

生命は奇跡ではない

生命を作る



背景

主要人物
スタンリー・ミラー
(1930～2007年)

ハロルド・ユリー
(1893～1981年)

その前

1828年 フリードリヒ・ヴェーラーが尿素を作る。これにより初めて無機物から有機物(生物体を構成する要素)が人工的に合成される。

1859年 ルイ・パスツールが、生命は空気中や無機物から自然発生しないことを明らかにする。

1924、1929年 アレクサンドル・オパーリンとJ・B・S・ホールデンが、生命の起源に関する理論をそれぞれ発表する。

その後

1968年 レスリー・オーゲルが、生命の起源はRNAにあるという説を唱える。

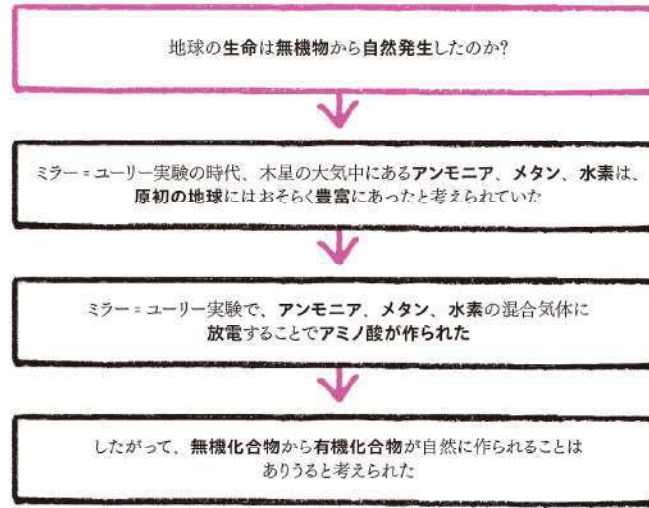
1993年 マイケル・ラッセルが、生命の起源は海底の熱水噴出孔の周りでの代謝にあると主張する。

2010年 クレイグ・ヴェンターのチームが合成生命体を作る。

生命は地球最大の奇跡だ。おそらく宇宙最大の奇跡でもあるだろう。知られている限り、地球上の生物はすべて、地球の歴史の初期に驚くべき偶然によって生じた、複雑な化学物質の結合に端を発している。この結合により、成長だけでなく、自己複製すらもできる有機的な構造が生まれた。科学者たちは長年、この偶然がどのように起こったのか、また、それを実験室で再現し、人工的に生命体を作り出すことは可能なのかという難問に、考えを巡らせてきた。

1920年代、生命の自然発生説を覆したパスツールの説に墨を唱える科学者が現れた。ソ連の生化学者アレクサンドル・オパーリンと英国の遺伝学者J・B・

参照：■有機化合物は人工的に作れる(p27) ■生物は細胞でできている(p28～31)
■遺伝暗号(p232～33) ■ヒトゲノム計画(p242～43)



S・ホールデンだ。ふたりは無機物から有機物ができ、さらに生命が誕生したという、生命起源論を提唱した。最大の論点は、生命の土台になる複雑な有機化合物が自己組織化するかどうか、つまり自然に作られるかどうかにあった。

有機物を作る

1953年、米国の化学者スタンリー・ミラーとハロルド・ユリーによって、オパーリンとホールデンの説を検証する実験が行われた。この有名な実験でふたりがしようとしたのは、地球の原初の大気の状態を再現し、オパーリンの説とおり、そのような濃い大気中で雷が頻発することで、適切な分子の結合を引き起こすのに必要なエネルギーが発生するかどうかを確かめることだった。

ミラーとユリーは原初の地球の大気中があったと考えられる気体(アンモニア、メタン、水素)をすべてガラス容器に入れて密閉し、そこに水蒸気を加えたら

えで、その混合気体に放電を繰り返した。1日後、容器内の水がピンク色に変わった。1週間後、水は暗い赤色を帯び、濃い混合液と化した。液体を分析すると、5種類のアミノ酸が見つかった。炭素原子を骨格とするアミノ酸はタンパク質の構成要素であり、知られているすべての生物の土台になっている物質だ。2007年には、現代の技術を使って、当時の実験結果のさらに詳しい分析が行われ、少なくとも13種類のアミノ酸が作られていたことがわかった。

ミラーとユリーはこれにより無機物から有機化合物を作れることを証明した。似た実験では、炭水化物から、単純な化学反応によってタンパク質が合成されることも明らかにされた。

これはつまり、生命に必要な基本物質が作られる現象はけっして特別なものではないということだ。今の瞬間にも、宇宙のあちこちでそういう現象が起こっていてもふしぎではない。初期の地球に



