩行をしていたしるしで、四足歩行のチンパンジーの外側に開いた大腿骨とは対照的になっている。

物が二足で歩いていたのか四足で歩いていたのかわかることになっている。もし骨盤が中央寄りに伸びていたら、その動物は二足歩行だ。そしてルーシーの大腿骨は、現生人類の大腿骨とほぼ同じような角度で内側に向いている。つまり彼女は二足歩行をしていた。ルーシーの骨盤も、現生チンパンジーの骨盤よりはずっと現生人類の骨盤に似ている。

アウストラロピテクス・アファレンシスの二足歩行をさらに裏づけたのが、メアリー・リーキー率いる古人類学者のチームがタンザニアで発見した、もう一つの驚くべき化石だった。かの有名な「ラエトリの足跡」である。一九七六年、アンドルー・ヒルともう一人のチームメンバーは、例によって休憩のあいだに、野外調査中のお決まりの気晴らしをして遊んでいた――乾燥したゾウの糞塊の投げあいである。水の涸れた川床で「弾薬」を探していたヒルがふと気がつくと、そこには一列の化石化した足跡があった。それを慎重に掘り進めてみると、その足跡は、二人のホミニンが二五メートル近くにわたって歩いていった跡だとわかった。そして、そのホミニンは明らかに二足歩行で（四足歩行を示す刻印がまったくなかった）、噴火中の火山から灰が降り注いでいるなかを歩いていたらしかった。火山灰の嵐のあとに雨が降り、それによって灰が固められてセメントのような層になったあと、そこにまた別の乾燥した灰の層がかぶさって、足跡を保存したのである。

ラエトリの足跡は、現生人類が軟らかい地面を歩いたときにつける足跡とほぼ同一である。そしてこの足の持ち主は、ほぼ確実にルーシーの一族だ。足跡がちょうどその大きさであり、通り道の年代も約三六〇万年前と、アウストラロピテクス・アファレンシスしかホミニンの記録がない時代

に当たっている。これはヒトの行動が化石化されているという点で、きわめて珍しい発見である。[46] 片方の歩いた跡はもう片方の歩いた跡より大きいので、おそらくこの二人は男性と女性だったと思われる（別のアファレンシスの化石から、この種は体格に性的二型があったとわかっている）。女性の足跡は片足の跡がもう片足の跡よりやや深く刻まれているようなので、この女性は腰に赤ん坊を抱えていたのかもしれない。この足跡から浮かび上がってくるのは、火山の噴火中に平原を渡っている小柄で毛むくじゃらなカップルの姿だ。彼らは怯えながら、手をとりあっていたのだろうか？

ほかのアウストラロピテクス類と同様に、ルーシーもきわめてサルに近い頭を持っており、その頭蓋はチンパンジーと同じぐらいの大きさだ。しかし、ルーシーの頭蓋骨にはヒトに近い痕跡も見られる。たとえば歯列は半ば放射線状になっており、犬歯も小さくなっている（図25と図27）。頭と骨盤のあいだにもサルのような形質とヒトのような形質の混合が見られる。腕は現生人類よりいくぶん長いが、チンパンジーよりは短くて、指の骨が多少曲がっているところはサルの指の骨に近い。おそらくアファレンシスはある程度の時間を樹上で過ごしていたのではなかろうか。

それにしても、ヒトとかつてのサルのあいだの移行型として、ルーシー以上に理想的なものは望めないだろう。首から上はサルのようで、中央部分はサルとヒトとの混合で、腰から下はほとんど現在のヒトなのである。しかもルーシーは、われわれの進化についての決定的な事実を教えてくれる。それはすなわち、われわれの直立姿勢が大きな脳よりずっと前に進化したということだ。この

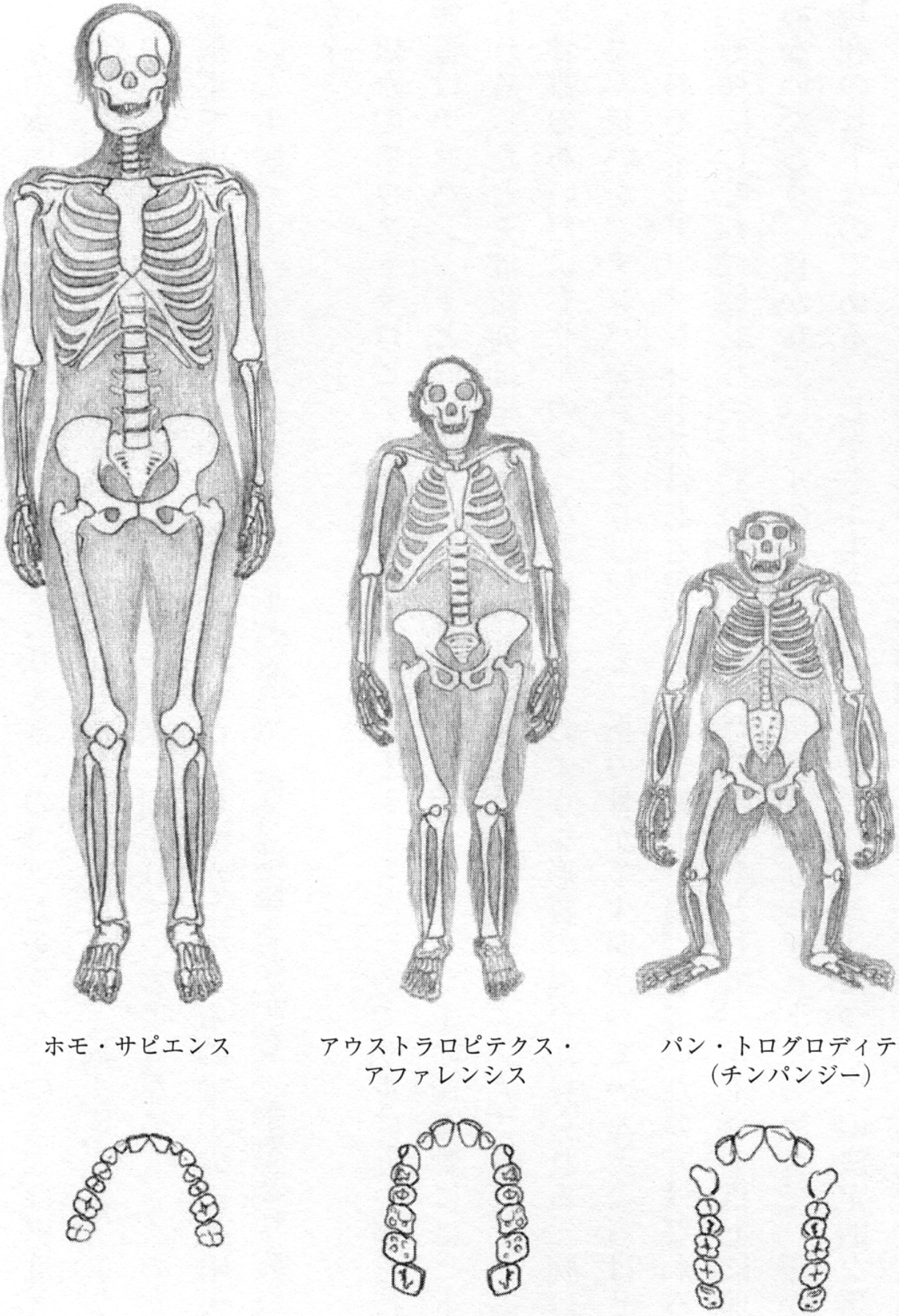


図 27　現生人類とアウストラロピテクス・アファレンシス（「ルーシー」）とチンパンジーそれぞれの骨格と歯槽弓。チンパンジーはヒトの系統上にいる祖先ではないが、おそらく両者の共通祖先に似ている度合いはヒトよりも高い。アウストラロピテクス・アファレンシスは多くの点で、サルのような形態構造とヒトの形態構造との中間にいる。

事実がわかったとき、大きな脳のほうが先に進化していたという従来の定説は覆され、自然淘汰が現生人類をどう形成していったかについての見方は再考を迫られることになった。

アウストラロピテクス・アファレンシスのあと、化石記録はまぎらわしい種の寄せ集めとなる。約二〇〇万年前まで生き延びた、華奢型のアウストラロピテクス類がさまざまに入り混じるのだ。年代順に見ると、その形態が次第に現生人類へと近づいてくるのがわかる。歯列はいっそう放射線状になり、脳はいっそう大きくなり、骨格からは次第にサルのような特徴が失われていく。

さらにそのあとになると、事態はまたいっそうややこしくなる。アウストラロピテクス属に分類される化石と、より現代的なホモ属に分類される化石とのボーダーラインが、ちょうど二〇〇万年前ごろだからだ。とはいえ、名称が変わるからといって、そこで特に重大なことが起こったということではない。なにも「本物のヒト」がいきなり進化したわけではないのである。化石にどちらの名称がつけられるかは、脳が大きい（ホモ）か小さい（アウストラロピテクス）かの違いによるだけで、それもたいていは容量が六〇〇立方センチメートルを超えるか超えないか程度のかなり適当な基準で決められるのだ。アウストラロピテクス・ルドルフェンシスなど、一部のアウストラロピテクス類の化石はちょうど中間の脳の大きさなので、それらをホモと称すべきかアウストラロピテクスと称すべきか、つねづね科学者のあいだでは熱い論争がなされている。この名称の問題をよりややこしくするのが、一つの種のなかでも脳の大きさにはかなりの差異があることだ（現生人類にしても、個体によって一〇〇〇立方センチメートルから二〇〇〇立方センチメートルと非常に幅広

い。ちなみに、この脳の大きさは知性と比例関係にはない)。しかし、そのような意味論的な違いにとらわれて、重要な点をぼやかしてはいけない。後期のアウストラロピテクス類はすでに二足歩行をしていたうえに、歯や頭蓋骨や脳においても現生人類の前触れとなる変化を示しはじめていた。おそらく現生人類を生んだ系統にはこれらの種のうちのどれかが、少なくとも一つは含まれていたに違いない。

ヒトの進化におけるもう一つの大きな飛躍は、道具を作成して使用する能力である。チンパンジーも、蟻塚からシロアリを引っぱりだすための棒など、単純な道具は使用する。しかし、もっと複雑な道具を使いこなすには、おそらくもっと柔軟な指と、手を自由にするための直立姿勢が必要となる。間違いなく道具を使用していた最初のヒトの種は、約二五〇万年前に最初の痕跡が現れているホモ・ハビリスである(図25)。ホモ・ハビリスとは「手先が器用な人」という意味で、この化石はさまざまな種類の剥片石器と関連づけられている。それらの石器は、ものを叩き切ったり、こすったり、動物を解体したりするのに使われていたようだ。この種がホモ・サピエンスの直接の祖先かどうかはわからないが、小さくなった奥歯やアウストラロピテクス類より大きな脳など、よりヒトらしい状態へと変化している様子がたしかにハビリスには見てとれる。ある化石の脳などは、ヒトのブローカ野とウェルニッケ野にあたる部分が一目でそれとわかるほど膨らんでいる。これらは脳の左葉にある領域で、言語を発する能力と理解する能力に関連づけられている。したがって、その部分が隆起していることから、ハビリスは話し言葉を持った最初の種ではないかとも——確信

には程遠いが――考えられている。

ただしホモ・ハビリスは、ほかの多くのホミニンと――同じ場所ではなくても同じ時代には――共存していたことがわかっている。最も有名なのは東アフリカの「頑丈型」の（「華奢型」ではない）ホミニンたちだ。このグループには、パラントロプス（あるいはアウストラロピテクス）・ボイセイ（図25）、パラントロプス・ロブストス、パラントロプス・エチオピクスという少なくとも三つの種があるが、いずれも大きな頭蓋骨、重厚な咀嚼用の歯（直径が二・五センチメートル近くに及ぶ臼歯もある）、丈夫な骨、小さめの脳を備えている。これらの種には「矢状稜」というものもあった。頭蓋骨の真上を前後に走る骨の隆起で、これが咀嚼のための太い筋肉を支えていた。これらの頑丈型の種は、植物の根や実や塊茎といった粗悪な食物を常食にしていたのだろう（ルイス・リーキーによって発見されたパラントロプス・ボイセイの通称は「くるみ割り人間」である）。この三つの種はすべて一一〇万年前に子孫を残さぬまま絶滅した。

だが、ホモ・ハビリスと同時代には同じホモ属もいたかもしれない。それはホモ・エルガステル、ホモ・ルドルフエンシス、ホモ・エレクトスの三つの種だが、それぞれのあいだにはかなりの差異があり、その関係性についてもまだ議論が続いている。そのうちホモ・エレクトス（「直立する人」）は、最初にアフリカを離れたホミニンとして区別されている。エレクトスの化石が中国（「北京原人」）、インドネシア（「ジャワ原人」）、ヨーロッパ、中東の各地で発見されているからだ。おそらくアフリカでの個体群が拡大するにつれ、新しい住処を捜し求めて移動していったものと思われる。

この集団移住が起こったころには、エレクトスの脳の大きさは現生人類とほとんど変わらないまでに大きくなっていた。骨格もほぼ現生人類と同じだが、顔はまだ平たくて顎が引っ込んでいた（顎は現生人類ホモ・サピエンスの独自の特徴である）。エレクトスの道具はつくりが複雑で、特に後期のエレクトスは複雑に削った精巧な石の斧や掻器をこしらえていた。また、エレクトスは人類の文化史における最も重要なできごとの一つを担ったのではないかとも目されている。すなわち火の使用だ。南アフリカのスワートクランスの洞穴で、エレクトスの化石が焼けた骨とともに見つかっているのだが、この骨はたいへんな高温で焼かれているため、付近の低木地帯の火事で燃えたものとは思われない。これは焚き火か炉床で調理された動物の残骸だと思われるのである。

ホモ・エレクトスは集団の規模の面だけでなく、寿命の面においても非常に成功した種だった。およそ一五〇万年ほど存在したのち、約三〇万年前にエレクトスは化石記録から消えた。しかし、エレクトスは二つの有名な子孫、ホモ・ハイデルベルゲンシスとホモ・ネアンデルターレンシスを残したと見られている。前者は「古いホモ・サピエンス」として知られ、後者はかの有名な「ネアンデルタール人」だ。どちらもホモ・サピエンスの亜種（異なってはいるが相互繁殖はできる個体群）に分類されることがあるが、どちらが現生人類の遺伝子プールに寄与しているのかはわからない。

アフリカのほかに、現在のドイツ、ギリシャ、フランスにも生息していたホモ・ハイデルベルゲンシスは、約五〇万年前に現れ、現生人類とホモ・エレクトスの双方の特徴をあわせもっていた。

ネアンデルタール人が現れたのはもう少し遅い二三万年前ごろで、こちらはヨーロッパと中東の全域に生息していた。彼らは大きな――なんと現生人類よりも大きな――脳を持ち、道具の作成に長け、熟練した狩人でもあった。一部の骨格には顔料の黄土の跡が残っており、いっしょに動物の骨や道具などの「副葬品」も見つかっていることから、ネアンデルタール人は死者を葬る儀式を持っていたと考えられている。これは人類の宗教の萌芽を感じさせる最初のものかもしれない。

しかし二万八〇〇〇年前ごろを境に、ネアンデルタール人の化石は消滅する。私は学生の時分、ネアンデルタール人がそのまま現生人類に進化したと教えられた。現在では、それはおそらく正しくないとされている。ネアンデルタール人に何が起こったかは、ヒトの進化における最大の不明部分だと言ってよい。彼らの消滅は、アフリカに起源を発する別の生き物が拡大したことと関係していたのかもしれない。その生き物こそが、ホモ・サピエンスである。すでに見たように、一五〇万年前ごろにはホモ・エレクトスがアフリカを出て、遠くインドネシアまで広がっていた。この種のなかに、いくつかの異なる「種族」があって、それらの個体群は何らかの形質の面で互いにほかと違っていた（たとえば中国のエレクトスは、ほかの個体群には見られないシャベルのような形状の門歯を持っていた）。そして約六万年前、すべてのホモ・エレクトスの個体群がいきなり消えうせ、それに代わって「現代的な身体構造」をした、現生人類とほぼ変わらない骨格のホモ・サピエンスの化石が現れるようになった。このあいだもネアンデルタール人はしばらく存在していたが、ジブラルタル海峡を見下ろす洞穴に最後の砦が見つかったあとは、同じく現代的なホモ・サピエンスに

取って代わられた。言い換えれば、ホモ・サピエンスはほかのすべてのホミニンを地球上から追いやったのである。

どうしてそうなったのか？　これには二つの仮説がある。一つはこれを進化的な交替と見る「多地域進化説」で、ホモ・エレクトス（ひょっとするとホモ・ネアンデルターレンシスも）が地球上のいくつかの地域でそれぞれ独自に、そのままホモ・サピエンスに進化したという見方である。これはアジアとヨーロッパとアフリカのすべてにおいて、自然淘汰が同じように働いたためだと考えられている。

もう一つのモデルは「出アフリカ説」という[47]。現代的なホモ・サピエンスがアフリカで発生したあと広まって、ホモ・エレクトスとネアンデルタール人との食糧争奪に勝ったか、あるいは彼らを殺したかして、両者に物理的に取って代わったとする説である。

遺伝学的な証拠と化石証拠は「出アフリカ説」を支持しているが、それで論争に決着がついたわけではない。なぜかといえば、これは突きつめると種族の重要性に行き着くからだろう。ヒトの個体群が分かれていく期間が長くなるほど、それぞれの遺伝的な違いはますます蓄積されていく。個体群が一〇〇万年以上にわたって分岐していったとする多地域説に従えば、ヒトの祖先がアフリカを出た時期を六万年前と少なめに仮定しても、人種間の遺伝的な違いは一五倍にもなるのだ。しかし種族については、また追って見ることにしよう。

いずれにしても、ホモ・エレクトスは全世界的に絶滅してしまったわけだが、どうやら初期のホ

ミニンの個体群の一つが、その期間をうまくかいくぐって生き延びたと思われるふしがある。これがヒトの系統樹においてもかなり奇妙な小枝なのだ。二〇〇三年にインドネシアのフローレス島で発見されたホモ・フローレシエンシスの個体には、即座に「ホビット」という愛称がつけられた。成体でも身長が一メートル足らずで、体重は二三キロほどしかなく、五歳児とほとんど変わらない大きさだったからである。体格に比例して脳も小さかった――アウストラロピテクス類と同じぐらいだった――が、歯と骨格はまぎれもなくホモ属のものだった。彼らは石器を使用し、島に生息していたコモドオオトカゲや小型のゾウを狩って常食にしていたと思われる。そして驚くことに、フローレシエンシスの化石の年代は古いものでも一万八〇〇〇年前にしかならない。これはネアンデルタール人が消滅した時期よりずっとあとであり、その二五〇年前には現代的なホモ・サピエンスがすでにオーストラリアまで達している。そうなると最も考えられるのは、フローレシエンシスがホモ・エレクトスの孤立した個体群で、フローレス島に移り住んだまま隔離されていたために、現代的なホモ・サピエンスの拡大に巻き込まれずにすんだということだ。フローレシエンシスは進化の袋小路にはまって消えてしまったと思われるが、ミニチュアの槍で小型のゾウを狩る小人の集団がつい先ごろまでいたかと思うと、これに魅了されずにはいられない。当然、このホビット族は広く人々の関心を集めてきた。

