

元素で読み解く 生命史

山岸明彦

Yamagishi Akihiko

インターナショナル新書 122

はじめに

生物の情報は遺伝子に記録されている

ヒトも、植物も、微生物も、生物の細胞は水が7割前後、残りの大部分は有機化合物でできている。有機化合物の約半分は、タンパク質である。

タンパク質はアミノ酸が数十個から数百個結合したものである。生物は20種類のアミノ酸を使っているが、その20種類のアミノ酸は遺伝情報で決められた配列で結合し、タンパク質をつくる。できたタンパク質は遺伝情報で決められている構造をとり、筋肉の動きや神経の働き、さらに触媒反応など、生物のほとんどの機能を発揮する。

たとえば筋肉のタンパク質であるアクチンとミオシンは、決まった構造をとつて筋肉細胞を収縮させる。神経細胞表面のタンパク質は、神経シグナルを伝達する。細胞の中には酵素と呼ばれる触媒タンパク質が含まれている。酵素は触媒として機能し、ある分子を他の分子に変え る。

こうしたタンパク質の構造と機能は、遺伝子に記録されている。つまり遺伝子は、タンパク質の構造と機能の設計図といえる。そして、その設計図はDNAにACG Tの文字で記録されている。DNAというのは核酸と呼ばれる細長い分子で、そこにACG Tと略される塩基が文字のように並んで設計情報を記録している。

元素を利用してることで、人類は進化した

DNA上の遺伝情報は、いつたんRNAに写し取られたのちに翻訳され、タンパク質となる。そのタンパク質に、生物のほとんどすべての機能が担われている。

それではRNAとは何か。RNAはDNAと同じ核酸の一種である。DNAと分子の構造がほんの少し異なっているが、DNAと同じように遺伝情報を記録することができる。

「RNAは遺伝情報の単なるコピーである」と以前は考えられていたが、今ではRNAが遺伝の仕組みの本質的機能を担っていることがわかつってきた。では、そのRNAは何からできているのか。

RNAは塩基とリボース、それにリン酸で構成されている。さらに元素にまで分解すると、RNAは炭素(C)、水素(H)、酸素(O)、窒素(N)、リン(P)からできている。なぜRNAは炭素を、さらには水素、酸素、窒素、リンを使うのだろう。

そして生物は進化する。もちろん人類も生物ではあるが、人類は他の生物とは異なる進化をしてきた。

人類は、火や道具を使うことによつて進化した。それでは火の利用や、道具の使用、さらにその製作は、どのようなきつかけではじまり、集団に伝わつたのだろう。

動物の行動は本能に従つているが、その本能の行動様式も遺伝子に記録されている。もし火の利用や、道具の使用・製作が本能に基づいて行われるのであれば、遺伝子に変化が起こらなければならぬ。遺伝子の変化は完全にでたらめに起きるので、生存に有利な変化が蓄積するためには何万年もかかつてしまふ。

生物は身体の構造を変えて進化する。しかし、人間は身体の構造を数千年のあいだでは変化させていない。人間は身体の構造を変えることなく、道具をつくることで様々な能力を身に付けてきた。

人間のつくり出した道具は、わずか数千年で飛躍的な進歩を遂げた。なぜ人類はこんなにも速く、使用する道具を進歩させられたのか。

また、人類は道具をつくるのに、身近にある元素を利用してきた。身近といつても、利用可能な元素は、その時代の技術力によつて変わつてくる。最初は自然の中で手に入る元素をそのまま使つていたが、やがて精錬して利用するようになつていつた。

人類文明史に、動物としての変化は関わっていない

動物が身体を進化させてきたのに対して、人間は道具を進歩させてきた。人間は、そのとき利用可能なものがあればそれを利用する。そのとき人間は考えない。

地球に生命が誕生してから約41億年、多細胞生物が現れてから数億年。その間、動物の遺伝子には様々な変異が起き、その中から環境に適応した変異が選択してきた。一方、人間の遺伝子は文明史の時間では、ほとんど変わっていない。道具と技術の進歩には、ヒトの動物としての進化は関わっていないといえる。