スタンリー・ミラー

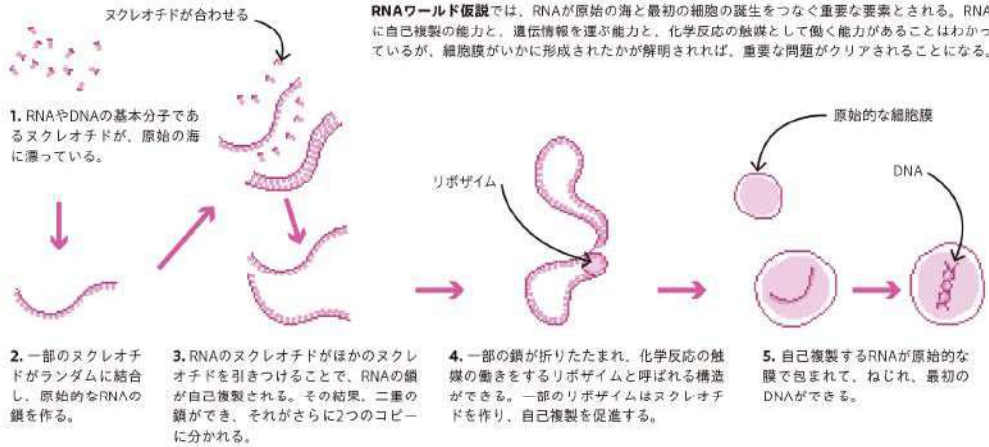
1930年、米国オークランドに生まれる。1951年、カリフォルニア大学パークレー校の化学科を卒業。同じ年、ノーベル化学賞受賞者ハロルド・ユリーの太陽系の起源についての講義と、原初の地球でいかに有機化合物が形成されたかについての講義を聴いた。この講義に感銘を受けたミラーがユリーを説得し、有名な1953年の実験は行われた。

カリフォルニア工科大学、コロンビア大学、1960年からはカリフォルニア大学サンディエゴ校で化学を教えながら、有機化合物の合成の研究を続け、1973年に、1953年の実験を再度行って、33種類のアミノ酸を作った。宇宙生物学の草分けであり、火星生命探査の中心的な推進者でもあった。地球の生命の起源に関する自説の正しさがそれによって確かめられることを期待していた。2007年没。

代表的な著作 論文

1953年「原始地球環境におけるアミノ酸の生成」

1986年「小分子の前生物的合成の現状」



RNAワールド仮説では、RNAが原始の海と最初の細胞の誕生をつなぐ重要な要素とされる。RNAに自己複製の能力と、遺伝情報を運ぶ能力と、化学反応の触媒として働く能力があることはわかっているが、細胞膜がいかに形成されたかが解明できれば、重要な問題がクリアされることになる。

は、彗星が何百万トンもの有機化合物をもたらしたと研究者は推定している。とはいえ、タンパク質が自己複製できる化合物になるまでには大きな飛躍が要し、そこから最初の細胞になる、つまり化合物が膜で包まれて、自己完結した一つの単位になるまでにはさらに大きな飛躍が必要となる。

RNAと自己複製

細胞内には遺伝暗号を運ぶDNA（デオキシリボ核酸）と呼ばれる分子がある。ミラー＝ユリー実験と同じ1953年、



分子生物学者のジェイムズ・ワトソン（米国）とフランシス・クリック（英国）がDNAの二重らせん構造を発見し、続く10年のあいだに遺伝暗号の仕組みが解明された。

RNA（リボ核酸）はDNA同様、核酸の一種だ。ただしDNAと違い、2本鎖ではなく1本鎖からなる。DNAの2本鎖のうちの1本のコピーとして作られ、細胞内のリボソーム（タンパク質合成の場）に遺伝子の指示を伝える役割を持つ。リボソームではその指示にもとづいて、アミノ酸からタンパク質が合成される。

1968年、英国の化学者レスリー・オーゲルが地球の生命活動の始まりは自己複製できるRNA分子にあるという説を唱えた。オーゲルはクリックと組んで、酵素に注目することで、この説を追究した。酵素は、生化学反応を促進するのに欠かせないタンパク質だ。もしRNAが酵素を生成できるなら、RNAがその酵素を使って、分子の形成を促し、新しいRNAの鎖を作り出せる。1982年、米国

◀オリオン星雲の周りに広がるこの星間雲のように、ガスやちりからなる星間雲には有機物が含まれていることがある。また地上に落下した隕石からは数種類の有機物が見つかった。

の生化学者トーマス・チェックが酵素として働くRNAを発見し、それをリボザイムと名づけた。リボザイムにはRNAの鎖から自分自身を切り離す能力があった。

1986年、米国の物理学者ウォルター・ギルバートによって「RNAワールド仮説」が提唱された。これは原初の地球上で、RNA分子が分離や結合を繰り返しながら有用な配列、つまり遺伝暗号を形成していったという、生命の起源に関する仮説だった。2000年には米国の分子生物学者トーマス・スタイツによって、RNAにはリボソームを活性化したり、制御したりする働きがあることが明らかにされた。これでRNAが生命の起源に関わっていることが確かめられたようだった。なぜなら、リボソームは古くからある細胞の構成要素であり、タンパク質の形成に欠かせないものだからだ。しかしRNA（あるいはDNA）が細胞外で自己複製できるという証拠はまだなかった。

