

第2回

セントラルドグマ デジタル情報から物質の生成へ

コンピュータデータは、オリジナルとまったく同じコピーを作ることができ、そこではいっさいの複製エラーが許容される余地はない。一方、両親からDNA 遺伝子 産受け継ぐことで種を維持しているヒトは、遺伝に於けるデータの複製エラーを「個性」や「進化」の源へと昇華させることができるのだ。今月は、このような神秘的とも言えるヒトが形作られる情報(データ)の中身を見てみたい。

浅田一憲 株式会社オープンループ、北海道大学大学院医学研究科
多田光宏 北海道大学遺伝子病制御研究所、株式会社ジェネティクスラボ

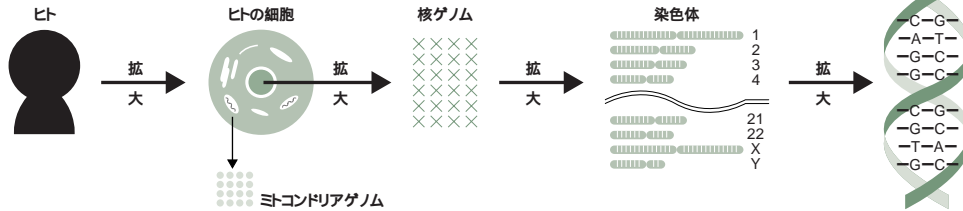
4つの塩基が遺伝情報の元

およそ 10^{13} 個あるヒトの細胞には、赤血球などの例外を除いて、すべて遺伝情報が含まれている。それゆえ、体のほんの一部、極言すれば1つの細胞だけあれば、その人のすべての遺伝情報が手に入ることになる。これがクローンを作ることができるゆえんである。こうした遺伝情報は、アデニン(A)、チミン(T)、シトシン(C)、グアニン(G)の4種類の塩基 からなるデオキシリボ核酸(DNA)の配列の中に含まれている。ご存じのようにDNAは二重らせん構造になっており、水素結合によりAとT、GとCがそれぞれ結び付くので、片方のらせんにあるAとT、GとCは、もう片方のらせんにあるお互いのパートナーと結び付いている。こうした塩基は英語でbase (b)、塩基対はbase pair (bp)と呼ばれ、一本鎖DNAを数えるときは「ベース (b)、二本鎖DNAを数えるときには「ベースペア (bp)」という単位を使用する。

ヒトのDNAを構成する塩基の数は母親由来の約33億ベース(3.3ギガb)と父親由来の約33億ベースの合計66億ベース(6.6ギガb)だが、「ゲノム (= 生命の遺伝情報全体を表す塩基配列) の総数は33億ベ

約2万塩基からなる腫瘍抑制
遺伝子の配列(一部を抜粋)

ヒトの遺伝子



と定義されている。どうしてゲノムの総数を実際の66億ベースではなく33億ベースと定義するのか？ それは、母親由来の遺伝子セットと父親由来の遺伝子セットは細部を除けばほとんど同じだからだ。

ヒトゲノムはわずか1.65ギガバイト

ヒトゲノムはさらに2つの部分に分かれ、約33億ベースの「核ゲノム」と1万6569ベースの「ミトコンドリアゲノム」によりコーディングされている。ITを使ってゲノムをデジタル化すると、4種類の塩基はそれぞれに2ビットで表記できるので、その総容量は「2ビット×66億(6.6ギガ)ベース=約13.2ギガビット」となる。つまりわずか1.65ギガバイトしか必要としないのだ。人間1人分の遺伝情報なんてCD-Rの3枚もあれば全部入ってしまうことになる。ノートパソコンのハードディスクには、人間10人分が丸々入ってしまう。このような数字を見ると、「人間は意外と複雑ではない」と思うかもしれない。しかし生命の驚異は、むしろこうしたパソコンのOSより少ない情報量の中に、きわめて精緻な生命体を作り出す設計図が凝縮されている点にある。そう考えると、生命は我々のIT技術よりもずっ