しかしフローレシエンシスの化石の性質については、いろいろと意見が分かれている。よく保存された頭蓋骨の一つを調べ、その小ささは単にホモ・サピエンスの個体が病気にかかっていたから

だと力説した研究者もいる。この個体はおそらく甲状腺ホルモン分泌の不足によるクレチン病を患っていて、その典型的な症状として、頭蓋骨と脳が異常に小さくなっていたのだろうという見方である。近年、手根骨の化石が分析されたところでは、ホモ・フローレシエンシスはやはりホミニンの純正な種であるとの見方が裏づけられているが、それでもまだ決着はついていない。

ともあれ、こうして発見された骨をずらりと並べて眺めてみて、そこにあるものは何かと考えれば、明らかにこれはサルのような祖先から始まった、ヒトの進化のまぎれもない証拠である。とはいえ、もちろんサルのような初期のホミニンから現代のホモ・サピエンスに到る一本の系統を連続的に描き出すことはできない。化石は時間的にも空間的にも点在していて、一連の点はまだ系譜になるように結びつけられてはいない。そして今後も、その系譜を完成させるだけの充分な化石は得られないのかもしれない。それでも、これらの点を図24のように年代順に並べてみれば、ダーウィンの予言したことがまさしくそこに表れている。サルのような姿の化石から始まって、時間とともにどんどん現代のヒトに似た化石になっていく。要するに、七〇〇万年前ごろにアフリカの東部か中央部でチンパンジーの祖先からわれわれの系統が分岐したこと、二足歩行が大きな脳よりもずっと前に進化したことは、どちらも事実なのである。ホミニンが進化した時期にはたいてい複数の種が同時期に存在し、ときには同じ場所で共存していた種まであるのもわかっている。ヒトの個体群の規模の小ささ、その化石化のありえないぐらいの難しさ（まず遺体が水に浸からなければならないし、そのあとすぐに堆積物で覆われなければならない）を考えると、現在これだけの記録がそ

ろっているのは驚くべきことなのである。これらの化石を概観すれば――あるいは図25を一瞥するだけでも――人間が進化したことを否定するのは不可能ではなかろうか。

しかし、それでも否定する人はいる。ヒトの化石記録を前にすると、創造論者は極端なまでに、いや、ほとんど滑稽なまでに見方をねじまげて、明らかな事実をあくまでも認めまいとする。実際、彼らはできるかぎりこの件には触れようとしない。しかしどうしても向き合わざるをえなくなると、彼らにとってはきっぱり分かれている二つのグループ――ヒトとサル――にあっさりホミニンの化石を振り分けて、このグループのあいだには埋めがたい大きな隔たりがあるのだと主張する。こうした態度は、彼らの宗教観にもとづいた見方を反映するものだ。つまり、一部の種がほかの種から進化したことは認めるとしても、人間だけはそうではなく、創造という特殊な行為の産物だというのである。だが、これがまったくの妄言であるのは明らかだ。なにしろ創造論者自身のあいだで、どの化石が「ヒト」で、どの化石が「サル」なのか、見解を一致させられていないのである。たとえばホモ・ハビリスとホモ・エレクトスの標本を、ある創造論者は「サル」に分類し、別の創造論者は「ヒト」に分類する。ホモ・エレクトスの標本をあるページではサルとして記述しながら、別のページではヒトとして記述している本さえある[48]！　皮肉にも、創造論者が化石を一定に分類できないことこそが、これらの化石の中間性を何よりも如実に表している。

では、こうしたヒトの進化を促してきたものは何なのだろう。進化的変化を証拠立ててみせるのは比較的容易でも、その背後にある推進力を理解するのはつねに難しい。われわれがヒトの化石記

録に見るものは、複雑な適応が外見に表れたかたちでしかない。直立した姿勢にしろ、形態の変わった頭蓋骨にしろ、それができるまでには多くの身体構造上の変化が絡んでいる。そこに自然淘汰が働いていたことは疑いようもない。だが、それはどういう淘汰だったのだろう。大きくなった脳、直立した姿勢、小さくなった歯に、どういう繁殖上の利点があったのか？　しかしおそらく、確実なところは永久にわからない。そこそこ可能性のありそうな答えを推測するしかないわけだが、それでもヒトが進化した環境を知ることで、その推測に多少の肉づけを与えることはできる。一〇〇〇万～三〇〇〇万年前に、アフリカの東部と中央部で起こった最も重大な環境的変化といえば、これは旱魃である。このホミニンの進化の決定的な時期に、気候は次第に乾燥していき、そのあとは一転して旱魃と降雨が交互に訪れる不安定な時期が続いた（これは花粉とアフリカの塵が風に飛ばされて海に沈み、そこで堆積物に埋まって保存された結果からわかっている）。その乾期のあいだに雨林が消えて、代わりに開けた住環境が広がった。サバンナ、草原、疎林、砂漠の低木林などである。これによって舞台は整い、ヒトの進化の第一幕が始まった。

多くの生物学者は、こうした気候と環境の変化が、最初に進化したホミニンの重要な形質、すなわち二足歩行となんらかの関係をもっているのではないかと感じている。従来の一般的な見方では、二足歩行を始めたことにより、ヒトはこちらの森からあちらの森へと、新しく開けた住環境のなかを効率的に移動できるようになったとされている。だが、これはどうもおかしい。前肢を地面につけての四足歩行と二足歩行を比較研究してみると、どちらの移動様式でもエネルギーの消費総量は

大して変わらないのだ。しかし、これ以外にも直立歩行が淘汰において有利だった理由はいくつも考えられる。たとえば直立歩行によって手が自由になったため、新たに食料となった肉や塊茎などを集めたり運んだりできるようになったのかもしれない（この見方だと、ヒトの歯が小さくなり、手先が器用になっていった理由も説明できる）。また、直立歩行になれば、体が高温に対処するうえでも好都合だろう。体を地面から起き上がらせておけるので、太陽にさらされる体表面が少なくなるからだ。実際、ヒトはほかのどのサルと比べても汗腺がはるかに少ない。それに体毛は汗の蒸発による冷却作用を妨げる。だからわれわれは「裸のサル」という独自の地位を築いているのかもしれない。さらに「海洋性サル」という信じがたいような説まであって、初期のホミニンは大半の時間を水中で食物をあさるのに費やしており、そのとき頭を水中から出しておくために直立姿勢が進化したと説明されている。ジョナサン・キングドンが二足歩行について論じた『下等な起源』（*Lowly Origin*）には、さらにいくつかの仮説が紹介されている。もちろん、こうした進化の推進力はどれも互いに無関係ではない。いくつかがともに働きあっていた可能性も充分にある。ただし残念ながら、いまのところ明確な区別はついていない。

脳の容量が大きくなっていった進化についても同じことだ。この適応についての従来の説明は、二足歩行の進化によって両手が自由に使えるようになったため、ホミニンは道具を作れるようになり、その結果、より複雑な道具をイメージしてこしらえられるように脳を大きくする選択が働いた、というものである。最初の道具が現れた時期は、ちょうど脳が大きくなりはじめた時期とほぼ同じ

なので、その点はこの仮説にとってプラスである。しかし、この仮説はほかの淘汰圧を無視している。脳をより大きく、より複雑にする淘汰圧には、たとえば言語の発達、原始社会での複雑な心理的やりとり、将来設計など、さまざまな要素があっただろう。

このように、われわれがどのように進化したかについては多くの謎がある。だが、その謎にまぎらわされて、われわれが実際に進化したという明白な事実を忘れてはならない。たとえ化石がなかったとしても、比較解剖学から、発生学から、痕跡器官から、さらには生物地理学から、証拠はいくつも出揃っている。すでに見てきたように、魚のような形状の胚、死んだ遺伝子、胎児を覆う一時的な体毛、われわれの粗悪なデザインなど、これらすべてがわれわれの起源を立証する。化石記録はそれらの仕上げのようなものなのだ。

われわれの遺伝的遺産

自然淘汰がなぜヒトをほかのサルと違うものにしたかはまだわからなくても、どのような種類のいくつの遺伝子がその違いを生んでいるかについては解明できるのではないか?——というわけで、「人間らしさ」を生む遺伝子は進化生物学の聖杯のようなものになっており、多くの研究所がその聖杯探しに参加してきた。この発見に最初に挑んだのが一九七五年、カリフォルニア大学のアラン・ウィルソンとメアリー＝クレア・キングによって行なわれた研究で、その結果は驚くべきもの

だった。ヒトとチンパンジーそれぞれから採取したタンパク質の配列を調べてみると、その二つの違いは平均わずか一パーセントしかなかったのである（その後の最新研究でもこの数字はほとんど変わっていないが、違いは約一・五パーセントまで上がっている）。キングとウィルソンはこれを見て、ヒトと、その最も近い親戚のあいだには、驚くほどの遺伝的類似性があるのだと結論した。だとすると、ほんのわずかな遺伝子の変化が、ヒトとチンパンジーとの決定的なまでの進化の違いを生んだのではないか、と彼らは推測した。この結果は世間からも科学界からも大変な反響を呼んだ。つまるところ、「人間らしさ」はごく一握りの決定的な突然変異にあったのだと言われたも同然のように感じられたからである。

しかし近年の研究で、われわれの進化上のいとことの遺伝的な類似性は、最初に思われたほどは高くないことがわかっている。たとえば、こんなふうに考えてみよう。タンパク質の配列における一・五パーセントの違いとは、ヒトとチンパンジーとで同じタンパク質（たとえばヘモグロビン）を並べてみたときに、平均してアミノ酸一〇〇個につき一個だけに違いが見つかるということだ。しかしタンパク質は一般的に、数百個のアミノ酸からなっている。したがって三〇〇個のアミノ酸が連なったタンパク質における一・五パーセントの違いとなれば、タンパク質の配列すべてのうちの約四個が違っている計算になる（たとえて言えば、このページの文字のたった一パーセントを変えただけで、文章の一パーセントよりもずっと多くが変わってしまう）。つまり、よく引き合いに出されるヒトとチンパンジーとの一・五パーセントの違いというのも、実際にはそのイメージより

大きいのである。少なくとも一個のアミノ酸で、ヒトのタンパク質の一・五パーセントよりずっと多くがチンパンジーの配列と違ってきてしまう。しかもタンパク質は体の組成と維持になくてはならないものだから、たった一個の違いがきわめて重大な影響を及ぼすこともある。

ヒトとチンパンジーのゲノムがようやく解読された現在では、この二つの種の共有するすべてのタンパク質の八〇パーセント以上に、少なくとも一個のアミノ酸の違いがあることが直接わかるようになっている。ヒトのゲノムにはタンパク質をつくる遺伝子が約二万五〇〇〇個あるので、換算すれば、二万個以上の遺伝子の配列に違いがあることになる。これはちょっとした差異などではない。明らかに、「人間らしさ」にはかなりの数の遺伝子が関わっている。さらに分子進化学者の近年の研究で、ヒトとチンパンジーの違いは遺伝子の配列にあるだけでなく、遺伝子の有無にもあることがわかっている。ヒトに存在する遺伝子の六パーセント以上が、チンパンジーにはどんなかたちででも見つからないのである。ヒトにおいては発現している一四〇〇個以上の新しい遺伝子も、チンパンジーでは発現していない。ヒトとチンパンジーが共有する多くの遺伝子のコピーの数でも、ヒトとチンパンジーは違っている。たとえば口内で働く唾液酵素のアミラーゼは、でんぷんを分解して消化のしやすい糖に変える。チンパンジーにはこの遺伝子のコピーが一つしかないが、ヒトは個体によって二～一六個、平均で六個のコピーをもっている。おそらくこの違いも自然淘汰の結果である。ヒトの祖先の常食には、サルが食する果実よりも豊富にでんぷんが含まれていたと思われるから、ヒトが食物を消化しやすくなるように淘汰が働いたに違いない。

これらを考えあわせると、ヒトとチンパンジーとの遺伝的な違いはさまざまなかたちで生じる。遺伝子の作るタンパク質だけでなく、遺伝子の有無にも、遺伝子コピーの数にも、そして発達過程のいつどこに遺伝子が発現するかにも、変化が生じているわけだ。これではもはや、たった一種類の突然変異、たった数個の重要遺伝子の変化によって、「人間らしさ」が決まるなどとは言っていられない。しかし考えてみれば、そう驚くことでもないのだ。ヒトを最も近い親戚から隔てている形質はいくつもある。違いは身体構造にあるだけでなく、生理にも（ヒトは最も汗かきなサルであり、メスが排卵を隠す唯一のサルである）[49]、行動にも（ヒトは一夫一妻関係をつくるが、ほかのサルはつくらない）、言語にも、脳の大きさや構成にもある（われわれの脳内の神経接続には確実に多くの違いがあるはずだ）。いくらわれわれが親戚の霊長類に全体的に似ているとはいっても、サルのような祖先からヒトを進化させるには、かなりの遺伝的変化が必要だったはずである。

では、ヒトをヒトにした特定の遺伝子については何もわかっていないのか？　いまのところ、わかっていることは大してない。「ゲノムスキャン」を使ってヒトとチンパンジーのＤＮＡ配列をまるごと比較すれば、分岐したヒト側の枝において急速に進化した遺伝子の「部類」を抽出することはできる。偶然かどうか、それらの遺伝子が関わっている分野には、免疫系、配偶子形成、細胞死、そして何より興味深いことに、知覚と神経形成がある。だが、単一の遺伝子に照準を合わせて、その遺伝子における突然変異が実際にヒトとチンパンジーとの違いを生み出したかどうかを実証するとなると、これはまったく別の話となる。そのような遺伝子の「候補」ならあって、ヒトの発話の

出現に関わっていたかもしれない遺伝子（FOXP2）などが考えられるが[50]、決定的な証拠はない。そして、これからもずっとそうかもしれない。何らかの遺伝子がヒトとチンパンジーの違いを生んだとする決定的な証拠を得るには、一方の種からとった遺伝子をもう一方の種に移してどんな違いが生じるかを見るしかないが、そのような実験は誰だってやりたいとは思わない[51]。

種族という厄介な問題

世界中を旅してみれば、人はところ変われば姿も変わることが誰でもすぐにわかるだろう。たとえば日本人をフィンランド人と間違える人はいない。目に見えて違ういろいろなタイプの人間がいるのは明らかなことだ。しかし、ヒト生物学においては種族の問題ほど大きな地雷原はない。ほとんどの生物学者はできるかぎりそこを遠巻きにする。その理由は、科学の歴史を一瞥すればわかる。現代生物学が生まれて以来、種族の分類はつねに人種的な偏見と隣りあわせだったのだ。一八世紀に動物を分類したときに、カール・リンネはこう記した――ヨーロッパ人は「法に支配され」、アジア人は「意見に支配され」、アフリカ人は「気まぐれに支配され」ている。スティーヴン・ジェイ・グールドはすばらしい著作『人間の測りまちがい』のなかで、前世紀における生物学者と人種のとんでもない関係を列記している。

こうした人種差別の不快なエピソードに対して、一部の科学者は大げさに反応してきた。ヒトの

種族には生物学的な実体などなく、単なる社会政治学的な「構成概念」であって、科学的な研究に値するものではないというのだ。しかし生物学者にとって、種族は――それがヒトに適用されないかぎり！――まったくもって問題のない立派な用語である。種族（「亜種」や「生態型」とも称する）とは、地理的に分離していて、なおかつ一つ以上の形質において遺伝的にも違っている、同一種内の別の個体群のことを指すのだ。動物にも植物にもたくさんの種族があり、毛皮の色だけが違うマウスの個体群、大きさと歌が違うスズメの個体群、葉の形状が違う植物の品種、といった具合に区別されている。この定義に従えば、ホモ・サピエンスには明らかに種族がある。そしてその事実こそ、われわれもほかの進化した種と変わらないことを示すもう一つの証拠なのである。

ヒトにさまざまな種族があるということは、それぞれのあいだに遺伝的な違いが生じられるほど長い期間、ヒトの個体群が地理的に分離していたということだ。だが、その違いはどれほどのもので、ヒトのアフリカからの拡大について化石からわかる事実とも合致するものなのだろうか？　そして、その違いを生むのにどのような淘汰が働いたのだろうか？

進化から予想されるとおり、ヒトの身体的な差異は、入れ子構造になっているグループのなかで生じる。そして種族の正式な区分をしようとする雄々しい努力もあったとはいえ、結局のところ、特定の種族を規定するラインをどこに引くかはまったく随意的なものである。種族のあいだに明確な境界線はない。人類学者が認めている種族の数からして、三～三〇以上まで、見解によってばらつきがある。遺伝子を調べても、種族のあいだに明確な違いがないことは、なおいっそう明らかだ。

最新の分子技術によって解明された遺伝的差異のほぼすべては、これまで種族を区分するのに一般的に用いられてきた肌の色や毛髪のタイプといった身体的形質の古典的な組み合わせと、ほとんど相関関係にないのである。

この三〇年のあいだに蓄積されてきた直接的な遺伝子上の証拠から、ヒトのすべての遺伝的差異のうち、身体的風貌の違いによって認められる「種族」間の違いに現れているのは、全体の一〇～一五パーセントにすぎないことがわかっている。残りの遺伝的差異、すなわち全体の八五～九〇パーセントは、各種族内の個体のあいだに現れている。

これはつまり、ヒトの遺伝子の型（対立遺伝子）は種族によってまったく違っているわけでもまったく同じなわけでもないということだ。むしろ、たいていは同じ対立遺伝子を持っているのだが、頻度が違うのである。たとえばＡＢＯ式血液型の遺伝子は、Ａ、Ｂ、Ｏという三つの対立遺伝子を持っている。ほぼすべてのヒトの個体群はこの三つの型を持っているが、その型がグループによって違う頻度で存在している。たとえばＯ対立遺伝子は、日本人で五四パーセントの頻度、フィンランド人で六四パーセントの頻度、南アフリカのクン族で七四パーセントの頻度、ナバホ族では八五パーセントの頻度となる。これはＤＮＡによく見られる典型的なタイプの違いだ。ある人の出自を一個の遺伝子からでは判別できなくても、多くの遺伝子の組み合わせを見れば必ず判別できるに違いない。

結局、ヒトというのは遺伝子レベルにおいては驚くほど似た一群なのだ。それも考えてみれば当

然で、現生人類がアフリカを出てから、まだ六万～一〇万年しか経っていない。そのあいだにヒトは世界中の隅々まで分散し、広範囲に及ぶさまざまな個体群に分かれ、比較的最近までは遺伝的にも隔絶していたが、それでも遺伝的差異が生まれるには時間がまだまだ足りなかったのである。