1980年代以来、研究者たちは自己複製できるRNAの合成に取り組んできた。しだいに、複製できるRNAの鎖の長さは伸びていった。2011年には、英国の分子生物学者フィリップ・ホリガーが、

鎖の全長の48%まで複製できるRNAの合成に成功した。しかし数十年経った今も、完全に自己複製できるRNAの合成からはまだほど遠い。一部の研究者は、PNA（ペプチド核酸）などの単純な核酸の合成を試みている。それらの物質が生命の起源の鍵を握っているのではないかという考えからだが、今のところ、そのような物質は自然界では見つかっていない。

生命を生み出すエネルギー

生命の起源に関しては、代謝、つまりエネルギーを使う働きが自己複製以前にあったという説もある。この説を後押ししたのは、1977年の熱水噴出孔の発見だ。海底にある熱水噴出孔からは豊富なミネラルと大量の熱が放出されている。その環境は火山活動のはげしかった初期の地球に似ていると考えられる。1993年、英国の地質学者マイケル・ラッセルは、熱水噴出孔の周囲の黄鉄鉱（酵素の働きに欠かせない硫化鉄）の小さな孔の中で、最初の複雑な有機分子が形成されたという説を唱えた。

1988年、スタンリー・ミラーは熱水噴出孔の熱さに生物は耐えられないと指摘していた。しかし2000年、それほど高温ではない熱水噴出孔が多数あることを、米国の海洋学者デボラ・ケリーが突



▲好熱性細菌はこのような熱水噴出孔の周りで水中で増殖する（写真は米国イエローストーン国立公園のグランド・プリズマティック・スプリング）。したがって、それと似た初期の地球の環境でも生きられた可能性がある。

生物の人工合成

1990年代、世界中の研究者が参加して、人間の全遺伝情報を解析しようとするヒトゲノム（p325）解析計画が進められたとき、米国の生物工学者クレイグ・ヴェンターの研究チームが、生物の人工合成に挑んだ。遺伝子工学の技術を使って、自己複製に必要な遺伝子のRNAを一つ一つすべて取り去るというのが、ヴェンターたちのアイデアだった。

最初は、マイコプラズマ・マイコイデスという細菌のゲノムを人工的に再現することから始め、2010年、近縁の細菌にそのゲノムを挿入して、もとの遺伝物質と入れ替えた。こうして作られた新しい細菌はふつうの細菌と同じように多数の複製を生み出すことができた。これに

よりヴェンターのチームは世界で初めて生命体の合成に成功したといわれた。「シンシア1.0」と名づけられたこの合成生命体のRNAには、人工物であることを示すため、チームのメンバー46人の名と3つの有名な言葉も書き込まれた。

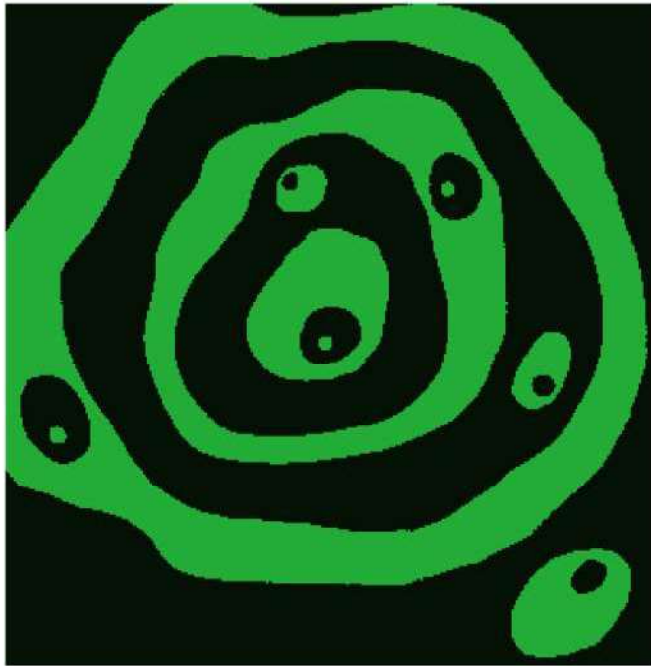
2016年にはさらに多くの遺伝子を取り去って、シンシア3.0を作った。これは生物の中で最小のゲノムを持つ細菌だった。遺伝子の数がわずか473でありながら、生存だけでなく、自己複製もできた。ただしそのゲノムは生きた細菌を使って複製されたものなので、シンシア3.0は厳密には合成生命体とはいえないかった。

それでも、ヴェンターたちの取り組みは「合成生物学革命」の引き金になった。今、科学者のあいだで完全な合成生命体を作ろうとする動きが生まれている。人工細胞膜を作ろうとする研究者もいれば、カスタムデザインの遺伝子を作ろうとする研究者もいる。研究者たちがめざしているのは、汚染の除去から環境に負荷をかけないプラスチックの生産まで、あらゆる用途に使える合成生命の開発だ。ただし生命の起源の謎が解き明かされるまでにはまだまだ時間がかかるだろう。新しい生命を一から作れるようになるのはさらにその先のことになる。*