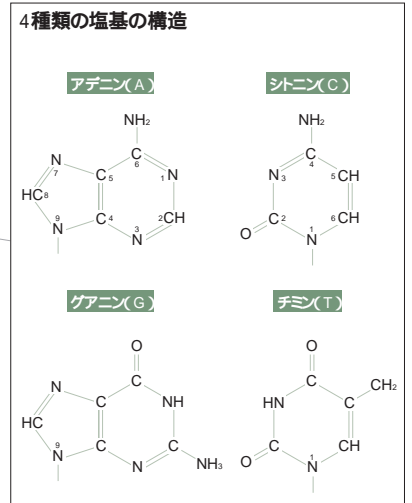
とシンプルで効率が高い。

ヒトゲノム中の核ゲノムは24のDNA分子に分かれており、それらは「染色体」と呼ばれる。染色体には常染色体の1番から22番までと、性染色体のXとYという番号や記号が付いている。1つの細胞には、常染色体が2本ずつと、性染色体が2本(男性はXY、女性はXX)の、計46本が含まれている。これこそが、冒頭に述べた遺伝情報の実体である。

ゲノムデータは細胞分裂によって細胞から細胞へ、親から子へコピーされる。30億以上の長さ(33億ベース)があるので、コピーの際にまれにエラーが発生することもある。たいていのエラーは修復されるが、中には修復されずにオリジナルとはわずかに違うゲノムを持った細胞もできることがある。こうして1人1人違った人間が生まれるのだ。コンピュータのデータコピーでは複製エラーは許されないが、生命では種の存続に危機が生じない許容範囲でのデフォルトエラー率が設定されており、それが多様性や進化の源になっている。

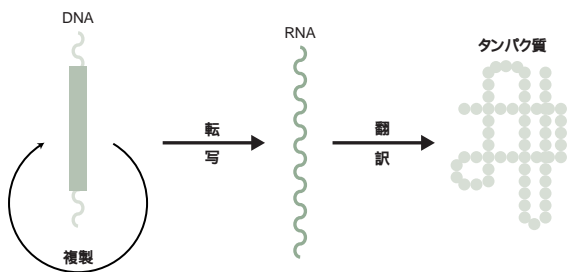
遺伝子からたんぱく質へ

遺伝子は「遺伝子発現」と呼ばれる生



発現……事物が明確な形となって認識されるようになること。

遺伝情報はこうして受け継がれる セントラルドグマ



生物の遺伝情報はDNAに保存されており、この情報を子孫へ伝えるときはDNAからDNAに複製する。遺伝情報の発現に際しては、DNA → RNA → タンパク質という向きで遺伝情報が流れる。この流れが逆転し、タンパク質に流れ込んだ情報がDNAやRNAに逆流することは決してないというのが「セントラルドグマ(中心教義)」の考え方である。

化学反応を引き起こすゲノムの中の連続した塩基配列で、核ゲノムの約25パーセントに約4万個が含まれると考えられている。

体の中では、たんぱく質によって多くの営みがなされている。血液中にあって体の隅々まで酸素を運ぶヘモグロビンというたんぱく質は有名だが、他にも多くのものがある。構造形成(例:コラーゲン)、アクチュエーター(例:ミオシン)、情報伝達(例:ペプチドホルモン)、物質輸送(例:ヘモグロビン)、物質生産・分解(例:アミラーゼ)など、たんぱく質は生体のあらゆる構造や機能を担っている。つまり、生体は「たんぱく質作用マシン」なのである。

たんぱく質は遺伝子によって作られる。とは言え、遺伝子が直接たんぱく質を作るのではない。細胞中の遺伝子の塩基配列は、RNAポリメラーゼという酵素によって、DNA配列を鋳型にしてmRNA(メッセンジャーRNA)という中間体の核酸が合成される(転写)。その後、このmRNAの3塩基ずつ(トリプレットコドン)に対応する20種類のアミノ酸の連鎖からなる高分子「ペプチド」(=たんぱく質)が合成される(翻訳)。遺伝子の配列が、こうしてmRNAやたんぱく質という現実の物質に置き換わることを「遺伝子発現」という。