それでは道具と技術の進歩は、なぜ速かったのか。それは「情報の進化速度」が速かったからだ。人類文明史において、情報は「遺伝子以外」の形で蓄積されてきた。まずは高度な言語と文字の使用が、人類の文明発達に対し、大きく寄与した。人間は、言語と文字で情報を記録し、伝えることによって、動物よりもはるかに速い速度で環境に適応してきた。

カギは元素が握る

本書は元素に着目し、地球の生命を論じている。

第1章では、「どのような元素を使って、生命は誕生したのか」、生命と元素の関係を説く。

第2章では、「その元素は、どこでどのように誕生したのか」、また「それはどのように地球上に

もたらされたのか」を確認する。第3章では「生命41億年の歴史の中で何が起きたのか」、さらには「そのとき元素はどう使われたか」、生命史における元素の関与を調べる。第4章では「元素が人類史でどのように使われたのか、それはなぜか」を推察する。そして最終章である第5章では、元素利用と人類進化の方向性を探る。

生命はどのように誕生したか、そのとき生命はどのように元素を使つてきたのか。生命と人類はどのように進化したか。そのとき、どのように元素を使つてきたのか。生命と人類の元素利用の歴史を読み解いていく。

宇宙の誕生から人類の未来まで、生命と人類進化のカギは元素が握っている。そのとき生命は考えない。

目次

はじめに

生物の情報は遺伝子に記録されている／元素を利用することで、人類は進化した／人類文明史に、動物としての変化は関わっていない／カギは元素が握る

第1章 元素と生命の関係

ジャンボジエットが自動的にできた、どんなに奇跡的か／ヒトの身体はどうできた／水はどこから来たのか／生命の定義はまだない／なぜ生命の誕生が難しいか／最初の生命はRNA細胞／RNA単量体の無生物的合成／生命が誕生した場所／生命の起源は陸か海か／RNA細胞の構造／なぜRNAは炭素を使うのか／でたらめにつながった無数のRNA分子／なぜ炭素、水素、酸素、窒素、リンを使ったのか／リンが利用された理由

第2章 元素の誕生から、地球の形成へ

宇宙にある元素の量はなぜわかる／最初の元素／宇宙のはじまり／膨張する宇宙／水素の誕生／地球が生まれるまで／大陸地殻の完成

第3章

元素と生命の誕生

生命の進化は「長い文章」と「句読点」で書かれている／「地球は凍らない」と思っていた／酸素濃度の急上昇／およそ23億年前に何があった／なぜ凍ったか／氷が融けた原因／真核生物の誕生／ミトコンドリアと葉緑体／ミトコンドリアの性質／植物の葉緑体は、一つの祖先から誕生した／真核生物の祖先は古細菌？／複雑な真核生物の誕生／酸素はなぜ必要か／原生生物の分化／真核藻類の二次共生／原生生物の多細胞化／全球凍結と酸素濃度上昇／カンブリア爆発／前口動物と後口動物／カンブリア爆発における形態形成進化／中生代末の大量絶滅／複数回起きた大量絶滅／大量絶滅後の適応放散／魚類の誕生／哺乳類の適応放散／生物は使える元素を利用した／極微量の金属イオン／特殊な元素の利用

第4章

元素で知るサピエンス史

人類誕生／人間の道具の利用／言葉を話す／大きな頭脳／火の利用／石器の利用／情報技術の役割／文字の利用／電磁気の利用／神経、目、鼻、耳、口の役割／生物はなぜ進化する／進化の仕組み／人類は身近な元素を用いている／ケイ素カルシウムの発見／青銅の発見／鉄の発見／電子機器の時代／シリコン（ケイ素）の利用／金の魅力／元素を利用した人類史

第5章

元素が人類を進化させる

人類の進歩はなぜ速い／動物の爪や牙に代わるもの／補助具の進歩／組織や臓器の補助と人工知能／産業革命／人類の進歩を加速させたレアメタル／レアアースとは何か／言語と文字／開発段階での試行錯誤／市場による選択／統合的な計画は必要ない／工業社会の未来／スマホは人間の眼や耳に近づいている／人工聴力、人工視力、義手の進歩／ドローン技術／ヒト型ロボットはいつ生まれるか／クローンと食肉生産／クローン技術とヒト／アンドロイドの完成は近い／記憶の読み取り／記憶複写による意識の複写／機械による支配の可能性／人類に未来はあるか／「最後の審判」としての自然選択