生命の起源は
ほとんど奇跡のように思える。
信じられないほど
数多くの条件が
揃わなくてはならないのだから。
フランシス・クリック

小さな細胞が 大きな細胞の 中に住む

真核細胞



背景

主要人物
リン・マーズ
(1938～2011年)

その前

1665年 ロバート・フックがコルクの樹皮の中に小部屋のような構造を見つけ、「細胞」と名づける。

1838～39年 マティアス・シュライデンとテオドル・シュワンが、生物はすべて細胞でできているという説を唱える。

1937年 フランスの生物学者エドゥアール・シャトンが、細胞を原核細胞と真核細胞の2つに分類する。

その後

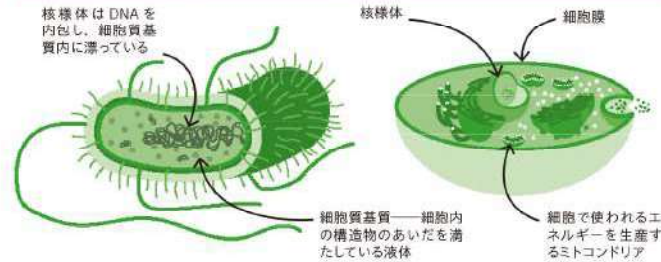
1977年 米国の生物学者カール・ウーズとジョージ・フォックスが生物分類の第3の区分(ドメイン)として「古細菌」を提唱する。

2015年 真核生物(真核細胞でできた生物)の祖先が古細菌であったことを示す証拠が発見される。

生物は信じられないほど複雑だ。最も単純な形態の生物ですら、きわめて複雑にできている。地球上の最初の細胞からこの複雑さに至るまでには、無数の進化が重ねられてきた。約40億年前、単純な有機分子どうしがつながり、長い鎖状の高分子(巨大な分子)を形成したのが、おそらく生命の誕生へ向かう最初のステップだった。生物の第一の特徴は自己複製の能力を持つことだが、それらの最初の分子は自然に生じた一連の化学反応によって、自己複製していたと考えられる。効率よく自己複製できる分子ほど、自分の複製をより多く残すことができ、効率の悪いシステムは駆逐された。やがて遺伝物質を取り囲む保護膜ができたことで著しい進歩がも

参照：■生物は細胞でできている(p28～31) ■細胞の形成(p32～33)
■細胞膜(p42～43) ■呼吸(p68～69) ■食物連鎖(p284～85)

典型的な原核生物と真核生物



原核生物は単一の原核細胞からなる単細胞生物で、細菌がこれに属する。原核細胞には膜に包まれた細胞小器官がない。DNAは核の代わりに、細胞質基質内に漂う核様体の中に入っている。

真核生物は単一または多数の真核細胞からなる生物である。動物、植物、菌類がこれに属する。真核細胞には膜で包まれた細胞小器官があり、細胞小器官の一つである核の中にDNAが入っている。真核細胞は原核細胞よりかなり大きい。

たらされ、今の細菌に似た原核生物(膜に包まれた「細胞小器官」という構造を持たない原核細胞でできた単細胞生物)が登場した。

当時、地球の大気には酸素がほとんど含まれていなかった。単純な作りの最初の生物は、周りに豊富にあった有機分子を栄養源にし、酸素を使わない発酵という過程でエネルギーを得ていた。

原核生物と酸素

初期の原核生物は、真正細菌と古細菌という2つの系統に分かれた。約35億年前、その真正細菌の一部に、日光を化学エネルギーに変える能力を持つ個体が現れた。これが光合成を行う細菌のグループである、現在のシアノバクテリアの

祖先だ。それらの光合成生物はその後10億年ほどで数を増やし、生物界の多数派となった。光合成の過程では廃棄物として酸素が出るので、大気や浅海の酸素濃度はいっきに高まり、生物界は甚大な影響を被った。酸素は反応性がとても高く、もろい生物の構造を破壊する力を持つからだ。原核生物の一部は体の仕組みを進化させて、この脅威に対処しようとした。その中で最も成功したのが、エネルギーを作ると同時に酸素を水分子に変える呼吸という仕組みだった。

真核生物の起源

25億年前頃、酸素呼吸の進化が引き金となって、真核細胞は発達したと考えられる。動物や植物といった進んだ生物

細胞核

原核細胞と真核細胞の根本的な違いは、真核細胞には膜に包まれた細胞核などの細胞小器官があるのに対し、原核細胞にはそれが無い点にある。とりわけ細胞核(遺伝情報を暗号化したDNA分子が収められている容器)は、真核細胞の決定的な特徴をなしている。

細胞核の起源に関しては議論に決着がついていない。核とミトコンドリアのどちらが先かで、生物学者の意見は割れている。ある科学者たちの考えでは、真核細胞の進化にはミトコンドリアの獲得が欠かせなかったとされる。

リン・マーズも、現在のよう核が現れたのは、ほかの細胞小器官の獲得後だという説を唱えている。一方で、核が最初に原核生物の中で進化し、それによってミトコンドリアの祖先との融合が可能になったと考える研究者もいる。