それなら、ヒトの種族など無視していいのかと思われるかもしれないが、そういうわけでもない。種族は決して単なる心理的な構成概念ではないし、種族間のわずかな遺伝的差異は決してどうでもいいものではない。種族間の違いのなかには、地域によってどういう淘汰圧が働いたかについての明らかな証拠となるものもあり、その違いは医療において有効利用ができる。たとえば鎌状赤血球性貧血という病気は、赤道アフリカ出身の祖先を持つ黒人において最も多く発症する。鎌状細胞の突然変異体の持ち主は、熱帯性マラリア（最も致死率の高いマラリア）に対してある程度の抵抗力を持つため、この突然変異体の頻度がアフリカ人やアフリカ由来の個体群のあいだで高くなっているのは、マラリアに対する自然淘汰の結果として充分にありえることだ。それからテイ＝サックス病という遺伝性の致死性疾患は、中部・東部ヨーロッパのユダヤ人とルイジアナ州のケージャン人のあいだに多く見られるが、これはおそらく、祖先の小規模な個体群のなかでの遺伝的浮動を通じて頻度が高くなっていったためだろう。また、種族によって対立遺伝子の頻度に違いがあるからには、臓器提供者を探すときには種族を考慮に入れるべきだということになる。適切な臓器提供者を見つけるには、いくつかの「互換遺伝子」が一致していなくてはならないからだ。

種族間の遺伝的差異のほとんどは、取るに足らないものである。しかしそれ以外の部分、たとえ

ば日本人とフィンランド人、マサイ族とイヌイットの身体的な違いなどは、やはり目を見張らざるをえないものだ。つまり個人間の遺伝子配列の全体的な違いは小さくても、その各グループのあいだでは、目に見えるかたちのさまざまな形質、たとえば肌の色や髪の色、体格、鼻の形状などに劇的なまでの違いがあるわけで、これはかなり興味深い状況である。こうした明らかな身体的違いは、ゲノム全体の特徴ではない。それならどうしてヒトの個体群のあいだで生じたわずかな差異が、そのような目に見えて違うとわかる形質に集中したのだろう？

それらの違いのいくつかは、初期の人類が住んでいた個々の環境への適応だと考えると納得がいく。熱帯地方に住むグループは肌の色が濃いことによって、致死性の黒色腫を生じさせる強烈な紫外線から守られるだろう。一方、高緯度地方に住むグループは肌の色が薄いことによって、くる病や結核の予防に役立つビタミンDを合成するのに必要な日光を体内に取り込める。[52] だが、アジア人の蒙古ひだ（黄色人種に特徴的な目の形状で、上まぶたから眼頭部分に覆いかぶさっている膜状になった皮膚）や、コーカソイド（白色人種）の長い鼻などはどうなのだろう？　これらは、特に環境との明白なつながりはないように見える。一部の生物学者の説によると、身体的風貌に影響を与える遺伝子に人種間で大きな差があることについては、考えられる理由が一つある。身体的風貌は、すなわち将来の伴侶に一目で査定されるような要素なのだから、そこに働いているのは性淘汰であるに違いない。

遺伝的差異の特徴的なパターンを別にしても、性淘汰が種族の進化の強い推進力になっていると考える根拠はほかにもある。ヒトは複雑な文化を進化させてきたという点で、もろもろの種のなか

でもユニークな存在である。われわれは言語によって、考えや意見を広く普及させるという驚くべき能力を獲得してきた。ヒトのグループは、自分たちが遺伝的に進化するよりもずっと速く自分たちの文化を変えられる。だが、先に変わった文化が遺伝的な変化を生むこともできるのだ。たとえば、伴侶に求める好ましい外見についての一定の見解や流行が大いに広まったとしたらどうだろう。あるアジアの女帝が、まっすぐな黒髪と切れ長の眼をもつ男性に対して強い好みを持っていたとする。それが流行になることによって、彼女の好みは臣下の女性すべてに文化的に広まっていくだろう。そして時が経つうち、いつのまにやら丸い眼をした巻き毛の個体は、まっすぐな黒髪と切れ長の眼をもった個体にほとんど取って代わられてしまうのである。このような「遺伝子と文化の共進化」――文化的環境における変化からの影響で、遺伝子に新しいタイプの淘汰が働くという考え――があることを考えると、身体的な違いに性淘汰が働いているというのも、なるほど頷けるのである。

しかも、たいていの場合、性淘汰はとてつもなく速く作用する。最も遅くにアフリカを出た祖先たちが各地に移り住んだあと、その身体的形質を急速に進化させて差異化した推進力としては、理想的な候補だろう。もちろん、これらすべては推測にすぎないし、検証もほぼ不可能だが、いくつかの不可思議なグループ間の違いをとりあえず説明することはできている。

しかしながら、種族に関して最も物議をかもしやすい点は、個体群のあいだの身体的な違いではなく、行動の違いにある。進化はある特定の種をほかの種よりも賢くさせたり、運動能力を高くさ

せたり、用心深くさせたりしたのだろうか？　こうした問題については特に慎重を期する必要がある。この件に関して充分な証拠もないまま主張をしようものなら、人種差別に科学のお墨付きを与えることにもなりかねないからだ。では、科学的データはこの件についてどう言っているのか？　じつのところ、ほとんど何も言っていない。もちろん個体群によって行動が異なったり、知能指数や能力が異なったりすることもあるかもしれないが、それらの違いは遺伝子によらない、環境の違いや文化の違いの産物かもしれず、その可能性を排除するのはなかなか難しい。ある特定の人種間の違いが遺伝子によるものなのかどうかを確定したければ、そうした外部的な影響を排除しなければならない。そのような研究をするには、制御された実験が必要となる。つまり異なる民族の幼児を親から引き離して、理想的な（あるいはランダムに選ばれた）環境で育ててみるしかない。そこで行動上の違いが残れば、それは遺伝的なものというわけだ。倫理にもとるという理由から、こうした実験は組織的に行なわれてはいないが、はからずも異文化間での養子縁組が、文化の行動への影響はたしかに強いことを伝えている。心理学者のスティーヴン・ピンカーが記しているように、「科学技術の未発達な地域から子供を養子にもらっても、その子供は何の問題もなく現代社会に適合するだろう」。もしこのとおりなら、人種が違っても行動に大きな生来的違いはないということになる。

私の考えでは――情報にもとづいた一つの推測でしかないが――ヒトの種族は若すぎて、知性や行動に重要な違いを進化させるまでには到っていないだろう。また、自然淘汰や性淘汰がそのよう

な違いを促す理由も思いつかない。次の第9章で、あらゆるヒトの社会に見られる「普遍的」な行動を見ていくが、記号言語、子供の人見知り、嫉妬、噂話、贈答といった多数の普遍的な行動になんらかの遺伝的基盤があるのなら、それがすべての社会に存在するということは、やはり進化はヒトのグループ間に、重大な心理的相違を生んではいない可能性が高まってくる。

肌の色や毛髪のタイプといった特定の形質は個体群によって分かれていても、それらはむしろ特殊なケースで、地域による環境の違いや、外見に対する性淘汰によって促されてきたのではないかと思われる。DNAのデータに現れているように、ヒトの個体群のあいだの遺伝的差異は、全体的に見ればとても小さい。一皮むけば、われわれはみな兄弟姉妹だとはよく言うが、これはただの耳障りのいい常套句ではなかったということだ。しかし、アフリカで最も遅く生まれたわれわれの短い進化期間を考えれば、それは当然のことなのである。

進化の現在

自然淘汰は人種のあいだに重要な違いを生んでこなかったと見られるが、民族内の個体群のあいだにはいくつかの興味深い違いを生んできた。それらの個体群はかなり若いのだから、これは淘汰が最近になっても人間に働いている明らかな証拠である。

その一つの事例は、われわれの乳糖消化能力に関するものだ。ラクターゼという酵素がこの乳糖

を分解して、もっと吸収されやすいブドウ糖とガラクトースに変える。われわれヒトには生まれつき乳を消化する能力があるが、それはもちろん、昔から乳が幼児の主食であるためだ。しかし乳離れしてしまうと、ヒトは次第にラクターゼを作らなくなる。そして最終的に、ヒトの多くは乳糖を消化する能力をすっかり失って「乳糖不耐症」になり、乳製品を食べると下痢をしたり、腸にガスがたまったり、激しい腹痛を起こしたりするようになる。乳離れしたあとにラクターゼがなくなってしまうのは、おそらく自然淘汰の結果だろう。大昔の祖先は乳離れしてしまえば二度と乳を飲むことなどなかったのだから、必要もないのにコストのかかる酵素をつくる理由がない。

だが、一部のヒトの個体群では、各個体がおとなになってもずっとラクターゼを作りつづけるので、よその個体には得ることのできない豊富な栄養源を享受できる。このようなラクターゼの持続は、いまも昔も「牧畜民」、すなわち牛を飼っている個体群に多く見られることがわかっている。たとえばヨーロッパや中東の一部の民族、アフリカのマサイ族やツチ族などがそれにあたる。遺伝子解析をしてみると、これらの個体群におけるラクターゼの持続は、この酵素を制御するＤＮＡの単純な変化に依存していて、そのため幼児期を過ぎても関連遺伝子がオンのままになっているのだ。この遺伝子には二つの対立遺伝子――「耐性」（オン）型と「不耐性」（オフ）型――があって、両者はＤＮＡコードの文字が一つ違っているだけだ。耐性型遺伝子の頻度は、個体群が牛を飼っているかどうかと密接な相関関係にある。ヨーロッパ、中東、アフリカの牧畜民においては高いのだが（五〇～九〇パーセント）、牛乳よりも農作物に依存しているアジアとアフリカの個体群においては

非常に低い（一～二〇パーセント）。

考古学的証拠から、ヒトは七〇〇〇～九〇〇〇年前にスーダンで牛を飼いはじめ、数千年後にその習慣がサハラ以南のアフリカとヨーロッパに広まったとされている。この事例のすばらしいところは、「耐性型」遺伝子が突然変異によっていつ生じたかをＤＮＡ配列から決定できることだ。その時期は三〇〇〇～八〇〇〇年前で、牧畜民が出現した時期と驚くほど合致するのである。さらにすばらしいことに、七〇〇〇年前のヨーロッパ人の骨格から抽出したＤＮＡを調べてみると、彼らは乳糖不耐症だった。そのころはまだ牧畜をしていなかったとすれば、当然予想される結果である。

この乳糖耐性の進化も、遺伝子と文化の共進化のすばらしい実例だ。純粋に文化的な変化（おそらくは肉を食べるため、牛を飼うようになったこと）が進化の新たな機会を生む。その牛を利用して乳を得る能力が進化するのだ。新しい豊かな食料源がいきなり得られるようになって、耐性型の遺伝子をもっていた祖先は、不耐性型の遺伝子を持つ祖先に対して繁殖面でかなり優位に立てたはずだ。この優位性は実際に計算できる。耐性型の遺伝子が現代の個体群に見られる頻度に達するまでに、どれだけ急速に増加するかを見ればいい。その結果、耐性のある個体は耐性のない個体に比べ、平均四～一〇パーセント多く子をつくっていたはずだとわかった。これはかなり強力な淘汰である。

ヒトの進化を教えている教師なら、誰でも一度はこう訊かれるだろう――われわれはいまでも進化しているのかと。乳糖耐性やアミラーゼ遺伝子の複製例に現れているように[53]、この数千年のあい

だも確実に淘汰は働いてきた。だが、現在はどうなのか。これに確かな答えを出すのは難しい。間違いなく言えるのは、かつてわれわれの祖先に働きかけていた多様な種類の淘汰は、もはや適用されていないということだ。栄養や衛生や医療の向上により、祖先を死にいたらしめていた多くの病気や悪条件が解決されて、自然淘汰の有力な原因だったものが取り払われた。イギリス人遺伝学者のスティーヴ・ジョーンズによれば、五〇〇年前のイギリスの幼児は五〇パーセントしか繁殖年齢まで生きられなかったが、その数字が現在では九九パーセントまで上がっているという。そして実際に生き延びられれば、ヒトの進化史の大部分においては淘汰によって容赦なく切り捨てられていたような人々も、たいていは医療介入によって普通の生活を送れるようになっている。だが、かつてのアフリカのサバンナでは、目が悪くて狩りができないために、あるいは歯が悪くてものを噛めないために、何人が命を落としていただろう（私などは確実に不適合者の一人だ）。抗生物質がなかったら確実に死ぬような感染症に、いったい何人がかかっていただろう。文化的な変化によって、われわれは遺伝的には多くの面で、下り坂を進んでいるのかもしれない。かつては有害だった遺伝子も、もはや悪さをしなくなった（眼鏡や優秀な歯科医さえ見つければ、簡単に「悪い」遺伝子の埋め合わせができるのだ）。それでも遺伝子はそのまま個体群のなかで生きている。

逆に、かつては有益だった遺伝子が、いまでは文化的変化によって破壊的な影響を及ぼすようになっていることもある。たとえば、われわれの甘い物好きや脂肪分好きは、祖先においてはとても適応的だったかもしれない。そのようなごちそうは、かつてはめったに得られない貴重なエネル

ギー源だったからだ。[54] だが、その貴重な食料が、いまでは容易に手に入る。その結果、われわれの遺伝的遺産がわれわれに虫歯や肥満や心臓疾患をもたらしているわけだ。同じように、こってりした食物から脂肪を摂取しようとする傾向も、かつてはやはり適応的だったのだろう。生息地の食物量がさまざまだった時代には、ごちそうと飢えが交互に訪れるから、食糧難の時期に備えてカロリーを蓄えておける個体に有利に淘汰が働いたはずである。

では、われわれはもう本当に進化から降りてしまったのか？　ある程度までは、そうだ。しかし、おそらくわれわれはいまも適応を続けている。現代の環境が新しい種類の淘汰を生み出しているに違いないからだ。繁殖をやめる前に死んでしまう人がいるかぎり、そして他人より多くの子を残す人がいるかぎり、われわれを改良する自然淘汰が働く機会はつねにあることを忘れてはならない。そして生存能力や子を残す能力に影響を及ぼす遺伝的多様性があるかぎり、きっとそれが進化的変化を促すだろう。それは確実にいまも起こっている。一部の西洋の個体群では繁殖年齢前の死亡率が低くなっているが、ほかの多くのところではまだ高く、特にアフリカでは子供の死亡率が二五パーセントを超えている。その死亡の原因は、たいていコレラや腸チフスや結核などの感染症だ。それ以外にも、マラリアやエイズなど、ほかの病気が多くの子供や繁殖年齢の大人を死なせつづけている。

死亡の原因があるように、その原因を緩和する遺伝子もある。一部の酵素の変異型対立遺伝子は、ヘモグロビンの場合（特に鎌状細胞の対立遺伝子）のように、マラリアに対する抵抗力を与える。

また、一つの突然変異遺伝子――ＣＣＲ５デルタ３２という対立遺伝子――がその持ち主に、エイズウィルスへの感染に対する強力な保護をもたらすこともある。もしエイズが今後も深刻な死亡原因でありつづけるなら、この対立遺伝子の頻度が感染者集団のあいだできっと高まっていくと予言できる。それが進化であり、バクテリアの抗生物質耐性のように確実に起こるはずのものなのだ。そしてこれ以外にも、まだ完全に把握されていない死亡原因は間違いなくあるだろう。毒素、汚染、ストレスなどもそうだ。繁殖実験から何か学べることがあるとするなら、それはほぼすべての種に、どんなかたちの淘汰にも対応できる遺伝的多様性があるということだ。少しずつ、厳然と、目に見えないまま、われわれのゲノムは多くの新しい死亡原因に適応している。だが、すべての原因にではない。肥満や糖尿病や心臓病など、遺伝的要因と環境的要因の両方が絡む疾患は、それが死亡につながるとしても、そのとき患者はすでに繁殖をやめているケースが多いため、淘汰には対応しないとも考えられる。これからは適者生存（フィッテスト）とともに肥満者生存（ファッテスト）も考えなくてはならない。

しかし、病気に対する抵抗力は重要な割に、あまり気に留められない。人々が知りたがるのは、自分がもっと強くなるのか、もっと賢くなるのか、もっと可愛くなるのかということだ。それはもちろん、そうした形質が繁殖の差に結びつくかどうかによるのだが、これについては何もわからない。それに実際、大して重要でもない。われわれの急速に変化する文化においては、社会の進歩が遺伝子のどんな変化よりも人間の能力を高めてくれる――ただしもちろん、望ましい精子と卵子をあらかじめ選んだりといった遺伝子操作によって進化をいじくりまわそうとしないかぎりは、とい

うことだが。

ヒトの化石記録からわかったことと、近年の人類遺伝学での発見とを考えあわせれば、われわれが進化した哺乳類であることは確実である。たしかに非常によくできた、誇るに足る哺乳類だが、同時にそれは、過去数十億年のあいだにありとあらゆる生物をつくり変えてきたのと同じプロセスによってできあがった哺乳類だ。ほかのすべての種と同様に、われわれも進化の最終製品ではない。遺伝的な進歩は遅くなっているかもしれないが、それでも進行中であることはたしかなのだ。そして祖先のサルからずいぶん遠くまで来てしまったとはいえ、われわれのなかにある遺産は明らかにわれわれが何であったかを示している。ギルバートとサリヴァンは、人間なんて毛の抜けたサルだと茶化したが、ダーウィンはそれをもっとまじめに、おもしろくはないがとても叙情的に表現している。そしてそれは、たしかに真実なのである。

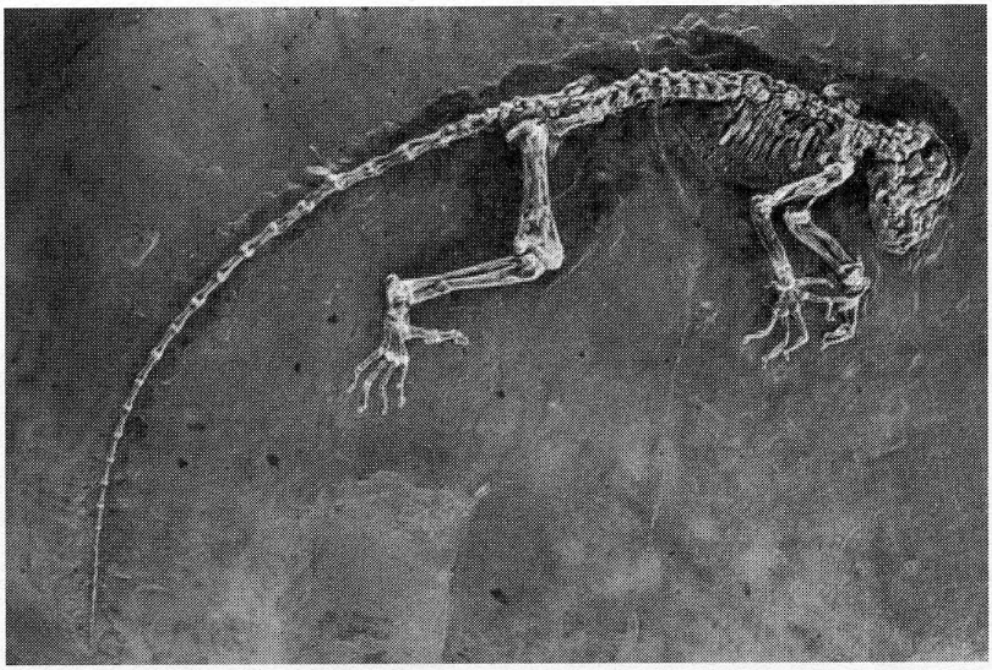
私はもてるかぎりの力を尽くして証拠を挙げてきた。われわれはこれを認めなければならない。少なくとも私にはこうとしか思えないのだ。人間には数々の気高い資質がある。最も卑しいものでも思いやれる同情心があり、他の人間にだけでなく最もつまらない生物にまで示してやれる慈悲心があり、太陽系の動きや構成まで見抜ける神のごとき知性がある。こうしたあらゆる高貴な力を持ってはいるが、それでも人間はその身体の構造に、消すことのできない刻印を抱えている。自らの下等な起源を示す刻印を。