おわりに

主要参考文献

第1章 元素と生命の関係

ジャンボジエットが自動的にできた、どんなに奇跡的か

ビッグバンの名付け親である天文学者のフレッド・ホイルによると、「最も単純な单細胞生物に必要な酵素がすべてつくられる確率は、 $10の4万乗分の1$ 」だという。これは「竜巻が廃品置き場を通り過ぎたあとに、ボーイング747ジャンボジエット機ができ上がるっているのと同じ確率」だという。では、ジャンボジエット機には、どれほどの部品が使われているのか。ジャンボジエット機には、およそ600万個の部品が使われている。そんなものが、自然に完成することなどあり得るだろうか。

その質問には、もちろん即座に答えることができる。「そんなことは、あり得ない」と。

ヒトの身体はどうできた

一方、ヒトの身体は、約37兆個の細胞からつくられている。この数はジャンボジエット機を構成する部品数よりも、はるかに多い。ところが、ヒトの身体は誰かが組み立てたわけではない。母親の子宮の中で、赤ん坊の身体は自然につくられる。生まれてからはミルクを飲んで育ち、食事をとり成長していく。

そのあいだも身体はつくられ続けるが、そうした過程も自然に進行する。ジャンボジエット機よりもはるかに多くの部品、ヒトの約37兆個の細胞は、ヒトの身体を自然に構成している。

もちろん、こうした仕組みは、いきなり完成したわけではない。このような複雑なシステムが誕生した謎を解くカギは進化にある。進化を考えなければ、「およそ37兆個もの細胞が、ヒトの身体を自然に構成する」といったシステムが生み出されることはない。

最初のヒト (*Homo sapiens*) が誕生する前には、様々な生命の歴史があった。ヒトの祖先である原人は、およそ250万～200万年前に猿人から分岐して誕生した。その猿人が誕生したのは、今から数百万年前のことである。

最初の猿人が誕生する前には、長い哺乳類の歴史があつた。哺乳類の祖先は今から2億2500万年前に誕生した。それ以前にも、生命には長い歴史があるが、それを振り返るのは後の章に譲ることにしよう。

時代を一気に40億年ほど前までさかのぼると、現在生きているすべての生物（動物も植物もカビも細菌も含めて）は、一つの共通する祖先から誕生した。その全生物の共通祖先は、コモノート（あるいはL U C A 「ルカ」と呼ばれている）。

コモノートが誕生する前にも、生命には1億年ほどの歴史がある。コモノートにつながる「最初の生命」は、R N A 細胞であつた。最初の生命であるR N A 細胞については、本章の後半で詳しく説明するが、はたして生命の起源を考えるとき、R N A 細胞は本当に自然に偶然に誕生するのだろうか？

水はどこから来たのか

そもそも生物の身体を構成する材料は、どこでつくられたのだろうか。生物の身体の約70パーセントは、水でできている。ヒトであれ、植物であれ、大腸菌であれ、どのような生物であっても、その比率はほぼ変わらない。

では、その水はどこで生み出されたのか。水は宇宙でつくられた。宇宙空間で最も多い分子は水素分子(H_2)で、その次に多いのが水と一酸化炭素である。

水の分子は、宇宙空間に多量にある。とはいっても、宇宙空間は地球上のどのような真空よりも、さらに何もない完全真空中である。その密度は非常に低いのだが、宇宙空間が膨大なので水分子の全量は多い。

暗黒星雲（専門的には分子雲と呼ぶ）では、様々な分子がどんどん濃縮している。その過程で、非常に薄く宇宙空間にばらまかれた水分子もまた次々と濃縮していく。濃縮された水分子は低温の宇宙空間で氷となり、他の元素や分子とともに塊となる。

宇宙で塊となつた氷は、どのようなプロセスを経て地球の表面にたどり着いたのか。これについては、まだ詳しいことはわかっていない。よくわかつてはいないが、おそらく地球が生まれたときに、水も一緒に宇宙から取り込まれたのか。あるいは地球が生まれた後に彗星や隕石によつて運ばれてきて、地球の水の起源となつたのかもしれない。