生物は細菌的であり、
細菌ではない生物も
もとは細菌だった生物から
進化した。

リン・マーズ

議論を呼ぶ説を
唱えたとは思っていない。
正しい説を唱えたと
思っている。
リン・マージェリス

はすべて、複雑な構造と膜に包まれた細胞小器官を持つ真核細胞でできている。細胞小器官には、遺伝物質を内包する細胞核、呼吸を行うミトコンドリア、それに植物細胞の場合には、光合成を行う葉緑体が含まれる。この真核細胞の起源を解明することが、生物学者たちにとって大きな課題の一つになっている。真核細胞は、原核細胞と比べるかに複雑な構造をしており、体積もふつう、約1000倍大きい。

細胞内共生説

1883年、フランスの植物学者アンドレアス・シンパーが緑色植物の葉緑体の分裂と複製を観察し、それがシアノバクテリアの複製にとてもよく似ていることを発見した。シンパーはこれをもとに、2つの生物の共生関係が緑色植物の起源であるという説を立てた。

シンパーの研究に注目していた生物学者のひとりに、ロシア人のコンスタンティン・メレシュコフスキー（葉緑体とシアノバクテリアの構造の類似に最初に気づいたひとり）がいた。メレシュコフスキーは、地衣植物に見られる菌類と藻類の共生関係についてのシンパーの研究からヒントを得て、複雑な生物は、より単純な生物どうしの協力関係から生まれるのではないかと考えついた。そして1905年の論文で、葉緑体の祖先は宿主細胞と共

生関係を築いたシアノバクテリアであり、植物の光合成の能力はシアノバクテリアに負っているという説を発表した。複雑な生物はより単純な生物どうしの結合で生まれるというこの説は、細胞内共生説と呼ばれる。

1920年代には、米国の生物学者アイヴァン・ウォリンが、ミトコンドリア（エネルギー生産の役割を担う細胞小器官）の起源も細胞内共生にあるという説を提唱した。ミトコンドリアはもとは好気性細菌（生存のために酸素を必要とする細菌）だったというのがウォリンの主張だった。

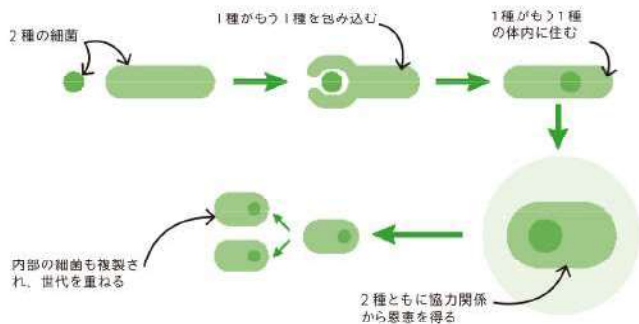
当初これらの説は、数十年にわたっておおむね否定されていたが、1959年、米国の植物学者ラルフ・ストッキングとアーネスト・ギフォードが、葉緑体とミトコンドリアには、細胞核のDNAとは違う独自のDNAがあることを発見した。これは葉緑体とミトコンドリアの祖先が自由生活する細胞だったことを示

す初めの具体的な証拠だった。

常識はずれの考え

1960年代初頭、DNAはまだ生まれて間もない研究分野だった。葉緑体とミトコンドリアのDNAの発見には異議が唱えられた。単細胞藻類の葉緑体にDNAがあることをはっきりと証明してみせたのは、1965年に博士論文でこの問題に取り組んだ米国の生物学者リン・マージェリスだった。1967年、マージェリスは「理論生物学ジャーナル」に掲載された論文で、ミトコンドリアと葉緑体など、真核細胞の細胞小器官の一部は、もとは自由生活する原核細胞だったと論じた。彼女は細胞小器官の起源に加え、真核生物の進化に関しても新しい説を打ち立てた。

1970年にマージェリスの最初の著作「真核細胞の起源」が出版されたときには、細胞内共生説はまだまったく受け入れら



細胞内共生説では、初期の原核細胞がほかの細胞に包み込まれ、細胞間に共生関係が生まれたのが真核細胞の起源であるといわれている。細胞に好気性細菌が取り込まれることでミトコンドリアが形成され、光合成細菌が取り込まれることで葉緑体が形成された。



◀リン・マージェリスが証拠を提示した細胞内共生説について、生物学者リチャード・ドーキンスは、「20世紀の進化生物学を代表する偉業の一つ」と評している。

れていなかった。彼女も進化は徐々に進むという当時の定説をひっくり返すには至っていなかったが、細胞内共生説は一足飛びの進化がありうることを示すものだった。また葉緑体とミトコンドリアにDNAがあることを示す証拠は着実に積み上がっていたが、DNAが細胞核の外にもあるという考えは多くの生物学者から常識はずれと見なされた。