ミッシング・リンクを埋める二つの発見・解析

本書の原書出版後の二〇〇九年に空白時期のミッシング・リンクを埋める二つの発見・解析が報告されている。

一つは、四七〇〇万年前の始新生に生息していた、キツネザルと真猿類の分岐の途上にある霊長類の化石である。ダーウィニウス・マシラエと命名された化石は、「ルーシー」にならった「イーダ」という愛称を持つ。この化石は個人の化石コレクターにより、一九八二年にドイツのメッセルピット（始新生の頃は熱帯多雨林地帯だったと考えられている）で発掘され、その後化石見本市に出され、ノルウェー・オスロ大学の古生物学者ヨルン・フールムの目にとまり、重要性を見抜かれる。この化石はオスロ自然史博物館に来た後、国際的な研究グループが組織され、五月に発表された。この経緯は『ザ・リンク』（早川書房）に詳しい。

もう一つは、四四〇万年前の、「最古の人類」と称されるアルディピテクス・ラミダス（ラミダス猿人）の骨格の全貌である。アメリカ、エチオピア、日本などの国際的研究チームにより解析され、《サイエンス》誌に一〇月に報告された。「ルーシー」などのアウストラロピテクス・アファレンシスは三二〇万年前に生息したと考えられており、それよりも一二〇万年古い。アルディピテクス・ラミダスは一九九二年にエチオピアのアラミスで歯が発見され、その後



化石「イーダ」

一九九四年から骨格の破片も見つかり、全身骨格の復元・分析作業が続けられていた。

頭蓋がきゃしゃで、犬歯が小さいことなどから成人女性と推定される「アルディ」と名づけられた骨格は、頭蓋、腕、足、骨盤など約一二〇点からなる。生存時の身長は約一二〇センチ、体重約五〇キロと推定された。

解析結果によれば、アルディピテクス・ラミダスは樹上性で、直立二足歩行はできたが、アウストラロピテクス・アファレンシスほど二足歩行に適応していなかったと見られる。もっぱら樹上生活しつつ、時折、地上に降りて二足歩行していたらしい。

アルディの脳サイズは、アウストラロピテクス・アファレンシスより小さい三〇〇～三五〇ccと推定され、チンパンジーと大差ない。

（日経ＢＰ社出版局）

第9章

進化ふたたび

一億世紀の眠りから覚めて、ついにわれわれが目を開いたとき、そこは豊かな色彩と無数の生命にあふれた、なんとも豪勢な惑星だった。もう数十年もすれば、われわれはふたたび目を閉じなければならない。その日光のなかでの短い時間を、この宇宙を理解し、どうしてこのような場所で目覚められたかを理解することに費やすというのは、じつに高貴な、ためになる過ごし方ではなかろうか？　私はいつも、なぜわざわざ朝起きるのかと――驚くほどしょっちゅう――聞かれるたびに、このように答えている。

――リチャード・ドーキンス

数年前、私はシカゴのとある裕福な地域のビジネスマン団体から、進化とインテリジェント・デザインの対立問題について講演してほしいと頼まれた。この人たちのために言っておくと、彼らはとても知的好奇心があって、いわゆる「物議」をかもすとされている問題のことを、もっと詳しく知りたがっていたのだ。私は進化の数々の証拠を挙げて、なぜインテリジェント・デザインが生命

に対する科学的な説明ではなく、宗教的な説明になっているかを解説した。そして講演後、私のもとにやってきた聴衆の一人にこう言われた。「あなたの挙げた進化の証拠はとても説得力があると思いました――でも、私はやっぱり信じられないです」。

この一言には、多くの人が進化生物学に感じている、根深い、広く浸透した不透明感がよく表れている。証拠には説得力がある。だが、人々は説得されないのだ。なぜそうなるのだろう？　科学のほかの分野なら、このような問題で悩まされることはない。電子やブラックホールの存在は誰も疑っていない。これらの現象は進化などよりよほど日常経験からかけ離れているにもかかわらずだ。考えてもみてほしい。化石はどこの自然史博物館でも見られるし、バクテリアやウィルスが薬剤耐性を進化させている話は始終あちこちに書かれている。それなのに、進化のどこが問題なのか？

証拠がないことが問題ではないのだ。ここまで読んできてくれた人なら、進化がただの科学的な一仮説ではなく、科学的な事実であることを充分に納得してくれたと思う。すでに証拠は多数の方面から出てきている。化石記録、生物地理学、発生学、痕跡構造、次善のデザインなど、これらすべての証拠が、みじんの疑いもなく、生物が進化してきたことを示している。しかもそれは微小な「小進化」的変化でもない。これまでの章で、新しい種が生じるところをリアルタイムにおいても化石記録においても見てきた。クジラと陸生動物のような主要な生物グループのあいだの移行型も発見されている。自然淘汰はいまも進行しているし、それが複雑な生物や特徴を生み出せることはどう見ても必定だ。

さらに、進化生物学は検証可能な予言ができる。もちろん、ある特定の種がどう進化するかを予言できるわけではない。そこには無数の不確定要素が関わってくるからで、たとえばどういう突然変異体が生まれるか、環境がどう変化するかによって、結果は刻々と変わってくる。だが、化石がどこで見つかるかなら予言ができる（ヒトの祖先はアフリカで見つかるだろうとダーウィンが予言したように）。共通祖先がいつ現れたかも予言できる（第2章で述べた、三億七〇〇〇年前の岩に埋まっていた「魚のような無足動物のような」ティクターリクの発見のように）。そして、そうした祖先がどのような姿をしていたかも発見前に予言ができる（同じく第2章で述べた、アリと蠕虫のあいだに挟まる驚くべき「ミッシング・リンク」のように）。有袋類の化石が南極大陸で見つかるだろうと科学者は予言して、実際そのとおりに発見した。オスがやたらに色鮮やかな姿をしているのに、メスがそうでもない動物の種があったなら、その種はきっと一夫多妻だろうとも予言できる。

来る日も来る日も、何百という観察報告や実験結果が科学文献の山に追加されている。その多くは進化とはあまり関係ない――生理学や生化学や発達学などの詳細な観察報告だ――が、関係するものも多数ある。そして進化に関係するすべての事実が、進化が真実であることを裏づけている。発見されたすべての化石、配列決定されたすべてのＤＮＡ分子、詳細に調べられたすべての器官系が、種は共通祖先から進化したとの考えを支持している。もし進化が真実でないのなら、それを示す無数の観察報告が出てきていてもいいはずだ。しかし、そのようなものは一つも見られたことが

ない。先カンブリア時代の岩に哺乳類が見つかったことはないし、ヒトと恐竜が同じ層に見つかったこともない。どんな化石であれ、進化の順序に外れて見つかったものは一つもないのだ。ＤＮＡ配列にしても同じことで、もともと化石記録から導かれていた種の進化関係がそのまま結果として表れている。そして自然淘汰が予言するように、別の種にしか利益をもたらさないような適応をした種もまったく見つかっていない。代わりに見つかったのは、死んだ遺伝子や痕跡器官など、すべて特殊創造説のもとでは理解できないものばかりである。誤りを指摘される可能性はいくらでもあったにもかかわらず、つねに進化は正しかった。これは科学的真実に限りなく近づいているということだ。

「進化は真実である」と認めることは、ダーウィニズムの主要な原則が正しかったと認めることにほかならない。生物は進化した。その変化は漸進的に進んだ。共通祖先から系統が分岐して別々の種になる。自然淘汰は適応の主要な推進力である。まともな生物学者なら誰でもこれらの説に疑いは持たない。しかし、だからといってダーウィニズムが科学的に検討しつくされ、すっかり解明され終えたのかといえば、まったくそんなことはない。進化生物学にはまだ多数の疑問や異論が残っている。性淘汰は厳密にどう働くのか。メスは良い遺伝子を持ったオスを選んでいるのか。遺伝的浮動は（自然淘汰や性淘汰と比較して）ＤＮＡ配列や各器官の特徴の進化にどれだけの役割を果たしているのか。どの化石人類がホモ・サピエンスの直系上にいるのか。カンブリア紀の生命の「爆発」はなぜ起こったのか。そのわずか数百万年のあいだに多くの新しい種類の動物が現れたの

はどうしてなのか。

進化を否定する人々はこうした議論をつかまえて、それこそ進化論そのものに誤りがあるしるしだと主張する。だが、それは一見もっともなだけの戯言(ざれごと)だ。まともな生物学者のあいだでは、進化論のおもな主張に関して見解の不一致はない。意見が分かれるところはすべて細かい部分であって、進化が起こった経緯や、進化のさまざまなメカニズムの相対的な役割についてだけなのだ。むしろこうした議論は進化の信憑性を損ねるどころか、これが活気に満ちた刺激的な分野であることの証となっている。科学を前進させるものは無知であり、論争であり、観察と実験による代替説の検証である。議論のない科学は進歩のない科学と同義である。

そろそろ私もこう言えると思う。「すでに証拠は挙げたのだから、進化が真実であることはそこに示されている。証明終わり」。だが、ここで終わっては怠慢というものだろう。私が講演のあとで出会ったビジネスマンのように、証拠以上のものを出してくれないと進化を受け入れられない人もたくさんいるのだ。そうした人たちにとって、進化はあまりにも深刻な問題を投げかけてくる。進化を受け入れたなら、目的や道徳や意義をどう捉えればいいかわからなくなってくる。だからどれだけ証拠を見せられても、やはり受け入れがたいと思うのだ。彼らをこれほどまでに悩ませるのは、われわれがサルから進化したことではない。この事実に向き合ったあとの自分の感情である。この問題を解決しないかぎり、進化はいっこうに普遍的に認められた真実にはならないだろう。いみじくも、アメリカの哲学者マイケル・ルースはこう言っている。「化石記録の欠落部分が気に

なって眠れない人などどこにもいない。多くの人は、堕胎や、ドラッグや、家族の衰退や、同性愛者の結婚など、いわゆる『倫理的価値』に反するすべてのものが気になって眠れないのだ」。

アメリカの保守派の哲学者で、インテリジェント・デザインの支持者でもあるナンシー・パーシーも、この多くの人が感じている恐怖を表明している。

なぜ人々は生物学の一仮説をこんなにも激しく気にするのだろう。それは、科学の学説などよりよほど危機に瀕しているものがあることを直観的に感じとっているからだ。自然主義的な進化が理科の授業で教えられるなら、そのうち自然主義的な倫理観が歴史の授業でも、社会科の授業でも、家庭科の授業でも、カリキュラムのありとあらゆる分野で教えられることになるだろうと知っているからだ。

パーシーの主張によれば（アメリカのおおかたの創造論者も同意していることだが）、進化論の有害な部分はすべて科学の一領域である二つの世界観から来ているという。すなわち、自然主義と唯物主義だ。自然主義とは、科学的な手法を通じてしかこの世界は理解できないとする見方である。唯物主義とは、この世界の唯一の実体は物理的な物質であって、思考や意志や感情も含めたその他すべてのものは、その物質に働く物理法則から生じているとする考え方である。すべての科学と同様に、進化論の言わんとするところも、自然主義的な唯物論の一つである。ダーウィニズムに従え

ば、人間はほかのすべての種と同じく、盲目で無目的の力が大昔から働いてきた結果として生じている。われわれの見るかぎり、シダやマッシュルームやトカゲやリスを生んだのと同じ力によって人間も生まれているのだ。では超自然的な説明はありえないのかというと、科学もその可能性を完全には除外できない。この世界全体を支配しているのが妖精である可能性さえ――まずありそうにないが――ありえなくはない。だが、そのような超自然的な説明は誰からも必要とされていない。われわれは合理性と唯物論を用いて自然界を問題なく理解できている。さらにいえば、超自然的な説明はつねに探求をその場で終わらせてしまう。それが神の望むことなのだ――こう言われてしまったら話は終わりだ。一方、科学はつねに満たされることがない。この世界の探求は人間が絶滅するまで続くことだろう。

だが、こうした進化の教えが度を越えて広まって、いずれ倫理や歴史や「家庭」の学問にまで影響してくるのは避けられないとするパーシーの考えは、無用な取り越し苦労である。いったい誰が進化から意義や目的や倫理を導き出せる？　進化論とは、生命の多様化のプロセスとパターンを論じた一学説にすぎず、生命の意味を論じた壮大な哲学体系ではないのである。進化論はわれわれにどうしろとは言わないし、どうふるまうべきかとも言っていない。だが、これが信仰心のある人にとっては大きな問題なのだ。彼らは人間の起源についての話のなかに、自分が存在する理由を、そしてこうふるまうべきという指針を見いだしたいのである。

たいていの人は、人生にどうしても意味や目的や道徳的指針を必要とする。自分たちの起源が本

当に進化論の言うとおりなのだと受け入れてしまったら、それらをどうやって見つけたらいい？　この問いは、科学の範疇の外にある。しかし、われわれの道徳性が遺伝に拘束されているのかという点についてなら、進化論は多少の光を投げかけられる。もしわれわれの身体が進化の産物なら、われわれの行動はどうなのだ？　アフリカのサバンナでの数百万年の時間を、われわれはいまでも心理的に引きずっているのだろうか？　もしそうなら、われわれはそれをどこまで克服できるのか？

内なる野獣

進化に関して一般に信じられていることの一つに、人間が進化した哺乳類なのだと認めてしまえば、われわれが野獣のようにふるまうのを抑制するものが何もなくなってしまう、という考えがある。道徳性はもはや顧みられなくなり、ジャングルの法則が支配することになるだろう。これが、学校に浸透してしまうとナンシー・パーシーが恐れた「自然主義的な倫理観」だ。懐かしのコール・ポーターの歌にもこんな一節がある〔「レッツ・ミスビヘイブ」より〕。

クマは浮気をするというじゃない
ラクダだってするんでしょ

私たちは人間で哺乳類なんだから――さあ、いけないことをしましょう！

もっと時代が下った一九九九年にも、下院議員のトム・ディレイが同じような考えを持ち出してきた。コロンバイン高校の銃乱射事件の背景にダーウィニズムがあるかのようなほのめかしをしながら、ディレイは合衆国連邦議会の議場で一通の手紙を朗々と読み上げた。それはテキサスの新聞社からのもので、こう――皮肉に――訴えていた。「あれ［銃乱射事件］は遺憾ですが、その理由はひょっとして、われわれの学校教育が子供たちに、あなたがたは原初の泥のスープから進化論的につくられてきた見せかけだけのサルにすぎないと教えているからでしょうか」。この考えをもっとあからさまに表明しているのが、保守派の評論家アン・コールターだ。ベストセラーとなった著作『神のいない教会』（*Godless: The Church of Liberalism*）で彼女が断じるには、リベラルにとって、進化は「人々を道徳的な責任から解放するものなのだ。したいと思うことをなんでもすればいい――秘書と一発やろうが、おばあちゃんを殺そうが、障害のある子供を堕ろそうが、なんだって――それが人類のためになるとダーウィンが言っているのだ！」もちろん、ダーウィンはそのようなことは一言も言っていない。

しかし、現代の進化生物学は「野獣のような」祖先と同じような行動をとるように人間は遺伝的にあらかじめ配線されているとまで言っているではないか？　おそらく多くの人にとって、この印象は、進化学者リチャード・ドーキンスの非常に有名な本『利己的な遺伝子』――本そのものとい

うよりはタイトル――から来ている。その響きからすると、進化はわれわれを自分のことしか気にかけない、利己的にふるまうものにしているように感じられる。誰がそんな世界に住みたいだろう？　しかし、この本はまったくそのようなことは言っていない。ドーキンスが明言しているように、「利己的」な遺伝子というのは、自然淘汰がどう働くかを表したメタファーである。遺伝子はあたかも自分が利己的な分子であるかのように働く。よりよい適応を生む遺伝子は、あたかも将来の存続をかけた闘いで、ほかの遺伝子を押しのけているかのように働くのだ。もちろん、利己的な遺伝子が利己的なふるまいを生むことはたしかにある。しかし、協調や利他性や道徳性につながる遺伝子が進化によって生き残ることもある。そして、それについて論じた科学文献も山ほどある。第一、われわれの祖先はそこまで野獣のようではなかったかもしれないし、いずれにしても、ジャングルにはさまざまな動物がいて、その多くはきわめて複雑で協調的な社会をつくって生きているのだから、そこは決してそのイメージほど無法地帯ではないのである。

では、その社会的なサルとしての進化がわれわれの脳に刻印されているなら、人間のどのような行動が「あらかじめ配線されている」ものなのだろうか？　これについてはドーキンス自身、「利己的な遺伝子」は同じぐらい「協力的な遺伝子」だった可能性があると言っている。われわれは利己的になるよう決められているのか、協力的になるよう決められているのか、それともその両方なのか？

近年になって、この問いに答えようとする新しい学問分野が生まれている。人間の行動を進化の

観点から解釈しようとする、進化心理学という分野だ。これはもともと、E・O・ウィルソンの『社会生物学』に端を発する。動物の行動を全面的に進化の観点から統合したもので、最後の章では、人間の行動も進化から説明できると述べられている。進化心理学の大半は、現代の人間の行動を、祖先に働いた自然淘汰からの適応的な結果として説明しようとするものだ。たとえば「文明」が発祥した紀元前四〇〇〇年ごろは、都市部にも農村部にも複雑な社会があって、それからわずか六〇〇〇年で現在まで到達する。これはヒトの系統がチンパンジーの系統と分かれたあとの時間と比べると、全体の一〇〇〇分の一にしかならない。ケーキ上の飾りのように、およそ二五〇世代の文明社会が三〇万世代のうえに乗っているわけだが、その下の部分では、人間は小さな社会集団で狩猟採集生活をしていたと思われる。そこに自然淘汰が長い時間をかけて働いて、いまのような生活様式にわれわれを適応させたのだ。進化心理学では、この長い時間のあいだにわれわれが適応した物理的、社会的な環境を「進化適応環境（EEA）」と称する[55]。進化心理学で考えられているように、EEAで進化した行動の多くはいまや適応的ではないかもしれず、ことによると不適応でさえあるかもしれないが、それでもわれわれは、そうした行動をいまだ保持しているに違いない。なにしろ現代文明が生まれてからの経過時間は、進化的変化が起こるにはかなり足りないのである。

実際、あらゆる人間社会は、誰でもわかる「人間の普遍特性（ヒューマン・ユニバーサル）」を数多く共有しているように思われる。人類学者のドナルド・ブラウンはこの言葉をタイトルにした『ヒューマン・ユニヴァーサルズ』で、そうした普遍的な形質を多数列挙している。一部を挙げれ