遺伝子が発現するかしないかは遺伝子の側ではなく、たんぱく質の側で制御されている。遺伝子の制御領域に転写因子というたんぱく質が付着することでスイッチ

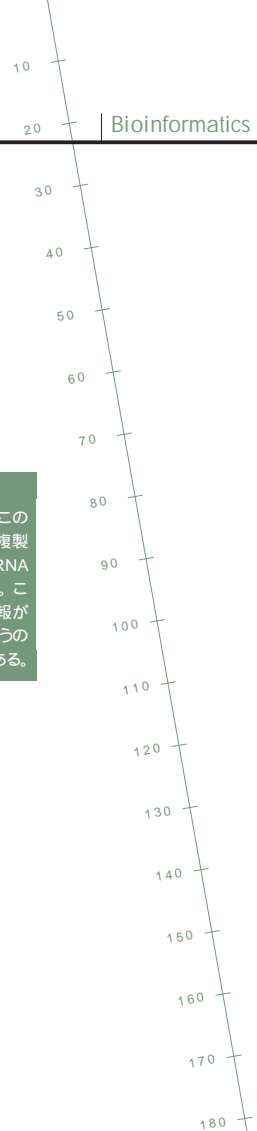
ングが行われているのだ。遺伝子によるたんぱく質の合成には、遺伝子にたんぱく質が付着することが必要で、再帰構造になっている。そうだとすると、「DNAが先か? たんぱく質が先か?」という問題が出てくる。動物の卵細胞を使った最近の研究によると、その答えは「DNAが先」だ。ただし、そのためには「いくつかの基本的なたんぱく質のセットがDNAより以前に存在していること」が条件らしい。これは、PCで重いOSを立ち上げるために**ブートストラップ**として小さなIPOプログラムを利用するやり方に驚くほどよく似ている。

「ゲノムに含まれる遺伝子がmRNAに転写され、それがたんぱく質に翻訳され、たんぱく質が生体を動かす」、こうした情報の流れを「セントラルドグマ」と呼ぶ。

遺伝子は約4万個しかないと考えられているのに、体内ではもっと多くのたんぱく質が作用している。どうしてそれほど多種類のたんぱく質を作れるのだろうか? 1つの遺伝子は、丸ごと全部使われるわけではなく、いくつかに切り出されて(スプライス)RNAを形成するからだ。さらに、隣の遺伝子と一緒に働いてたんぱく質を作ることもある。このようにして作られるたんぱく質の種類が、結果として10万以上にもなるわけだ。ゲノムに埋め込まれたデジタルの情報は、体の中でたんぱく質という物質に置き換わってリアルワールドで作用するのである。

ブートストラップ.....コンピュータシステムを起動させること。

参考文献:『ゲノム 新しい生命情報システムへのアプローチ』 T. A. Brown(著)/村松正賢(訳)





[インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ] ご利用上の注意

このPDFファイルは、株式会社インプレスR&D(株式会社インプレスから分割)が1994年～2006年まで発行した月刊誌『インターネットマガジン』の誌面をPDF化し、「インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ」として以下のウェブサイト「All-in-One INTERNET magazine 2.0」で公開しているものです。

<http://i.impressRD.jp/bn>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、URL、団体・企業名、商品名、価格、プレゼント募集、アンケートなど)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真の撮影者、イラストの作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は収録されていない場合があります。
- このファイルやその内容を改変したり、商用を目的として再利用することはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用する際は、出典として媒体名および月号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレス R&D)、コピーライトなどの情報をご明記ください。
- オリジナルの雑誌の発行時点では、株式会社インプレス R&D(当時は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

このファイルに関するお問い合わせ先

株式会社インプレスR&D

All-in-One INTERNET magazine 編集部

im-info@impress.co.jp