連続細胞内共生説

真核細胞の進化に関するマージェリスの説は、連続細胞内共生説と呼ばれることが多い。いくつかの異なる原核細胞が1つに合体することで真核細胞が生まれたとする説だ。マージェリスによれば、好気呼吸できる小さな細菌が自分より大きな嫌気性（生存に酸素を必要としない性質）の原核細胞の細胞壁に潜り込んで、そこに寄生したという。ほとんどの場合、これは寄生された細胞の死を招いたが、両者ともに生き続け、共存できる場合もあった。そのような場合には、酸素を処理する寄生者の能力によって、宿主細胞はそれまで生きられなかった環境で生きられるようになった。宿主細胞は寄生者に好気呼吸に必要な栄養素を提供する一方、細菌のエネルギー生産能力を利用した。

両者の依存関係はしだいに深まっていき、最終的には寄生していた細菌がミトコンドリアに進化し、最初の真核細胞の細胞小器官になった。

裏づけとなる証拠

1967年、マージェリスの細胞内共生説の正しさを裏づける論文が発表された。1966年、韓国系米国人の微生物学者クアン・チョンが研究に使っていたアメーバの集団が細菌に感染し、大半のアメーバが死んだ。しかし生き残ったアメーバもいた。数カ月後、生き残ったアメーバを調べると、体内に多くの細菌が残りがらも、健康だった。

さらに驚いたことに、抗生物質で体内の細菌を殺すと、宿主のアメーバも死んだ。これはアメーバが寄生生物に依存するようになっていたことを意味した。チョンは、そのようなことが起こったのは、細菌によって作られるタンパク質がアメーバの生存に欠かせないものになっていたからであることを発見した。この2種は共生関係を築いて、アメーバの新しい種へと進化していた。*

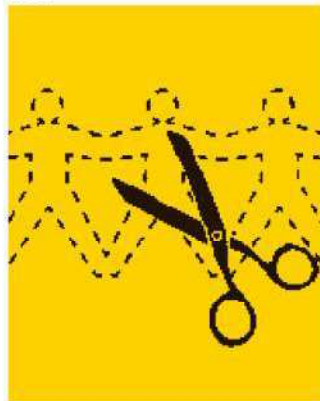
古細菌（アーキア）

2015年、大西洋の深海の堆積物の中から、古細菌の新しいグループが発見された。ロキアーキオータ（ロキ古細菌）と名づけられたこの新しいグループは、知られている中で最も真核生物（膜に包まれた核を持つ複雑な生物）に近い古細菌のようだった。ロキ古細菌のゲノム（遺伝物質）には、真核生物の中にしか存在が確認されていない遺伝子が多数見つかった。その中には、真核生物の重要な機能を担う遺伝子も含まれる。例えば、細胞骨格（細胞の形を維持する細胞内の組織）に関係する遺伝子などだ。

それらの真核生物の遺伝子がロキ古細菌の中でどういう役割を果たしているかは謎だが、真核生物は古細菌から進化したという説には合致する。研究者のあいだでロキ古細菌は、真核生物と初期の原核生物をつなぐ「ミッシングリンク」だといわれている。



▲ロキアーキオータは大西洋中央海嶺にある「ロキの城」と呼ばれる熱水噴出孔系の付近で見つかった。



遺伝子を切るはさみで、 生命の暗号を 書き換える

遺伝子編集

背景

主要人物
ジェニファー・ダウドナ
(1964年～)

エマニュエル・シャルパンティエ
(1968年～)

その前

1980年 米国の遺伝学者マーティン・クラインが、遺伝性血液疾患の治療に世界で初めて遺伝子治療を用い、物議をかもし。治療の結果は公表されていない。

2003年 中国が世界で初めて、がん治療にウイルス由来の遺伝子治療を用いることを承認する。

2010年 細菌がウイルスの撃退に使っている酵素CRISPR-Cas9 (クリスパー・キャス9) が、フランスの生物学者フィリップ・ホルヴァットとロドルフ・バラングーによって発見される。

その後

2017年 マウスの実験において、クリスパー・キャス9 (CRISPR-Cas9) を用いた筋ジストロフィーの治療が成功する。

囊胞性線維症や筋ジストロフィーをはじめ、遺伝子疾患には遺伝子の欠陥が原因になっているものが多い。従来、そのような疾患に対しては、治療ではなく、症状を緩和する処置しか施せなかった。体じゅうに病気の原因となる「ならず者遺伝子」が広がっている (体内のほとんどの細胞にその遺伝子が含まれている) 状態なので、根治はとうてい不可能だと考えられた。しかし遺伝子の仕組みが化学レベルで解明されると、生物学者たちは治療法の発見に近づいた。遺伝子はDNAの一部分なのだから、正常な遺伝子を使うことでそれらの病気を治療できる、あるいは遺伝子の欠陥を修正 (編集) して、正常なタンパク質が作られるようにすることができるとわかったのだ。

を治療できる、あるいは遺伝子の欠陥を修正 (編集) して、正常なタンパク質が作られるようにすることができるとわかったのだ。

遺伝子治療

遺伝子構成を操作して、遺伝性疾患を治療することを、遺伝子治療という。その始まりは、1980年代に開始された治療にある。その治療では、患者の白血球や骨髄幹細胞に正常な遺伝子を導入するという方法で、遺伝性血液疾患の治療が試みられた。正常な遺伝子を細胞核に届けるのに使われたのは、遺伝子操作されたウイルスだった。当初はつまづいたが、世紀の変わりめまでには、このウイルスを用いた遺伝子治療で成功を収められるようになった。