ば、記号的言語の使用（言葉は行動や物体や思考の抽象的な記号だとされる）、性別による労働分担、男性優位、宗教的ないしは超自然的信念、死者の追悼、縁者びいき、装飾的な芸術やファッション、音楽と舞踏、ゴシップ、身体装飾、甘い物好きなどである。これらの行動の大半は人間をほかの動物と区別するものなので、「人間の本質」的な側面として見ることができる。

だが、広く普及している行動がすべて遺伝にもとづいた適応を反映していると思い込んではいけない。現代の人間行動の多くについて、それがＥＥＡにおいて適応的だったとする進化的理由をこしらえるのはあまりにも容易なことなのだ。たとえば芸術や文学は、クジャクの尾羽と同じようなもので、芸術家や作家はその作品が女性にとって魅力となるために、より多くの子を残せるのだと説明できる。レイプはどうか？　これは、配偶者を見つけられない男性が父親となって子を残すための手段である。そのような男性は、女性を強い力で押さえつけて無理やり交尾する傾向を買われてＥＥＡで淘汰されたのだ。うつ病は？　これも問題ない。うつ病は、ストレスのたまる状況から適応的に退避して、精神的な糧を蓄え、ふたたび人生に向き合えるようになるための対処法なのである。さもなければ、これは社会的敗北の儀式化されたかたちと見ることもできる。いったん競争から撤退して、回復に努め、あらためて翌日の戦いに出るのである。では同性愛は？　この行動は一見すると、自然淘汰が助長することの対極にあるように思える（同性愛行動を導く遺伝子は次世代に受け継がれないのだから、急速に個体群から消えていくはずだ）が、こう考えてみればよい。ＥＥＡでは、同性愛者の男性は家にいて、母親の子づくりを手伝っていた。この状況なら、同性愛

者が多くの兄弟姉妹をつくることによって、「同性愛」遺伝子が次世代に受け継がれる。その兄弟姉妹も同じ遺伝子を共有しているからだ。ちなみに、これらの説明はどれも私のものではない。いずれも公に発表されている科学文献にしっかりそう書かれている説明だ。

人間行動のあらゆる側面をダーウィニズムで説明しようとする心理学者や生物学者や哲学者の傾向はますます強まっており（しかも不穏に）、もはやその研究は科学的言葉遊びの域に達しつつある。だが、ものごとがどう進化したかを想像力だけで再構築するのは科学ではない。それは物語だ。スティーヴン・ジェイ・グールドはこれをキップリングの本のタイトルそのままに「なぜなぜ物語」と茶化した。本家のほうは、動物のさまざまな形質をおもしろおかしく、しかしすべて空想で説明したものである（「ヒョウの斑点はなぜできたか」など）。

とはいえ、進化的根拠がないとしてすべての行動を切り捨てるわけにもいかない。いくつかの行動には、たしかに根拠があるのだ。たとえば、さまざまな動物に共通して見られる行動で、明らかに生存や繁殖にとって重要となる行動は、ほぼ確実に適応的であると考えられる。この種の行動ですぐに思いつくのは、食べること、眠ること（なぜ眠りが必要とされるかはまだわかっていないのだが、脳を休める時間はたいていの動物に見られるものである）、性欲、子育て、縁者びいきなどである。

そして二番目の行動のカテゴリーには、淘汰によって進化した可能性が非常に強いが、適応面での重要性がいまひとつ、たとえば子育てなどのようには明確でない行動が含まれる。逆に、最も明

確なのは性行動だ。多くの動物と同じように、人間の男性はたいてい乱婚で、女性は選り好みをする（社会的に強制される一夫一妻が、多くの社会では優勢を占めているにもかかわらず）。男性は女性よりも体が大きく、力が強く、攻撃性に関連したホルモンであるテストステロンのレベルが高い。繁殖の成功度が測定されてきた社会では、男性間の差は決まって女性間の差より大きい。新聞の個人広告の統計調査によると――もちろん、本当に厳密な科学的調査とは言いがたいが――男性が交際相手として求めるのは子供を産むのに適した体つきの若い女性だが、女性が好むのは財産と地位があり、二人の関係に投資する意志のある何歳か年上の男性だという。これらの特徴は、動物の性淘汰に関してわかっていることから考えればすべて納得がいく。だからといって人間がゾウアザラシとまるっきり同じになるわけではないが、この類似性は、人間の身体や行動の特徴が性淘汰によって形成されたことを強く示唆するものである。

しかし、ほかの動物の例を自分たちに当てはめようとするときは、やはり気をつけなければならない。ひょっとすると男性が女性より大きいのは女性をめぐって競争しているからではなく、労働の分担が進化した結果なのかもしれない。ＥＥＡでは男性が外に狩りに行き、子供を産む性である女性が子育てをして、食料採集をしていたのかもしれない（これも進化的な説明ではあるが、この場合は性淘汰でなく自然淘汰が働くことになる）。また、人間の性のあらゆる面を進化で説明しようとすると、どうしても多少の心理的な曲解が入ってくる。たとえば現代の西洋社会では、女性は男性よりよほど念入りに自分を飾り立てる。化粧をして、他人と違うしゃれた服を着る。これは性

淘汰が働いている大半の動物とまったく逆だ。そうした動物の代表であるゴクラクチョウなどでは、凝ったディスプレーや色鮮やかな羽毛や装飾物を進化させてきたのはオスなのである。さらに行動を見るときに、人はどうしても自分の社会のすぐ身近なところにしか目が行かず、行動は時代と場所によってさまざまであることを忘れがちになる。たとえば同性愛者であることは、今日のサンフランシスコと二五〇〇年前のアテネでは同じではないかもしれない。言語や睡眠のように、どこにおいても変わらない絶対的な行動は非常に少ないのである。とはいえ、性行動の一部の面や、脂肪や甘いものへの普遍的な好みや、脂肪の蓄えを用意しておこうとする傾向などは、いまでこそ不要だが、祖先においては適応的だった形質であるとかなりの確信を持って言っていい。そしてノーム・チョムスキーやスティーヴン・ピンカーなどの言語学者が主張してきたところでは、記号言語の使用もおそらく遺伝的な適応で、人間の脳には構文や文法がどういうわけか組み込まれているのだという。

そして最後に、たいそう広い行動のカテゴリーがある。これらの行動は、場合によっては適応的にも見えるが、どうして進化したかについては何もわからないに等しいものだ。ここには非常に興味深い、人間の普遍的な行動の多くが含まれる。道徳律、宗教、音楽もそうだ。これらがどう進化したかについての仮説（と本）は限りなくある。理論学者は入念なシナリオをいろいろと構築しており、たとえば人間の道徳観念や多くの道徳的な教義は、言語によって複雑な社会や文化の構築が可能になったように、もともと社会的な霊長類が生来的にもっていた考え方に自然淘汰が働いて、

その結果として生まれたのではないかとの考えが出されている。しかし結局、これらの考えはいまだ検証されておらず、おそらくそのまま検証の不可能な推測で終わるだろう。こうした特徴的な行動がどう進化したのか（あるいは、もともとの遺伝形質が進化したのだとしても）、また、それらが直接的な適応であるのか、それとも火を起こすことのように、複雑な脳が自分の身体をいたわるために行動の柔軟性を進化させた結果の副産物であるのかといったことは、再構築がほぼ不可能なのだ。確固とした証拠がともなわない推論には充分に用心するべきである。私自身の考えを言えば、人間行動の進化についての結論は、少なくとも人間以外の動物を研究するときと同程度に厳密な調査にもとづいているべきだ。動物の行動に関する記録を読んでもらえばわかると思うが、この条件を満たすとなると、基準はかなり高くなる。進化心理学の多くの主張はあとかたもなく沈んでしまうだろう。

結局のところ、われわれが進化の糸に吊られて踊らされている操り人形だと見なす理由はどこにもない。たしかに人間の行動のなかには、サバンナに住んでいた祖先のなかに自然淘汰によって植えつけられて以来、遺伝的に組み込まれてきたと思われる部分もあるかもしれない。だが、遺伝子は運命ではない。遺伝学者なら誰でも知っていることながら、科学者でない人たちの意識にはどうも浸透していないと思われる知見の一つは、「遺伝的」は「不変」と同義ではないということだ。さまざまな環境的要因はすべて遺伝子の発現に影響を及ぼせる。たとえば若年性糖尿病は、遺伝性の疾患ではあるが、その有害な作用は少量のインシュリン投与でほとんど排除できる。つまり環境

的介入ができるわけだ。私の視力が悪いのも家系の問題だが、眼鏡のおかげでなんの妨げにもならない。同じように、チョコレートや肉への飽くなき欲求も、いくらかの意志の力とダイエット商品の助力があれば充分に緩和できる。そして結婚という制度は、人間の乱婚的な行動を抑えるのに大いに役立ってきた。

世界にはあいかわらず利己的な行為や不道徳な行為、不正な行為があふれている。しかし別のところに目を転じれば、親切な行為や利他的な行為も数えきれないほど見られるはずだ。どちらの行動にも、われわれの進化的遺産から来ている要素があるのかもしれないが、実際にどういう行動をするかは意思の問題であって、遺伝子の問題ではない。慈善団体に寄付することも、ボランティアとして貧困国の病気撲滅に尽くすことも、我が身の大きな危険を顧みず消火活動にあたることも、淘汰によって直接われわれに組み込まれた行動であるはずがない。ルワンダやバルカン半島での「民族浄化」のような恐ろしい事態もいまだ起こっているとはいえ、いつか年月が経つうちに、人々のあいだで高まった正義感が世界中に浸透するようになるだろう。古代ローマのかつてなく洗練された教養人たちが、何をもって午後の最高の娯楽と見なしていたかといえば、それは人間と人間、あるいは人間と野獣との、文字どおり命をかけた闘いを座って眺めることだったのだ。これを野蛮と考えないような文化はいまの地球上には一つもない。同様に、人間を生け贄にすることも、かつては多くの社会で重要なこととされていた。これもありがたいことに、いまでは消滅している。男女の同権も、いまや多くの国では当然と考えられている。豊かな国は貧しい国を搾取しようとす

るのではなく、逆に助けるのが自分たちの責任であると考えるようになっている。動物愛護の意識も高まってきた。これらはすべて、進化とはなんの関係もない。このような急速な変化は、とうてい遺伝子に引き起こせるような変化ではないからだ。われわれがどんな遺伝的遺産を持っていようと、それはわれわれを永遠に祖先の「野獣」性に引き止めておくような拘束衣ではないのである。進化はわれわれがどこから来たかを教えてくれるが、われわれがどこに向かえるかを教えるものではない。

そして目的に関しても、たしかに進化は目的を持たず、唯物主義的に働くものだが、それで人間の人生に目的がなくなるわけではない。宗教を通じてであれ世俗の考えを通じてであれ、われわれは自分自身の目的や意味や道徳性を定めている。多くの人は、仕事や家庭や趣味に意味を見いだしているだろう。音楽でも芸術でも文学でも哲学でも、そこには慰めがあり、脳の糧とするものがある。

多くの科学者は、この宇宙の驚異や、それを理解することのできる自分たちの驚異的な能力について熟考することに、深い精神的な充足を見いだしてきた。アルベルト・アインシュタインは、いかにも伝統的な宗教心を持っていたかのように誤って書かれることが多いが、彼にとっては自然の研究が一種の精神的な経験となっていた。

われわれの経験できる最も素敵なものは、不可思議なものだ。これは真の芸術や真の科学が

生まれるときに、必ずそこにある根本的な感情である。いったん知ってしまった者は、もう不思議に感じることはできず、驚きも感じなくなって、命のない吹き消されたろうそくも同然となる。宗教を生んだのも、やはり不可思議な――恐れも混じっていたかもしれない――経験だった。理解できないものの存在を知ることや、われわれの理性では最も基本的なかたちでしか知りようのない、最も奥底にある理由や最も輝かしい美の表れを知ることこそが、さきの感情とともに、真に宗教的な態度を形成する。その意味では、いや、その意味だけにおいて、私は深い宗教心をもった人間である。……生命の永遠という不思議と、現実の驚異的な構造を暗示するもの、そして自然界に現れている理由を一部でも、たとえそれがどれほど小さかろうと、どうにか理解しようとする一途な努力、これだけで私には充分である。

科学に自らの精神性を見いだすということは、それにともなう謙虚さを引き受けるということでもある。すなわち宇宙の前に頭を下げ、すべての答えを知ることは決してできないだろうと認めることだ。物理学者のリチャード・ファインマンも、それを強く支持する一人だった。

私は答えを知らなくてもかまわない。知らないからといって私は怖れたりしない。不可思議な宇宙のなかで、目的もなくさまようことになってもかまわない。私の知るかぎり、おそらくそれが本来の自然なかたちであるからだ。だから私は怖くない。

だが、こうした態度をすべての人に求めるわけにもいかないだろう。『種の起源』が聖書に取って代われると思ってもらうのも無理だと思う。自然の驚異にいつまでも変わらない慰めや滋養を見いだせるのは、比較的少数の人たちだけだ。そうした驚異を自らの研究によってさらに増やせる特権にあずかれる人となれば、いっそう数が少なくなる。イギリスの小説家イアン・マキューアンが嘆いているように、科学が伝統的な宗教に取って代わるのは難しい。

世俗の科学的な文化は、互いに相容れない超自然的な思考体系に取って代わるどころか、挑むことさえできていない。科学的手法や懐疑主義、あるいは全般的な合理性は、人々の人生に意味を与えてやる古い物語に対抗できるだけの威力と単純性と幅広い訴求力を備えた包括的な語りをまだ見つけられていない。自然淘汰は、この地球上の多様な生命を説明できる力を持ったエレガントにして経済的な解説者であり、おそらくは真実という新たな力を加えた別の創造神話をつくりだせる種子を含んでいるはずだが、いまだそれを語るべき霊感を受けた統合者を、詩人を、ミルトンを待っている状態だ。……理性と神話はあいかわらずくつろげない同衾者のままである。

私などがダーウィニズムのミルトンを気取るつもりはもちろんないが、少なくとも、人々を怖がらせて進化から遠ざけている誤解を取り払ってやろうとすることはできる。この誤解があるかぎり、

たった一個の裸の複製分子から驚くほど多様な生命が生まれてきたのだという驚異を、人々はずっと知らないままなのである。そうした誤解の最大のものは、進化を受け入れたら社会がばらばらになって、道徳性も破壊され、自分たちも野獣のようにふるまいはじめ、新世代のヒトラーやスターリンを生んでしまうだろうというものだ。

しかし、そんなことにはならないのは、多くのヨーロッパ諸国を見ればわかる。そこの国民は進化をすっかり受け入れているが、依然として文明化された態度を維持している。進化は道徳的でも非道徳的でもない。進化は進化であり、これをどう判断するかはわれわれしだいである。それに関して、私は二つのことを示してきたつもりだ。進化は単純であるということ、そして、進化は驚異的なものであるということ。人間は、大きく枝を広げた進化の系統樹の先っぽにある、一本のちっぽけな小枝にすぎないかもしれないが、それでもわれわれは非常に特殊な動物である。自然淘汰によってできあがっていった人間の脳は、われわれにまったく新しい世界を見せてくれた。かつて、われわれの祖先は病気や不快に苦しめられ、絶えず食料を探していなければならなかったが、そんな彼らには計り知れないほど生活を向上させるすべを、いまのわれわれは学んできた。最も高い山の上空も飛んでいけるし、深い海の底にも潜れるし、ほかの惑星に旅することさえできる。交響曲をつくり、詩を作り、本を作って、美的な情熱や感情的な欲求を満たすこともできる。ほんのわずかでもこのようなことができる種は、ほかに一つもない。

だが、それ以上に驚くべきことがある。この宇宙を支配する法則を理解できるだけの複雑な脳を

自然淘汰から譲り受けた生き物は、人間だけだということである。いまの自分たちがどうやってできたかを理解している唯一の種であることを、われわれは誇りに思うべきだろう。

訳者あとがき

進化論に関する翻訳書は数多い。もちろん国産の研究書や解説書もたくさんあるが、海外からこれだけ次々と、それも専門家相手ではなく一般読者に向けたかたちで、最新の知見が入ってくるジャンルもそう多くないのではなかろうか。進化はそれだけ需要も供給もある魅力的なテーマなのだろう。考えてみれば、進化というのは、私たち自身に直結した問題だ。自分がどこから来たのか、どうして現在のこの自分があるのか――それは誰もが一度はふと疑問に思うことだろう。そんな普遍的で根源的な問いに、一つの答えを与えてくれるのが進化論なのだ。これを突き詰めて研究したくなる人が多いのも道理だし、その研究の成果や最新の発見を読むのを楽しみにしている人は、さらにたくさんいるに違いない。

だが、そうした進化論の本来の魅力がもちろん第一にあるとしても、西洋、特にアメリカの研究者やサイエンスライターがこれほど熱心に進化論についての本を書いてくれることには、別の事情もあるように思える。それは宗教の存在だ。原理主義的なキリスト教を信仰している人の多いアメリカでは、聖書にもとづいた「創造論」が一般の人々のあいだにかなり広く浸透している。創造論

というのは簡単に言えば、この世のすべてが万能の創造主、つまり神様によって作られたとする考えで、人間もほかの動物も植物も、みな現在の姿のままでこの世界に現れたとされている。当然、進化論とは相容れない。創造論を信じる人は、進化論を害悪と見なして、学校で子供に教えるのを禁じようとまでする。一方、進化論を支持する教師や保護者は、そうした教育方針に対して裁判を起こす。そんな状況だから、ある調査では、人間とチンパンジーが類縁関係にあることをわかっていない人、認めていない人が六〇パーセントにも上ったそうだ（本書より）。この数字にしろ、進化論が裁判沙汰になることにしろ、すでに大半の人が進化論をあっさり受け入れていると思われる私たち日本人にはいささか信じがたいような話だが、こうした背景があるために、アメリカでは進化論がことに「現役」の学問になっているのではないだろうか。何か発見があるたびに、あるいは新しい切り口が見つかるたびに、すぐさま本にして人々に届けなければ——そんな切迫した思いが進化論者にあるような気がするのだ。

前置きが長くなったが、本書はまさにそのような目的で書かれている。進化に関するさまざまな興味深い本が次々と出てくるのはありがたいことではあるけれども、それだけに多くの新刊書はテーマが限定されていて、いまさら進化論の概要を伝えてくれる本は意外と少ない。そこに本書のありがたみがある。あらためて言うが、この本は、進化がなぜ科学的事実と認められているかを読者にわかってもらえるように書かれた本である。進化論を疑っている人、あるいはそもそも進化論を知らない人のために、進化とはどういうことかの基本事項を押さえたうえで、さまざまな研究分