いずれにせよ、宇宙で生成された水が、およそ46億年前の生まれたての地球へやつてきたことは間違いない。つまり、生物の材料のうち、水は宇宙でつくられてから地球にたどり着いた。

生命の定義はまだない

では、そのほかの生物の材料は、どこから来たのか。まずは「そもそも生物とは何か」ということから考えよう。

生物とは何か、何をもつて生物と呼ぶのか。じつのところ、その質問に対する答えはまだない。もちろん「生物とは何か」という問題を論文として発表している研究者も、世界には200人ほどいる。ところが研究者によつて、その答えは異なつている。

「生物とは何か」について考える研究者が200人いれば、その答えは200通り存在し、それぞれ微妙に違つてくる。したがつて、「すべての研究者が同意する答えは、まだ見つかっていない」というのが、「生物とは何か」について考える研究者たちの一一致した見解である。

たとえば、「増殖する」ことを、生命の基本的な性質だと考える研究者がいたとする（おそらく、そう考える研究者は多い）。ところが、「ウサギが1匹でいても、増殖しないではないか」「ミツバチが1匹いても増殖しないではないか」という議論が真面目に、生命の定義を研究する論文中に書かれている。ウサギが増殖するためには、若い健康なメスと若い健康なオス

のウサギがいなければならぬからだ。

また、ミツバチが増殖するためには、女王バチを中心としたひと群れのミツバチの集団が必要である。つまり「増殖すること」を定義とすると、1匹のウサギも1匹のミツバチも、さらには1人のヒトも生物ではなくなってしまうわけである。というわけで、「増殖する」という定義は、生命研究者のあいだでは評判が悪い。

しかし、微生物の場合を考えてみよう。たとえば微生物の細胞が生きているかどうかは、どのように判定するか。顕微鏡で観察したとしても、微生物の細胞の生死を判定するのは難しい。専門の研究者であっても、普通の明視野顕微鏡で観察しただけでは「その微生物の細胞が生きているかどうか」を判定するのは不可能である。

では、微生物の細胞1個を寒天培地の上に載せて、その細胞が増殖してコロニー（多数の細胞の塊）を形成したとすればどうだろう。その微生物細胞は、間違いない生きているといえる。こと微生物に関しては、「増殖する」という現象は、生命を考える上で大いに役立つ性質である。本章でも「増殖する」ということを、最初の生命を見分けるための判断材料にしてみよう。

なぜ生命の誕生が難しいか

現在、地球上で生きている微生物の細胞は必要な物質、たとえばアミノ酸や糖などを培養液

から取り込み、それらを使って自分の細胞をつくり出している。そして、自分の細胞の成分が最初の2倍ほどになると、その細胞は分裂する。

微生物にとつて最も重要なのは、「タンパク質をつくる」ということである。タンパク質は我々の食べる栄養素もある。我々は、食べたタンパク質を、いったんアミノ酸にまで分解する。そのアミノ酸から、我々は自分自身に必要なタンパク質を合成している。

筋肉もその一つだ。筋肉の主要なタンパク質である「ミオシン」と「アクチン」は、食べたタンパク質を分解したアミノ酸から合成される。微生物も同じことを細胞内で行う。もちろん微生物には筋肉がないので、ミオシンもアクチンもつくっていない。その代わり微生物に必要なタンパク質である酵素を合成している。

これらのタンパク質をつくるときに使われるのが、遺伝情報である。遺伝情報はDNAに記録されている。DNAに記録された遺伝情報を使って、たとえば筋肉などのタンパク質はつくられる。つまり、遺伝情報とはタンパク質をつくる際に、どのようにアミノ酸を結合するかを指示する指令書（設計図）である。

筋肉細胞は遺伝情報を使って、アクチンとミオシンを生成する。微生物も同じで、遺伝情報を使って自身を維持するのに必要なタンパク質を生み出している。

ここに「生命の起源」に関わる最大の謎が存在する。遺伝情報をもとにタンパク質がつくら

元素で読み解く生命史
山岸明彦

発行：集英社インターナショナル（発売：集英社）
定価：913円(10%税込)
発売日：2023年4月7日
ISBN：978-4-7976-8122-2

ネット書店でのご予約・ご注文は [こちらからどうぞ！](#)