何が遺伝子導入の効果や安全性の妨げになるかは、病気ごとにさまざま異なる。ウイルス技術は、囊胞性線維症には使えなかった。ウイルスが肺の免疫機構に阻まれてしまうからだ。ネブライザー (吸入器) を使って、脂質性の小滴に包まれた遺伝子を吸い込むという方法も試みられた。これはウイルスを使うよりはいくらかうまくいったが、あくまで多少改善される程度だった。またアンチセンス治療と呼ばれる方法を使い、欠陥遺伝子が細胞に影響するのを防げる場合には、

(クリスパー・キャス9が)
異例といえるほどすぐに
採用されたのは、
生物学者たちがそれだけ
切実に、遺伝子のよりよい
操作ツールを必要と
していたからでしょう。

エマニュエル・
シャルパンティエ

参照：■ 生体触媒 (p64～65) ■ 酵素の仕組み (p66～67) ■ がんの転移 (p154～55) ■ ウイルス (p160～63)
■ 遺伝子とは何か? (p222～25) ■ 遺伝暗号 (p232～33) ■ 遺伝子工学 (p234～39)

クリスパー・キャス9の遺伝子編集技術



遺伝子導入が効果を発揮した。アンチセンス治療では、正常な遺伝子の代わりに「アンチセンスDNA」が使われる。アンチセンスDNAは、欠陥遺伝子と相補的な塩基配列を持っており、欠陥遺伝子と結合して、その働きを阻止することができる。一部のがんの治療では、アンチセンス治療が有効であることが証明されている。

最終的な目標となるのは、みづから遺伝子の欠陥を修正する技術だ。2012年、生物学者のジェニファー・ダウドナ (米国) とエマニュエル・シャルパンティエ (フランス) が、そのような技術を開発し

た。ヒントになったのは、細菌の体内で自然に起こる現象だった。頻りにウイルスの攻撃を受ける細菌は、身を守るため、一種のアンチセンス戦略を講じている。一つは、ウイルスの遺伝子を締め出す自身のDNAの塩基配列であり、もう一つは、侵入してきたウイルスを破壊する、Cas9 (キャス9) と呼ばれる特殊なDNA切断酵素の生成だ。

これを実行するために細菌に備わっているDNAの反復配列は、CRISPR (クリスパー) と呼ばれる。ダウドナとシャルパンティエは、このクリスパー・キャス9の仕組みを改変し、ウイルスの代

わりに人間の欠陥遺伝子とその攻撃目標にできるのではないかと考えた。そうすれば欠陥遺伝子の働きを止められるだけでなく、修正のためのDNAを加えることで、変異配列を修復できる可能性があった。2020年、ふたりはノーベル化学賞を受賞した。

これにより初めて、生物学者が遺伝子のエラーを修正する技術を手に入れた。クリスパー・キャス9を使った初期実験では、期待の持てる結果が出た。現在、子どもの失明や、がん、血液疾患、囊胞性線維症といった遺伝子疾患を治療するための臨床試験が進められている。*



▲ 生殖細胞系列治療の試験は30カ国近くで実施されている。大半を中国と米国が占める。

生殖細胞系列治療

1970年代、ハーバート・ポイヤールとスタンリー・N・コーエンが遺伝子工学を使って、細菌間のDNAの移植に成功した。これにより生物学者たちは、いずれ人間の遺伝子疾患の治療にも似たような遺伝子組換え技術が使えようになる日が来るだろうと確信した。遺伝子疾患を完全に治す、つまり体内のすべての欠陥遺伝子を修正するためには、大本の部分、つまり受精卵ないし胚の段階で、遺伝子操作を行う必要がある。

そのような技術を使った治療 (生殖細胞系列治療と呼ばれる) は、「デザイナーベビー」を生み出す懸念があることから、議論を呼び、多くの国で禁じられている。しかし欠陥遺伝子を修正できる可能性を秘めたクリスパー・キャス9が登場したことで、生殖細胞系列治療の規制緩和を求める声が高まった。中国では2015年から、胚段階でクリスパー・キャス9を使う治療が実施されている。報告された成功事例によると、先天性の心臓病やがんに関与する遺伝子が「修正」されたという。



背景

主要人物
G・イヴリン・ハッチンソン
(1903~91年)

その前

1917年 ジョゼフ・グリネルが、ニッチを特定の種が繁栄できる生息環境と定義する。地理的な障壁で遮られた場所では、ある種に適した生息環境に「空き」があることがある。

1927年 チャールズ・エルトンが、生息環境だけでなく、食物連鎖における生物(捕食者、被食者どちらも)の役割も同じぐらいニッチにとって重要であるという説を唱える。