野で蓄積されてきた進化の証拠を集め、その一つ一つを丁寧に説明している。各章の順序で挙げていけば、まずは古生物学の分野から、化石記録による証拠にもとづいて鳥の進化やクジラの進化などが紹介される。次いで、生物の発生過程や身体構造に示されている進化の証拠。生物の種が世界中にどう分布しているかを研究する生物地理学から導かれる進化の証拠。ダーウィンが考案した「自然淘汰」という進化のプロセスでしか説明できない生物のさまざまな構造や行動。その自然淘汰の一種である「性淘汰」という仕組み。ダーウィンの有名な『種の起源』をそのままタイトルにした章では、古今の無数の種がどうして生まれたかが「種分化」という現象から説明される。そして私たち自身の歴史、つまり現在の人間がどう進化してきたかについても、まるまる一章が充てられている。このような本書の成り立ちが、図らずも本書を進化論そのものへの有益な入門書にしている。特に創造論を信じているわけではなく、進化論が事実であるとあらためて説得してもらう必要はない読者にとっても、この本を読むことで進化論の基本的な考えを知り、さらに進化論の細分化されたさまざまなテーマをうかがい知れるようになっている。しかも著者の語り口は平明で、けれんみがなく、とても実直だ。

とはいえ、もともとは創造論に対する進化論の擁護として書かれた本だから、創造論について言及するときは勢い著者の口調も熱くなる。そのあたりを痛快に感じることもできようし、かの国の事情の厳しさをそこから察することもできようが、何より感銘を受けるのは、そこに見られる科学者の矜持だ。すでに世界の大半で「科学的事実」とされていることを認めてもらえない状況にいら

だちながらも、象牙の塔にこもらずに反対勢力との果てしない闘いに挑み、努めて平静に証拠を列挙しながら科学の「美しさ」を伝えていこうとする真摯な姿勢は、科学的事実と同じぐらい人の胸を打つ。そもそもダーウィン自身が進化論を発表するにあたって宗教との対立問題に深く苦慮したが、それでもあえて発表したのは、自らの研究を世に広めたいとの思いがあったからだけでなく、生物の進化に生命の尊厳を見て、科学と精神性が決して背反しないと信じたからだろう。アインシュタインも同様のことを言っている。この本の著者もまた、そうした科学者の一人なのである。

その著者について、紹介が遅れたが、簡単に経歴を記しておこう。ジェリー・A・コインはシカゴ大学の教授で、進化遺伝学を専門とする。バージニア州のウィリアム・アンド・メアリー大学で生物学の学士号を取り、その後ハーバード大学で進化生物学の博士号を取得した。おもな研究分野は「種の起源」で、さまざまな遺伝学的手法を駆使しながら、ショウジョウバエの多数の異種を作りだしている（厳密に言えば異種のあいだの繁殖障壁を作りだしている）遺伝子を特定して、その遺伝子の位置やふるまいから、遺伝的変化を生じさせた進化的プロセスを解明しようとしている。コインはこれまでに多数の論文や雑誌のコラムを執筆しており、共著の専門書も一冊出版しているが、一般向けの科学書を出したのは今回が初めてである。原著のカバーの推薦文には、E・O・ウィルソン、スティーヴン・ピンカー、リチャード・ドーキンスなど、日本でもおなじみの人々が名を連ねている。

この本の原著が出版された二〇〇九年は、ちょうどダーウィンの生誕二〇〇年、『種の起源』の出版から一五〇年の節目ということで、故国イギリスを中心に、ダーウィンと進化論の話題がひときわ盛り上がった。記念に製作された国内外の特集テレビ番組を見た人も多いのではないだろうか。こうした時期に、また一冊、進化論の興味深い本をお届けできることを嬉しく思う。

最後になったが、本書を紹介して、その翻訳をさせてくださった日経ＢＰ社と、同社出版局編集部の橋爪誠一氏に感謝したい。訳稿を丹念に検分していただき、足りない部分を補ってもいただいた。もろもろのご支援をありがとうございました。

二〇〇九年

塩原通緒

のメスにヒトの精液を注入した。幸いにも妊娠は起こらず、あらためて逆の実験をしようとしたイヴァノフの計画も阻止された。

(52) 生物学者は、ヨーロッパの個体群とアフリカの個体群との肌の色の違いの主要な要因となっている遺伝子を少なくとも二つ特定している。興味深いことに、それらはどちらも魚の色素沈着に影響を及ぼしているものとして発見された。

(53) 最近になって、でんぷんを単糖に分解する唾液酵素のアミラーゼ-1でもラクターゼと同様の事例が報告されている。日本人やヨーロッパ人など、食生活にでんぷんを多く取り入れているヒトの個体群は、でんぷんの少ない食生活を送っている漁民や雨林の狩猟採集民などの個体群に比べて、この遺伝子のコピーを数多く持っているのである。ただしラクターゼ酵素とは対照的に、自然選択はアミラーゼ-1を作る遺伝子を複製させることによって、この酵素の発現を高めた。

(54) ここで重要なのは、どんな食物にも固有の味はないということだ。ある食物が個体にとってどういう「味」であるかは、味覚受容体と刺激される脳神経細胞との相互作用がどう進化しているかによって決まる。われわれに甘いものや脂肪分の多いものの味をおいしいと感じさせ、それらの食物を摂取したがるように自然淘汰がわれわれの脳と味覚芽を形成したのはほぼ確実だ。おそらくわれわれにとってのアイスクリームサンデーと同じぐらい、ハイエナにとっては腐った肉がおいしく感じられるのだろう。

(55) 大半の進化心理学者はEEAが現実であったと思っている。つまりヒトが進化してきた数百万年のあいだ、環境は物理的にも社会的にも比較的一定だったということだ。しかしもちろん、そうしたことはまったくわかっていない。なにしろ700万年にわたる進化のあいだに、われわれの祖先はいくつもの異なる環境に暮らし、多様な種と（ほかのホミニンも含めて）関わりあい、さまざまなタイプの社会のなかで相互作用しながら、この地球のいたるところに広まってきたのである。現在のヒトの行動を説明する助けとなる何らかの「祖先の環境」があったという考えは、まさに頭でっかちな奇想であり、そのような憶測が出てきたのも、煎じ詰めれば、それしかわれわれにはできないからだ。

はまだ達成されていない。

(43) このグループは以前は「ホミニド」と称されていたが、現在その用語はヒトやチンパンジーやゴリラやオランウータン、およびそれらの祖先のすべてを含めた、大型類人猿の現生種と絶滅種すべてを称するのに使われている。

(44) 古人類学の競争的な性質をうかがわせる一つの材料が、サヘラントロプスの発見と復元と説明のクレジットに名を連ねている人間の数である。たった1個の頭蓋骨についての論文に38人もの著者が列記されているのだ。

(45) http://www.youtube.com/watch?v=V9DIMhKotWU&NR=1で、チンパンジーが2足でぎこちなく歩いているところが見られる。

(46) この足跡と、これができた経緯についての動画はhttp://www.pbs.org/wgbh/evolution/library/07/1/l_071_03.htmlを参照。

(47) 誤解を招きそうな名称だが、ヒトの系統がアフリカから外に移住したのは、このときが二度目である。最初に出ていったのはホモ・エレクトスだ。

(48) 創造論者がヒトの化石記録をどう扱っているかについてはhttp://www.talkorigins.org/faqs/homs/compare.htmlを参照。

(49) 大半の霊長類と違って、ヒトのメスは排卵時にそれを示す明らかなサインをいっさい出さない(たとえばヒヒのメスは、妊娠可能な時期になると性器が膨張して赤くなる)。なぜヒトのメスが妊娠可能な時期を隠蔽するように進化したかについては諸説がある。最も有名なのは、それが配偶者を自分のそばに引きつけておいて扶養と子育てをさせるためのメスの戦略だというものである。自分の妻がいつ妊娠可能なのかを知らないオスが確実に子供の父親になりたければ、つねに妻の近くにいて、頻繁に妻と交尾しなければならない。

(50) FOXP2が言語の遺伝子であるという考えは、これがヒトの系統においてきわめて急速に進化していること、この遺伝子の突然変異体が人間の発話能力と会話理解力に影響を及ぼしていること、およびマウスに同様の突然変異が起こると赤ん坊が鳴けなくなることが確認されたところから来ている。

(51) じつのところ、そうした実験が少なくとも一度は試みられている。1927年、人工授精を通じて動物の雑種を作ることを得意としていたロシアのエキセントリックな生物学者、イリヤ・イヴァノーヴィチ・イヴァノフが、その技法を用いてヒトとチンパンジーの雑種(通称「ヒューマンジー」ないしは「チューマン」)を作ろうと試みたのである。フランス領ギニアの野外研究施設で、イヴァノフは3頭のチンパンジー

新たに形成された同質倍数体は親の種と同じ遺伝子を持っているので、その外観もたいていよく似ている。顕微鏡で染色体を数えて、親の種の2倍になっていることを確認しないと、新しい種のメンバーが識別できないことさえある。それほど親に似ているため、同質倍数体の種は確実にいくつも自然界に存在しているはずだが、その多くはいまだに特定されていない。

(42) 倍数体以外の種分化が「リアルタイム」で起こっている事例はほとんどないが、その珍しい例と思われるものが少なくとも一つある。これにはロンドンの二つの蚊のグループが関わっている。いずれも一般には亜種とされるものだが、この二つのあいだにはかなりの繁殖隔離が見られる。片方のトビイロイエカ(*Culex pipiens pipiens*)は、都会に生息する最も一般的な蚊の一つだ。そのおもな犠牲者は鳥であり、蚊の多くの種と同様に、トビイロイエカのメスは血を吸ったあとにしか産卵しない。冬のあいだにオスは死ぬが、メスは「休眠」と呼ばれる冬眠状態に入る。繁殖期には大きな群れを形成し、オスとメスがいっせいに交尾する。

地下15メートルのロンドンの地下鉄のトンネル内に、これと近縁の亜種チカイエカ(*Culex pipiens molestus*)が生息している。この蚊が哺乳類、特に地下鉄に乗る哺乳類の血を吸うのが好きなことからつけられた学名だ(第二次世界大戦時のロンドン大空襲で、何千人ものロンドン市民が地下鉄に避難して夜を過ごさなければならなかったときは、これが本当に厄介な存在となった)。ネズミやヒトを食い物にはするが、チカイエカは血を吸っていなくても産卵する。そして、ほどよく温かいトンネルの住人に予想されるとおり、閉ざされた空間で交尾するのを好み、冬のあいだも休眠しない。

この二つの亜種の繁殖スタイルの違いから、両者のあいだには自然界においても実験室においても確固とした性的隔離が生じる。さらに両者のあいだにはかなりの遺伝的差異もあることから、この二つは種分化の途上にあるのではないかと見られている。実際、一部の昆虫学者はすでにこれらを別の種として――*Culex pipiens*と*Culex molestus*に――分類している。地下鉄の建設が始まったのは1860年代に入ってからなので、多くの路線はまだ100年と経っていないから、この「種分化」はまだ最近のうちに起こったものと考えられる。だが、この仮説は完璧というわけでもない。じつは似たような種のペアがニューヨークにもいて、同じように片方が地上に生息し、もう片方が地下鉄のトンネル内に生息しているからだ。ひょっとするとどちらのペアも、世界のどこかで生息している遠い昔に分岐した同じようなペアの仲間で、その祖先がロンドンとニューヨークの生息環境にそれぞれ移り住んできたのかもしれない。この問題を解明するには、これらの蚊のDNAにもとづいた正しい系統樹を描かなくてはならないが、現段階で

B種から受け継いだものである。この配偶子がA種の配偶子と融合するわけだが、A種の配偶子にある染色体は3本である。この結合から生じた植物は11本の染色体を持つことになる。そして、この植物は不妊である。なぜならAからの染色体にはそれぞれ対になるパートナーがいるが、Bからの染色体にはパートナーが存在しないからだ。AB倍数体がB種と交配した場合も同じような状況が生じる。子には13本の染色体があるが、Aからの5本の染色体は配偶子形成のときにパートナーと対になれない。

つまり新たに生まれた倍数体は、それを生んだ二つの種のどちらと交配しても、不妊の雑種しか生めないことになる。しかし倍数体同士で交配すれば、子は不妊とはならない。親の16本の染色体をすべて持っているからである。言い換えれば、この倍数体はほかのグループとは繁殖的に隔離された相互繁殖グループを形成しているわけだ。これこそ独立した生物学的種の定義である。そして、このような種は地理的隔離がなくても生じている。それも当然で、二つの種が雑種をつくるのであれば、双方が同じ場所に生息していなければならないだろう。

だが、倍数体の種はそもそもどのようにして形成されるのだろうか。ここではややこしい詳細には触れないが、とりあえずこれだけは言っておこう。二つの親の種のあいだに雑種が生まれたら、そのあとの一連の段階で、その雑種は染色体のセットを2倍持つ珍しい花粉や卵(これを非還元配偶子という)を作らなければならない。この配偶子の融合により、わずか2世代で倍数体の個体が生じる。そしてこのすべての段階は、温室でも自然界でも確認されている。

(41) 同質倍数体の一例として、ある植物の種のメンバーが7組のペアからなる14本の染色体を持っていたとしよう。個体はときおり7本ではなく、14本の染色体すべてを含んだ非還元配偶子を作ることがある。この配偶子が、同じ種の別の個体が作った7本の染色体を含む正常な配偶子と融合すると、21本の染色体を持った半不妊の植物ができる。この植物は、配偶子形成のときに通常の2本ではなく3本の相同染色体がペアを作ろうとするがうまくいかないため、たいていは不妊となる。だが、この個体がふたたび21本の染色体を持った非還元配偶子を作り、それが同じ種からの正常な配偶子と融合したなら、今度は28本の染色体を持った同質倍数体の個体ができる。この個体は親のゲノムの完全なコピーを2組持っている。こうした個体の集団は、新しい種と見なすことができる。ほかの同じような同質倍数体とは相互繁殖できるが、親の種と交配しようとすると21本の染色体を持つ不妊の個体ばかりが生まれることになるからだ。この同質倍数体の種は、親の種のメンバーとまったく同じ遺伝子を持っている。ただし、その数が2倍ではなく4倍になっているのだ。

植物なら花粉と卵）を作るとき、相同染色体は分離して、各ペアの片方だけが精子や卵子や花粉の殻に入る。しかしその前は、相同染色体は対になって整列していなければならない。さもないと適切な分離ができないからだ。染色体が適切に対合（ついごう）できていないと、その個体は配偶子を作れず、したがって不妊となる。

ここで対になれないことが、異質倍数体の種分化の基盤となっている。たとえば、ある植物の種（仮にＡと称する）が3組の相同染色体からなる6本の染色体を持っていたとしよう。そして、これと近縁の種（Ｂと称する）は10本の染色体（5組の相同染色体）を持っているとする。この二つの種のあいだの雑種は、Ａから3本の染色体をもらい、Ｂから5本の染色体をもらうので（それぞれの種の配偶子には染色体の半分だけが入るから）、あわせて8本の染色体を持つことになる。この雑種は元気に生きていけるかもしれないが、いざ花粉や卵を作ろうとすると、困った状況に陥る。片方の種から受け継いだ5本の染色体が、もう片方の種から受け継いだ3本の染色体と対になろうとすると、混乱が生じるのだ。結果的に配偶子の形成は頓挫する。つまり、この雑種は不妊なのだ。

だが、この雑種が何らかの方法によって自分の持っている染色体をすべて倍にし、8本から16本に増やせたなら、話は変わってくる。この新たなスーパー雑種は、染色体の適切な対合ができるようになるだろう。Ａ種から受け継がれた6本の染色体はそれぞれの相同染色体を見つけられるし、Ｂ種から受け継がれた10本の染色体も同様である。対合が適切に行なわれるために、スーパー雑種は不妊とはならず、8本の染色体を持った花粉や卵を作れる。このスーパー雑種が専門的には異質倍数体（*allopolyploid*）と呼ばれる。「異なる」と「多くの折り重なり」を意味するギリシャ語から来た言葉だ。その16本の染色体のなかに、双方の親の種、すなわちＡとＢの遺伝物質がもれなく入っている。したがって、この雑種は二つの親の中間のような姿をしていると予想される。この新たな組み合わせの形質により、新しい生態的ニッチでの生育が可能になるのかもしれない。

このＡＢ倍数体は不妊でないだけでなく、別の同じような倍数体からの受精によっても子を作れる。双方の親からもらった8本の染色体で種子が作られ、それが成長して、また別の16本の染色体を持った、両親と同じようなＡＢ植物となる。こうした倍数体のグループが、自己永続的な相互繁殖する個体群を形成するのである。

そして、これは新しい種でもある。なぜかといえば、ＡＢ倍数体はどちらの親の種からも繁殖的に隔離されているからだ。これがＡ種やＢ種と交配すれば、いずれの場合も子は不妊となる。たとえばＡ種と交配した場合を考えてみよう。この倍数体は8本の染色体を持った配偶子を作る。3本はもともとＡ種から受け継いだもので、あとの5本は

イマから「ヒョウに狙われやすい2メートル近くもの羽毛がないと繁殖できない鳥を創造することを創造主が適合的と見ているだなどと、創造科学者は本当にそう思っているのか」と問われ、こう答えている。「創造科学者がどう思っているかは知らないが、私の意見としては、クジャクは気まぐれな創造主がいかにも好みそうな種類の生物のように思えるし、逆に自然淘汰のような『何も気にとめない機械的なプロセス』こそ、そのような発達はさせないと思う」。だが、性淘汰のような充分に理解のできる検証可能な仮説のほうが、創造主の探りようのない気まぐれのせいにする検証不可能な意見よりも勝るのは確かだろう。

(36) もしメスが発現していない形質に対する好みを持っているのなら、なぜその形質がオスにおいて進化しなかったのかと考える人もいるだろう。それに対する一つの説明は、適切な突然変異が起こらなかったからという単純なものである。もう一つ考えられるのは、適切な突然変異は起こったのだが、それがオスの交尾相手を引きつける能力を高める以上に、オスの生存確率を低めてしまったからという説明だ。

(37) この一致は、実際には連続体である鳥類を同じ任意の点で分けるようにすべての人間の脳が神経学的に配線されていることを示しているだけではないか、という反論もあるかもしれない。しかし、その鳥類自身が同じ区分けを識別していることを思い出してもらいたい。繁殖期が来ると、コマドリのオスはコマドリのメスだけに求愛するのであって、スズメやムクドリやカラスのメスに求愛することはない。ほかの動物も同じだが、鳥もみごとに異なる種を見分けられるのである。

(38) たとえば生じた種の99%が絶滅したとしても、1億年ごとに新しい種が現れる種分化ペースで10億の現生種が生じることになる。

(39) 地質学や生物学や天文学上の過去のできごとを科学がどのようにして再構築しているかについては、以下の本でわかりやすく説明されている。C. Turney. 2006. *Bones, Rocks, and Stars: The Science of When Things Happened*. Macmillan, New York.