その後

1968年 米国の生物学者デイヴィッド・クラインが、島内のトナカイの個体群がニッチの変化のせいであるように消滅したかを明らかにする。

1991年 ある生物が必要とするニッチが長く変わらないことをいい表す「ニッチ保守性」という語を、英国の生態学者ポール・ハーヴィーとマーク・パーゲルが考案する。

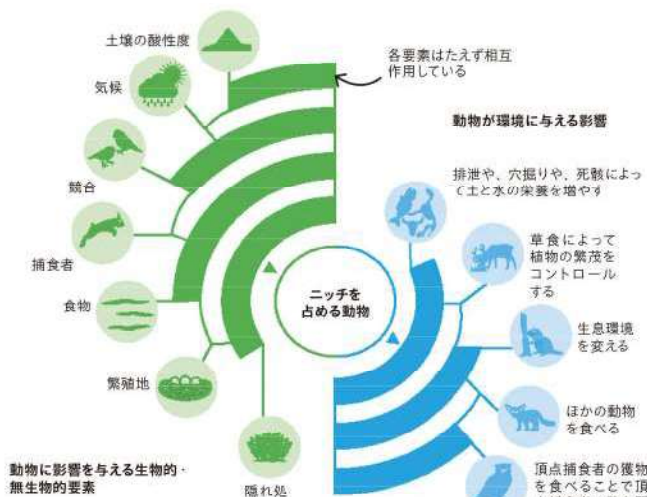
ニッチ(生態的地位)はその生物のプロフェッションである

ニッチ

ニッチ、つまり生態系内における種の位置という概念は、生態学の根幹をなす概念だ。20世紀初頭、米国の生物学者ジョゼフ・グリネルが、ニッチを、種が繁栄できる生息環境として説明した。その後、英国の生態

学者チャールズ・エルトンがニッチの概念を拡大し、生物の環境内における役割、つまり「食物と敵との関係」をそこに含めた。

異なる種が別の地域で同じニッチを占めていることもある。例えば、熱帯アフ



ハッチンソンは、多様な生物的要素と無生物的要素がたえず生物と相互作用することで、生物の繁栄が可能になる多角的空間としてニッチを表現した。

参照：■食物連鎖 (p284~85) ■捕食者と被食者の関係 (p292~93)
■競争排除の原則 (p298) ■生態系 (p299)



◀ブラジルのパンタナル大湿原に生息するスマイレコングウインコは、食物も巣作りの場所もすべてわずか3種の木に頼っている。

が同じ場合、種間に資源を巡る争いが生じ、競争排除の原則に従って、いっぽうが別のニッチを占めるよう適応を上げか、あるいは死に絶えることがある。

ニッチは広いことも、狭いこともある。アライグマ、ドブネズミ、ハトといったゼネラリスト(さまざまなものを食べる動物)が占めるニッチは広く、スマイレコングウインコなどのスペシャリスト(決まったものしか食べない動物)が占めるニッチは狭い。スマイレコングウインコは、わずか3種類の木が生息系から取り除かれるだけで、生きられなくなる。

多角的空間

1957年、米国の生態学者G・イヴリン・ハッチンソンは、環境の生物学的な特徴だけでなく、その化学的、物理的、地質的な特徴にも注目することで、ニッチの複雑さについて、新しい理解を切り拓いた。米国の生態学者ローレンス・スロボトキンが、ハッチンソンのニッチの概念を「高度に抽象化された多角的な超空間」と評している。ニッチは場所や役割以上のものであり、環境の属性ではなく、種の属性であるというのがハッチンソンの考えで、ほかの生物や周囲の無生物的要素(気候や水の酸性度から、地質、土壌、栄養循環まで)との複雑な相互作用もそこには含まれる。

生息環境の状態が種のニッチの範囲内に収まっていれば、その個体群は繁栄する。しかし、水の酸性度が変わったり、新しい捕食者が住みついたりすることで、生息環境の状態がニッチの範囲外になると、個体群は壊滅の危機に瀕する。ハッチンソンはまた、固有のニッチが他種との競争を軽減することも示した。同じ場所に生息する2種の生物のニッチ



G・イヴリン・ハッチンソン

多くの人から現代生態学の父と見なされているハッチンソンは、1903年、英国に生まれ、ケンブリッジ大学で動物学の学位を取得した。南アフリカで教鞭を執ったあと、1928年以降はイェール大学で生涯、学究生活を送り、1941年には米国の市民権を得た。

強い関心を持ったのは陸水学で、アジア、アフリカ、北米の陸水の生態系を研究した。各生態系の種の数や何によって決まるかを調べ、教養子(米国の生態学者ロバート・マッカーサーもそのひとり)とともに、種の豊かさを推定する最初の包括的な数学モデルを考案した。

野外調査と理論の両面で傑出した生物学者であり、すばらしい教師でもあった。動植物の化石種とその環境の関係を調べる古生態学という研究分野を開拓したほか、早い段階から地球温暖化を予測していた。1991年没。

代表的な著作: 論文

1957年「箱論」
1957~93年「陸水学論」(全4巻)

動物のニッチはおおむね体の大きさと食習慣で決まる。

チャールズ・エルトン