(40) 新しい異質倍数体の種がどのように生じるかを、ここでもう少し詳しく説明しよう。このプロセスを理解するのは難しくはないが、いくつかの数字を追っていかなければならないので、しばらく我慢してついてきてほしい。バクテリアとウィルスを除いたすべての種は、各染色体のコピーを2本持っている。たとえばわれわれヒトは46本の染色体を持っているが、これは22組のペア(相同染色体)と、2本の性染色体からなっている。女性の場合はこの性染色体がXXで、男性の場合はXYだ。各染色体のペアの片方は父親から受け継がれ、もう片方は母親から受け継がれる。ある種の個体が配偶子(動物なら精子と卵子、

化の中間段階にある舌は不適応だと思われるから、というのがその理由だが、この主張には根拠がない。この長い舌の説明と、これが自然淘汰によって進化したと思われる理由についてはhttp://www.talkorigins.org/faqs/woodpecker/woodpecker.htmlを参照。

(28) 本書の執筆中に、ネアンデルタール人の骨から抽出されたDNAにも淡い色を作るMCIR遺伝子が含まれているという報告が出てきた。だとすると、ネアンデルタール人も赤毛だった可能性がある。

(29) 犬種は違っても、これらはすべて互いに交配ができるので、いずれも種としてはイヌ(*Canis lupus familiaris*)に分類されると考えられている。もしこれらが化石で発見されているだけだったら、それぞれの大きな違いから、これらのあいだには交配を阻む遺伝的障壁があって、ゆえに別々の種に分類されるはずだと結論を出してしまいそうだ。

(30) この虫はそれぞれの植物種の異なる化学的性質にも適応しているので、新たな形態のカメムシはその時点で寄主としている外来産の植物の茂みにいるほうが、かつての寄主であったムクロジの茂みにいるときよりも繁栄する。

(31) 血液凝固や鞭毛が自然淘汰を通じて進化した経緯についての推測は、ケネス・ミラーの著書(Miller, K. R. 2008. *Only a Theory: Evolution and the Battle for America's Soul*. Viking, New York)、およびPallen, M. J., and N. J. Matzke. 2006. From The Origin of Species to the origin of bacterial flagella. *Nature Reviews Microbiology* 4: 784-790を参照。

(32) メスを前にしてレックで胸を膨らませるキジオライチョウの姿がhttp://www.youtube.com/watch?v=qcWx2VbT_j8で見られる。

(33) 現在わかっているかぎり、有性生殖をする最古の生物は*Bangiomorpha pubescens*という妥当な名称のついた紅藻である。この生物の12億年前の化石には二つの性が明らかに見てとれる。

(34) ここで問題にしているのが交尾成功の分散度におけるオスとメスの差であることを忘れてはならない。対照的に、交尾成功の平均値はオスとメスとでつねに同等だ。生まれてくる子にはかならず1個ずつの父親と母親がいるからである。オスの場合、この平均値は、子のほとんどの父親となっている少数のオスによって得られ、それ以外のオスは何ら寄与しない。一方、メスの場合は、各個体がほとんど同じ数の子を持つ。

(35) この性的二型に関して追及されると、創造論者はこれを創造主の不可解な気まぐれのせいにしてはぐらかす。ID論者のフィリップ・ジョンソンは著書の*Darwin on Trial*において、進化論者のダグラス・フツ

に始まる。

この見渡すかぎりの世界に私は君臨する
私の権利は絶対である
中央から海岸のすみずみにまで行きわたる
私は鳥と獣の王である

(22) この1億5000万年のあいだの大陸移動の様子がアニメーションで見られる。http://mulinet6.li.mahidol.ac.th/cd-rom/cd-rom0309t/Evolution_files/platereconanim.gifを参照。さらに包括的な、地球全体の歴史がわかるアニメーションはhttp://www.scotese.com/を参照。

(23) テニソンの詩「イン・メモリアム(In Memoriam A. H. H.)」(1850年)より。彼の最も有名な一節と言っていいだろう。

[人間は、]神は愛なり
そして愛こそは創世の最後の法であると信じる――
しかして自然は歯と爪を略奪で赤く染めながら
人間のその信念をけたたましく嘲笑するが――

(24) 日本産のスズメバチが外来のミツバチを捕食するところと、日本産ミツバチに逆にあぶり殺されるところの動画がhttp://www.youtube.com/watch?v=DcZCttPGyJ0で見られる。科学者は最近、ミツバチがスズメバチを殺すもう一つの方法を発見した。こちらは窒息死である。キプロス島では、原産のミツバチが侵入してきたスズメバチをやはり球状になって囲い込む。スズメバチは腹部の膨張と収縮を繰り返すことによって細い気道から空気を体内に送り込んでいるが、密集したミツバチの球に囲まれて腹部が動かせず、空気を取り込めなくなるのである。

(25) カール・ジンマーの『パラサイト・レックス』に、寄生生物が寄主を操作するために進化させてきた多くの魅惑的な(かつ恐ろしい)方法が紹介されている。

(26) この話には、同じぐらい驚異的な別の側面もある。このアリは長時間を樹上で過ごすため、滑空能力も進化させているのだ。枝から飛び降りたアリはうまく空気に乗れるので、敵の多い森林の地面に着地する代わりに安全な木の幹に飛び移れる。飛翔するアリがどうやって滑空の方向を制御できているのかはまだわかっていないが、この驚くべき行動の動画はhttp://www.canopyants.com/video1.htmlで見ることができる。

(27) このカンムリキツツキの舌は、進化するはずがない形質の一例として創造論者からときどき引きあいに出される。短い舌から長い舌への進

(14) しかし論文は無事に出版され、ダチョウとウマが走り方こそ違えど、同じ距離を走るのに同じだけのエネルギー総量を使っていることを示してみせた。M. A. Fedak and H. J. Seeherman. 1981. A reappraisal of the energetics of locomotion shows identical costs in bipeds and quadrupeds including the ostrich and the horse. *Nature* 282: 713-716.

(15) 翼が交尾にどのように使われるかを示した動画http://revver.com/video/213669/masai-ostrich-mating/を参照。

(16) 外耳を持たないクジラも、やはり機能を果たしていない耳の筋肉（および役に立っていない微小な耳の穴）を陸生哺乳類だった祖先から受け継いでいる。

(17) 私の知るかぎり、偽遺伝子が復活することは決してない。遺伝子にひとたびそれを不活性化させる突然変異が起こると、たちまち別の突然変異が積み重なって、タンパク質を作る情報をさらに失わせていく。こうした突然変異がすべて逆向きに起こって不活性化した遺伝子を目覚めさせる確率はゼロに近い。

(18) 予想されることだが、アシカのように陸上にいる時間の多い海生哺乳類は、クジラやイルカなどに比べてOR遺伝子が活性化している。おそらくこれらの動物の場合は、いまでも空中に浮遊する匂いを感知する必要があるからだろう。

(19) 創造論者はしばしば進化論全般を攻撃する道具としてヘッケルの「捏造された」図を引きあいに出し、進化論者は見当違いのダーウィニズムを擁護するために事実まで歪めると批判する。しかし、このヘッケルの話はそれほど単純ではない。ひょっとするとヘッケルの罪は不正行為にあるのではなく、仕事のずさんさにあるのかもしれないのだ。彼の「詐欺」は同じ木版を使って三つの異なる胚を描いたという、ただそれだけである。この問題について問われたヘッケルは自らの誤りを認め、それを修正している。つまり、彼がそれらの胚の外観を実際より似て見えるように意識的に歪めたという証拠は特にないのだ。この話についての全容は、Richards, R. J. 2008. *The Tragic Sense of Life: Ernst Haeckel and the Struggle over Evolution*, University of Chicago Press, Chicagoの第8章に書かれている。

(20) われわれはこのほかにも多くの身体的な苦痛の種を祖先から残されている。腰痛、痔、しゃっくり、虫垂炎などは、いずれもわれわれの進化の遺産として生じるものである。これらについてはニール・シュービンの『ヒトのなかの魚、魚のなかのヒト』に書かれている。

(21) ウィリアム・クーパーの詩「アレキサンダー・セルカークの孤独」もセルカークの記事に触発されたものである。有名な冒頭の行はこのよう

にしても、創造論者は全員がある一点において同意している。すなわちホモ・サピエンスはそれ自体が一つの「種類」であって、ゆえに最初から創造されたものに違いないというのである。だが、理論においても実際の進化データにおいても、進化的変化にそのような限定があることを示すものは何ら存在しない。われわれの見るかぎり大進化とは、小進化が長い期間のあいだに積み重なっていった延長上にある（創造論者の「種類」観については以下の二つのサイト、http://www.clarifyingchristianity.com/creation.shtml と http://www.nwcreation.net/biblicalkinds.html を参照。その反証については http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Hangar/2437/kinds.htm を参照）。

(8) 現在の古生物学者の考えでは、獣脚類はすべて――かの有名なティラノサウルスも含めて――何らかのかたちの羽毛に覆われていたと見られている。しかし、その姿が博物館の復元模型や『ジュラシック・パーク』などの映画で見られることはまずない。恐ろしい恐竜であるはずのT・レックスがふわふわした羽毛にくるまれていたりしたら、イメージが台無しになるではないか！

(9) シノルニトサウルスの最初の標本「デイヴ」がどのように発見され、復元されたかについての非常に興味深い経過が http://www.amnh.org/learn/pd/dinos/markmeetsdave.html で紹介されている。

(10) ミクロラプトル・グイの発見と、これが飛べたかどうかについての論争を追った秀逸なドキュメンタリー（The Four-Winged Dinosaur）をアメリカPBS局の科学番組「NOVA」が制作しており、公式サイトで見られるようになっている（http://www.pbs.org/wgbh/nova/microraptor/program.html）。

(11) 近年の驚くべき偉業として、科学者はなんと6800万年前のティラノサウルスの化石からコラーゲンタンパク質の断片を抽出し、その断片のアミノ酸配列を解読することに成功している。この分析によれば、ティラノサウルスはどんな現生脊椎動物よりも現生鳥類（ニワトリとダチョウ）に近い。そのパターンは科学者がかなり前から推測してきたことを裏づけている。すなわち恐竜は、鳥類を生んだ一系統をのぞいてすべて絶滅したということだ。おもしろいことに、生物学者は鳥類のことを高度に修正された恐竜だと認識している。たしかに鳥類は分類上で恐竜とされていることが多い。

(12) クジラのDNA配列とタンパク質配列は、クジラが哺乳類全般のなかで最も偶蹄目の動物に近いことを示しており、その結論は化石証拠とも完全に一致する。

(13) ワシから逃れるために水に入っているミズマメジカの姿は、http://www.youtube.com/watch?v=13GQbT2ljxs を参照。

類において温血性が進化するにつれ、一部のグループの精巣が低温を保つために下降を余儀なくされたという可能性はある。しかしおそらく、体外精巣が進化したのは別の理由によるだろう。精子を作るのに必要な酵素は、体内の温度が上がったために、その機能を果たす能力を失っただけではないだろうか。

(5) 進化を認めようとしない人々がよく用いる反論に、進化の理論は生命の起源も説明できなくてはならないはずだが、それがまだわかっていないのだからダーウィニズムは失格だというものがある。しかし、それは見当違いの言い分だ。進化論は生命(自己複製する生物ないしは分子と定義したい)がこの世に現れたあとのことのみを説明するものだからだ。生命の起源そのものを探るのは進化生物学ではなく、化学、地質学、分子生物学を包含した科学の一分野としての自然発生論がやるべきことである。この分野はまだ研究が始まったばかりでほとんど答えが出ていないため、地球に生命がいかにして誕生したかについての議論は、本書ではあえてとりあげなかった。これに関する多くの競合説について知りたければ、Robert Hazen, *Gen*e*sis: The Scientific Quest for Life's Origin* を参照されたい。

(6) ここで特筆しておくべきは、生命の歴史の前半において、この世に存在する種がバクテリアしかなかったことである。複雑な多細胞生物がようやく現れるのは、生命の歴史の末尾15%になってからなのだ。進化の時系列を実際の尺度で確認したければ、下記のサイトに行って、ページをずっと下までスクロールすればよい。おなじみの多くの生物が現れるのはいかに最近のことであるかわかるだろう。http://andabien.com/html/evolution-time-line.htm

(7) 創造論者はしばしば特殊に創造されたグループのことを指すのに聖書の「種類」の概念を用いているが(創世記1：12-25を参照)、その種類のなかにおいては少々の進化があることを認めている。ある創造論者のウェブサイトでは「種類」がこう説明されている。「たとえばハトには多くの種があるかもしれないが、それらは結局すべてハトである。したがって、ハトは動物の一つの『種類』ということになる(実際には鳥類だが)」。つまり「種類」のなかでの小進化は認めているのだが、異なる種類にまたがる大進化は起こるはずがなく、実際に起こってもいないという。言い換えれば、ある種類のメンバーには共通祖先がいるが、異なる種類のメンバーのあいだに共通祖先はいないということだ。問題は、この「種類」を特定する基準を創造論者が何ら定めていないことである(それは生物学上の属に準ずるのか？　それとも科に準ずるのか？　たとえばハエはすべて一つの種類のメンバーなのか？　それとも別々の種類に属するのか？)。だから彼らが何をもって進化的変化にそのような限定を設けているのか判断がつかない。しかしいずれ

原注

(1) 現代進化論は今でも「ダーウィニズム」と呼ばれるが、その内容自体はダーウィンが最初に提唱したものからはるかに先に進んでいる（たとえばダーウィンはＤＮＡや突然変異のことをまったく知らなかった）。このように提唱者の名前がそのまま理論につけられるのは、科学においては異例のことである。古典物理学を「ニュートニズム」とは言わないし、相対性理論も「アインシュタイニズム」とは呼ばれない。しかしダーウィンが『種の起源』で提唱したことはあまりにも正しく、かつ非常に大きな偉業であったため、多くの人にとって進化生物学はダーウィンの名前と不可分になっている。私も本書のなかでときどき「ダーウィニズム」という用語を使っているが、そこで私が意図しているのは「現代進化論」であることを心に留めておいてもらいたい。

(2) 入れ子構造の階層に分類できるのが人間の言語だ。いくつかの言語は互いによく似ている（英語とドイツ語など）が、別の種類の言語（中国語など）とはずいぶんかけ離れている。実際、言語については単語と文法の類似性にもとづいて進化の系統樹を構築することができる。言語がそのように配列できるのは、言語も一種の進化を遂げてきているからだ。人間が新たな領域に移住して、かつてつきあっていた人々との接触がなくなると、やがて漸進的に変化し、分岐していくのだ。生物の種と同じように、言語にも種分化があり、共通祖先がある。この類似性に初めて気づいたのもダーウィンだった。

(3) 毛深いマンモスは約1万年前に死に絶えた。おそらくわれわれヒトの祖先に狩られて絶滅したのだろう。凍結によって古代の標本が良好に保存されるのは確かで、少なくとも一頭は、エクスプローラーズ・クラブの1951年のニューヨークでの晩餐会に肉が供されるほどみごとに保存されていた。

(4) おそらく祖先の哺乳類は成体になっても精巣を腹部に保持していたと思われる（カモノハシやゾウなど一部の哺乳類は現在でもそうなっている）ので、なぜ進化によって精巣が傷つきやすい体外に移動することになったのかという疑問が出てくる。答えはまだ出ていないが、手がかりとして、精子をつくるのに必要な酵素がそもそも体の中心部の体温では機能しないことが考えられる（だから医者は子づくり中の男性に、性行為の前は熱い風呂に入らないようにと助言するのだ）。哺乳

繁殖隔離障壁

ほかの種とのあいだに繁殖能力をもつ雑種がつくれない原因となっている、種の遺伝的な特徴。たとえば求愛の儀式が異なるため異種との交配ができなければ、その儀式の違いは繁殖隔離障壁である。

ホミニン

進化の系統樹において、現生人類と現生チンパンジーにつながる二つの系統が共通の祖先から分かれたあとの「ヒト」側に位置する、現生種も絶滅種も含めたすべての種。

レック

任意の種のオスが集まって、いっせいに求愛ディスプレーを行なう場所。

のような空きのある新しい生息環境に侵入したときに起こる。この放散が「適応」的であるのは、個体群を環境に適応させる自然淘汰の副産物として、種と種のあいだに遺伝的障壁が生じているため。ハワイ諸島に生息するハワイミツスイの多様な種分化がこの一例。

同質倍数体の種分化

祖先の種の染色体すべてが倍になって、植物の新しい種が発生すること。

同所性種分化

個体群を別の個体群から物理的に隔離する地理的障壁がいっさい存在しないところで起こる種分化。

同族体

同じ遺伝子を含む一組の染色体。ただし、それぞれの遺伝子の「型」は違うこともある。

突然変異

DNAに生じるわずかな変化。通常、生物の遺伝子コードを形成する塩基配列の一個のヌクレオチド塩基だけに変化が生じる。たいていの場合は細胞分割にともなうDNA分子のコピー中にエラーとして生じる。

偽遺伝子

タンパク質産物を作らない不活性化した遺伝子。

ニッチ(生態的地位)

自然界において特定の種が接する、気候、食物、捕食者、被食者などを含めた、一連の物理的、生物学的な環境条件。

配偶子

生殖細胞のこと。動物の精子と卵子、植物の花粉と卵など。

倍数性

種分化の一形態で、異種交配によって生じた新しい種が染色体の数を増やしていることが条件となる。この種分化には同質倍数性のものと異質倍数性のものがある。

大進化

「大きな」進化的変化。通常、身体の形態に大きな変化が生じたり、動植物があるタイプから別のタイプに進化したりすることをさす。たとえば祖先の霊長類から現生人類への変化や、古代爬虫類から鳥類への変化などが、大進化と見なされる。

大陸島

かつては大陸の一部だったが、大陸移動や海水面の上昇などにより、大陸から分離してできた島のこと。グレートブリテン島やマダガスカル島など。

対立遺伝子

突然変異によって生じる遺伝子の特定の型。たとえばヒトの血液型を作るタンパク質をコードする遺伝子には、A、B、Oという三つの対立遺伝子がある。いずれも1個の遺伝子の突然変異型で、DNA配列にわずかな違いがあるだけである。

単為生殖

無性生殖の一形態。個体は卵を作るが、その卵は受精しなくとも成体に発達する。

地理的種分化

二つ以上の個体群が地理的に隔離されたことをきっかけに生じる種分化。この地理的隔離が続いたのちに、遺伝的隔離を生む繁殖障壁ができあがる。

適応

生物のある特徴が、その先祖型よりも特定の機能をよりよく果たすために、自然淘汰によって進化すること、またその特徴。たとえば植物における花は、花粉媒介者を引き寄せるために生じた適応である。

適応度

進化生物学において、ある対立遺伝子の持ち主と別の対立遺伝子の持ち主が産む子の相対的な数を表す専門用語。子の数が多いほど、適応度が高い。しかし一般的な用法として、ある生物が周囲の環境や生活様式にどれだけよく適応しているかを示すのに「適応度」という言葉が用いられることもある。

適応放散

単一の共通祖先から新しい種がいくつも生じること。通常、その祖先が群島

よりも生存や繁殖に有利だった場合の結果として生じる。

四足類

4本の肢を持つ脊椎動物。

姉妹種

互いに最も近縁である（ほかのどの種とよりも類縁関係が近い）二つの種。たとえばヒトとチンパンジーは姉妹種にあたる。

種

メンバーが相互繁殖できる自然個体群のグループで、これらのグループは互いに他のグループとは繁殖的に隔離されている。これが大半の生物学者の支持する「種」の定義で、「生物学的種概念」とも呼ばれる。

種分化

ほかの個体群から繁殖的に隔離された新しい個体群が進化すること。

小進化

「小さな」進化的変化。種の体格や色における変化など。たとえばヒトの個体群のあいだで異なる肌の色や毛髪のタイプが進化しているのがこれにあたる。バクテリアの抗生物質耐性の進化も小進化の一例。

進化

個体群のなかで遺伝的変化が生じること。たいていの場合、時間とともに生物の目に見える形質に変化を生じさせる。

性的二型

種のオスとメスとで異なっている形質のこと。ヒトにおける体格の違いや体毛の有無など。

性淘汰

配偶者獲得の成功率に差をもたらすように対立遺伝子の異なる複製が非ランダムになされること。これも自然淘汰の一形態である。

生物地理学

地球上の動植物の分布を研究する学問。

遺伝率

ある形質の目に見える差異のうち、その原因が各個体の遺伝子の差異にあるものの比率。範囲は0（差異の原因がすべて環境にある）～1（差異の原因がすべて遺伝子にある）で、この数字によって、その形質が自然淘汰や人工淘汰にどれだけ影響されうるかを推定できる。たとえばヒトの身長の遺伝率は、テストされた個体群によって0.6～0.85となっている。

海洋島

大陸と一度もつながったことがなく、ハワイ諸島やガラパゴス諸島のように、火山活動などの要因によって海面下から新しい陸地が生まれたためにできた島のこと。

隔世遺伝（先祖がえり）

祖先の種には存在していたが、のちに消滅した形質がときおり現生種において発現すること。ヒトにおいて、散発的に尾のついた赤ん坊が生まれてくるのもこの一例。

系統分類学

異なる種のあいだの進化的関係を判別し、その関係を示した進化の系統樹を構築する進化生物学の一部門。

ゲノム

ある生物をその生物たらしめるのに必要なすべての遺伝情報。その生物が持つすべての遺伝子とDNAからなる。

固有種

ある特定の地域だけに限定され、それ以外のところには見られない種のこと。ガラパゴス諸島に生息するガラパゴス・フィンチなど。

痕跡形質

祖先の種においては有用だったが、進化後はその機能を果たさなくなり、名残として残っている形質。まったく機能を果たしていない場合（キーウィの翼など）と、新たな用途を獲得している場合（ダチョウの翼など）がある。

自然淘汰

世代が代わるときに対立遺伝子の異なる複製が非ランダムになされること。通常、ある対立遺伝子の持ち主がその環境において別の対立遺伝子の持ち主

用語集

注記：「遺伝子」など、一部の用語には分野によって異なるいくつかの専門的な定義があり、内容が一致しないこともある。その場合は、最も一般的に通用していると思われる定義を載せた。

亜種

種のなかで地理的に分かれている個体群で、ほかの個体群とは異なる形質を一つ以上持つ。生物学では「生態型」または「亜種」とも呼ばれる。

安定化淘汰

個体群のなかでも極端な個体ではなく「平均」的な個体が残っていくようになる自然淘汰。ヒトの赤ん坊でいえば、平均的な体重の赤ん坊のほうが重すぎる赤ん坊や軽すぎる赤ん坊よりも生存する確率が高いのがその一例。

異質倍数体の種分化

植物の新しい種が、二つの異なる種の交配から発生すること。これによって生じた雑種は染色体の数が2倍になっている。

一妻多夫

メスが複数のオスと配偶する配偶様式。

一夫多妻

オスが複数のメスと配偶する配偶様式。

遺伝子

タンパク質産物やRNA産物を作るDNA断片。

遺伝的浮動

世代が変わるときに異なる対立遺伝子がランダムにサンプリングされることによって生じる進化的変化のこと。これにより、淘汰によらない進化的変化が生じる。

アメリカの公立学校における進化教育を守ることを目的に設立された非営利組織、国立科学教育センターが収集した資料をネット上で公開。現在も続く創造論との争いに関して最新情報を提供するとともに、ほかの多くのサイトにもリンクしている。

http://www.pbs.org/wgbh/evolution/
PBS（パブリック・ブロードキャスティング・システム）局が放送したテレビシリーズ「Evolution」から派生した一大サイト。進化論の歴史、進化の証拠、神学的および哲学的問題についての議論などが掲載されている。ヒトの進化についてのセクションは特に秀逸。

http://www.pandasthumb.org/
スティーヴン・ジェイ・グールドの有名な評論「パンダの親指」にちなんで命名されたサイト。進化生物学の近年の発見を紹介するほか、アメリカにおける根強い進化論への反対についてもとりあげている。

http://www.talkorigins.org/
進化をあらゆる側面から検討している包括的なオンラインガイド。http://www.talkorigins.org/faqs/comdesc/のページは、進化の証拠を知るうえで最も充実したオンラインガイドとなっている。

進化生物学に関しては多くの優れたブログがあるが、ここでは特に傑出している二つを紹介する。一つは、ラトガース大学で古生物学を専攻する大学院生、Britan SwitekのブログLaelaps（http://scienceblogs.com/laelaps/）で、古生物学上の話題のみならず、進化生物学と科学哲学に関わる幅広い問題をとりあげている。もう一つは、コーネル大学教授、R. Ford DenisonのブログThis Week in Evolution (http://blog.lib.umn.edu/denis036/thisweekinevolution/)。ここでは進化生物学における新しい発見が次々と紹介されており、大学レベルの生物学を学んだ人なら誰でも理解できるように書かれている。

Pennock, R. T. 1999. *Tower of Babel: The Evidence Against the New Creationism*. MIT Press, Cambridge, MA.
創造論、特にその最新の主張であるインテリジェント・デザインを徹底的に分析し、その偽りを証明する。

——(ed.). 2001. *Intelligent Design Creationism and Its Critics: Philosophical, Theological, and Scientific Perspectives*. MIT Press, Cambridge, MA.
進化論への賛成と反対、双方の立場からの評論をまとめたもの。賛否を取り混ぜた挑発的な主張も見られる。

Petto, A. J., and L. R. Godfrey (eds.). 2007. *Scientists Confront Intelligent Design and Creationism*. W. W. Norton, New York.
古生物学や地質学など、進化と創造の論争に関わる進化論の各分野についての専門家による評論集。この問題の社会学的な面についての議論もある。

Scott, E. C. 2005. *Evolution vs. Creationism: An Introduction*. University of Callifornia Press, Berkeley.
進化論と創造論の実像を冷静かつ公平に論評。

Scott, E. C., and G. Branch. 2006. *Not in Our Classrooms: Why Intelligent Design Is Wrong for Our Schools*. Beacon Press, Boston.
インテリジェント・デザインをはじめとする各種の創造論の表れがアメリカの公立学校にどのような影響を及ぼしているかを、科学、教育、政治などの面から考察した評論集。

オンライン・リソース

http://www.archaeologyinfo.com/evolution.htm
ヒトの進化の各段階を画像と文章でわかりやすく説明している(ただし情報は少し古い)。

http://www.darwin-online.org.uk/
チャールズ・ダーウィンの全研究を網羅したサイト。『種の起源』の六つの版すべてを含めた全書籍のほか、科学論文もすべて掲載。また、Darwin Correspondence Project(http://www.darwinproject.ac.uk/)では、ダーウィンの個人的書簡の多くが閲覧できる。

http://www.gate.net/~rwms/EvoEvidence.html
各方面からの進化の証拠を集めた一大サイト。

http://www.gate.net/~rwms/crebuttals.html
創造論者の多様な主張を検証し、その偽りを徹底的に暴くサイト。

http://www.natcenscied.org/

ピンカー，スティーヴン
…… 309, 372, 396
フールム，ヨルン…… 380
ファインマン，リチャード…… 400
フィッシャー，C…… 127
フォン=ベーア，カール・エルンスト
…… 140
フサーク，ジェリー…… 257
ブッシュ，ジョージ・W…… 10
プライス，トレヴァー…… 321
ブラウン，ドナルド…… 392
プリーケ，サラ…… 257
プルエット=ジョーンズ，
スティーヴン …… 278
ブルネ，ミシェル…… 341
ベーエ，マイケル…… 158
ペイリー，ウィリアム…… 27
ヘッケル，エルンスト…… 147
ペルゲル，スサン…… 250
ポーター，コール…… 389
ホール，バリー…… 229
ホールデーン，J・B・S…… 108

【ま行】

マイヤー，エルンスト…… 294, 301
マキューアン，イアン…… 401
マッデン，ジョア…… 270
ミラー，ケネス…… 246
モノー，ジャック…… 26

【ら行】

ライエル，チャールズ…… 165, 335
リーキー，メアリー…… 348
リーキー，ルイス…… 353
リーキー夫妻…… 336
リンドバーグ，チャールズ…… 189
リンネ，カール…… 38, 333, 366
ルース，マイケル…… 386
レーガン，ロナルド…… 48
レイニー，ポール…… 230
レンスキー，リチャード…… 228
ローマー，アルフレッド…… 120
ロスチャイルド，ウォルター… 294

【わ行】

ワイス，アーサー…… 240
ワイナー，ジョナサン…… 237

ゴールドシュミット，リチャード‥ 47
コラー，E・J‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 127

【さ行】

サリヴァン，アーサー‥‥‥‥‥ 328
ジェファーズ，ロビンソン‥‥‥ 200
シェルドン，ピーター‥‥‥‥‥‥ 74
シマンスキー，リチャード‥‥‥ 291
シャーマー，マイケル‥‥‥‥‥‥ 16
ジャクシバエワ，オルガ‥‥‥‥ 243
シュー，ジュン‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 246
シュービン，ニール‥‥‥‥‥‥‥ 82
ジョーンズ，スティーヴ‥‥‥‥ 376
ジョーンズ三世，ジョン‥‥‥‥‥ 8
ジョハンソン，ドナルド‥‥ 336, 345
ジンスメイスター，ウィリアム‥ 175
シンプソン，ジョージ・ゲイロード
‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 192
スコープス，ジョン‥‥‥‥‥ 9, 332
スコット，ロバート‥‥‥‥‥‥‥ 180
ステノ，ニコラウス‥‥‥‥‥‥‥ 63
セルカーク，アレキサンダー‥‥ 160
セレノ，ポール‥‥‥‥‥‥‥‥ 58, 94

【た行】

ダーウィン，エラスムス‥‥‥‥‥ 29
ダーウィン，チャールズ‥‥‥‥ 10, 17,
28, 58, 67, 88, 140, 160, 163, 177, 181,
207, 220, 254, 255, 281, 296, 309, 330
ダート，レイモンド‥‥‥‥‥‥‥ 328
ダイアル，ケネス‥‥‥‥‥‥‥‥ 97
チャップマン，マシュー‥‥‥‥‥ 10
チョムスキー，ノーム‥‥‥‥‥‥ 396
ディレイ，トム‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 390
テニソン，アルフレッド‥‥‥‥ 202
デフォー，ダニエル‥‥‥‥‥‥‥ 162
デュボワ，ウージェーヌ‥‥‥‥ 335
ドーキンス，リチャード
‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 213, 382, 390
ドゥーリトル，フォード‥‥‥‥ 243
ドゥーリトル，ラッセル‥‥‥‥ 246
ドブジャンスキー，テオドシウス
‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 110, 124, 301

【な行】

ニルソン，ダン=エリック‥‥‥‥ 250
ノレル，マーク‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 91

【は行】

パーシー，ナンシー‥‥‥‥‥‥‥ 387
ハーシェル，ジョン‥‥‥‥‥‥‥ 296
バーリー，ナンシー‥‥‥‥‥‥‥ 291
バック，リンダ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 134
ハリデー，ティム‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 268
ピートリー，マリオン
‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 266, 268, 289
ヒル，アンドルー‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 348
ヒル，ジェフ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 285

唯物主義…… 387
有性生殖…… 272
羊膜卵…… 38

【ら行】

ラエトリの足跡…… 348
ラクターゼ…… 373
利己的な遺伝子…… 390
ルーシー…… 336, 346

人名

【あ行】

アインシュタイン，アルベルト
…… 50, 399
アガシー，ルイ…… 165
アクセル，リチャード…… 134
アムンセン，ロアール…… 180
アンデション，ステファン…… 257
アンデション，マルテ…… 268, 270
イスマイル，ムーレイ…… 274
イングラム，ルース…… 325
ウィアー，ジャクリーン…… 325
ウィリアムズ，ロビン…… 151
ウィルソン，E・O… 106, 294, 392
ウィルソン，アラン…… 362
ウェーゲナー，アルフレート…… 51
ウェルズ，ジョン…… 65
ウェルチ，アリソン…… 288
ウォレス，アルフレッド・ラッセル
…… 42, 267, 281, 335
エディントン，アーサー…… 50
エンドラー，ジョン…… 240
オーア，アレン…… 310, 316

【か行】

カウフマン，ドナルド…… 208
ギッシュ，デュエイン…… 98
キャロル，スコット…… 239
ギルバート，ウィリアム・S… 328
ギンガリッチ，フィリップ…… 248
キング，メアリー=クレア …… 362
キングドン，ジョナサン…… 361
グールド，スティーヴン・ジェイ
…… 112, 366, 394
グラント，ピーター…… 237
グラント，ローズメリー…… 237
グレー，トム…… 346
グレイ，エイサ…… 255
コールター，アン…… 390

直立歩行…… 361
地理的種分化…… 309, 315
ティクターリク・ロゼアエ…… 82
適応形質…… 214
適応度…… 43
適応放散…… 185
同質倍数性…… 322
同所性種分化…… 319
闘争の法則…… 261
淘汰圧…… 226
淘汰プロセス…… 210
突然変異…… 42, 211

【な行】

内在性レトロウィルス…… 133
偽遺伝子…… 129
二足歩行…… 358, 360
乳糖消化能力…… 373
ネアンデルタール人…… 354, 355
ノアの箱舟…… 164

【は行】

倍数体…… 322
発生学…… 139
パラントロプス…… 353
パラントロプス・ボイセイ…… 353
パリンプセスト…… 110
繁殖障壁…… 312
比較解剖学…… 139
ピテカントロプス・エレクトス…… 335
ヒト族…… 341
氷河擦痕…… 179, 180
不耐性…… 374
ブリーディング…… 223
プレート・テクトニクス…… 52
分子時計…… 167, 316
分子分類学…… 166
放射性同位体…… 63
放射年代測定法…… 65
ホビット…… 357
ホミニン…… 341
ホモ・エルガステル…… 353
ホモ・エレクトス…… 336, 353
ホモ・サピエンス…… 355
ホモ・ネアンデルターレンシス
…… 354
ホモ・ハイデルベルゲンシス…… 354
ホモ・ハビリス…… 352
ホモ・フローレシエンシス…… 357
ホモ・ルドルフエンシス…… 353

【ま行】

ミッシング・リンク…… 34, 337, 380
メスの選り好み…… 261
モザイク…… 89

【や行】

野生…… 235

【さ行】

鰓弓…… 141
在来種…… 163, 182
サヘラントロプス・チャデンシス
…… 341
自然主義…… 387
自然淘汰…… 13, 18, 29, 42,
172, 207, 260
自然の非連続性…… 295
自然分類…… 38
姉妹種…… 305, 313
種…… 296
獣脚恐竜…… 91
集団遺伝学…… 309
収斂進化…… 172, 226
種族…… 299, 367
出アフリカ説…… 356
種の分布…… 165
種分化…… 32, 172, 296, 308
樹木化石…… 179
小進化…… 235
進化…… 29, 30
進化圧…… 31
進化系統樹…… 36
進化生物学…… 383
進化適応環境…… 392
進化的変化…… 46
進化論…… 8
人工淘汰…… 223
死んだ遺伝子…… 128
生態型…… 367
性的二型…… 257, 349
性淘汰…… 260
性の二倍のコスト…… 272
生物学的種概念…… 301
生物地理学…… 164
生物保存…… 198
漸進性…… 31
先祖がえり…… 125
粗悪なデザイン…… 151
創造論…… 10
遡及語法…… 55

【た行】

ダーウィニウス・マシラエ…… 380
ダーウィニズム…… 29, 385
大進化…… 235
耐性…… 232, 374
大洋島…… 182
大陸移動説…… 51, 166
大陸島…… 181
対立遺伝子…… 218, 368
タウング・チャイルド…… 331
多地域進化説…… 356
多様性…… 210
単為生殖…… 271
地層累重の法則…… 63
中立…… 221

索引

【英数字】

ＧＬＯ遺伝子…… 130

【あ行】

アウストラロピテクス…… 345, 353

アウストラロピテクス・アナメンシス …… 345

アウストラロピテクス・アファレンシス …… 346, 380

アウストラロピテクス・アフリカヌス …… 331

アウストラロピテクス・ルドルフェンシス…… 351

亜種…… 299, 367

アルディ…… 381

アルディピテクス・ラミダス… 380

イーダ…… 380

移行型…… 54, 78, 88

異質倍数体の種分化…… 321

遺伝子プール…… 300

遺伝的浮動…… 219

遺伝率…… 210

インテリジェント・デザイン …… 9, 241, 382

ウィルス…… 133

羽毛恐竜…… 94

オロリン・ツゲネンシス…… 344

【か行】

海洋島…… 163, 182

科学理論…… 49

隔世遺伝…… 111, 125

化石記録…… 58

感覚便乗…… 290

機会的浮動…… 219

キッツミラー対ドーバー学区…… 8

嗅覚受容体…… 133

共通祖先…… 37, 172

恐竜…… 59

群島…… 311, 315

形態学的種概念…… 298

血液凝固…… 245

言語…… 308

交雑受精…… 309

固有種…… 162

痕跡器官…… 111

ゴンドワナ大陸…… 167



Jerry A. Coyne（ジェリー・A・コイン）著

シカゴ大学環境・進化部門の教授。進化生物学・遺伝を研究対象とする。



塩原　通緒（しおばら・みちお）

翻訳家。立教大学文学部英米文学科卒業。

訳書にハーディー『マザー・ネイチャー』、ブランバーグ『本能はどこまで本能か』、イアコボーニ『ミラーニューロンの発見』（以上、早川書房）、ブロムホール『幼児化するヒト』（河出書房新社）、ランドール『ワープする宇宙』（日本放送出版教会）、ランキン『戦争特派員 ――ゲルニカ爆撃を伝えた男』（中央公論新社）など。

本書に登場する企業・団体名、製品名は、それぞれ各社・団体の商標または登録商標です。

本書中のURLアドレスは原稿執筆時点のものです。

進化のなぜを解明する

2010年2月8日　1版1刷

著　者　Jerry A. Coyne（ジェリー・A・コイン）
訳　者　塩原　通緒（しおばら　みちお）
発行者　瀬川　弘司
発　行　日経BP社
発　売　日経BP出版センター
〒108-8646　東京都港区白金1-17-3
NBFプラチナタワー
☎(03) 6811-8650（日経BP出版局編集）
☎(03) 6811-8200（日経BP出版センター営業）
http://ec.nikkeibp.co.jp/
表紙・カバー　アート・オブ・ノイズ
本文デザイン・DTP　クニメディア(株)
印刷・製本　図書印刷(株)

ISBN978-4-8222-8420-6

Printed in Japan

本書の無断複写複製（コピー）は、特定の場合を除き、

9784822284206

ISBN978-4-8222-8420-6
C0045 ¥2400E

1920045024009

定価(本体2400円+税)

発行 日経BP社
発売 日経BP出版センター



WHY EVOLUTION IS TRUE