

生命とは何なのだろうか

— 有限性の問題 [Ⅲ] —

What is Life?

— On the finiteness [Ⅲ] —

佐藤幸治*

SATOH Kohji*

1. はじめに

私たちが人間であるのは人間の子として誕生したからであり、私たちが人間の子であることは遺伝子が決定しているようだ。では遺伝子とは何かというとタンパク質という体を構成する物質の生成をコード化しているものらしく、それは DNA の一部といわれている。しかしこの DNA はデオキシリボ核酸という物質である。つまりは DNA は物質（非生物）でありながら、私たち人間は間違いなく生物である。DNA は細胞の核のなかにある。では細胞も物質なのだろうか。いやそもそも生物とは何だろうか。物質と生物の分水嶺はどこのあるのだろうか。その辺りから基礎的な原点に戻って考えてみたい。心の動物人間、私たちの世界に道徳や倫理を必要とする長い道のり、それを辿っていききたいのだ。

2. 生命の起源

地球上に生命が誕生するのは今から 40 億年前といわれる。しかし、そもそも生命とは何なのであろうか。多くの神話は生命の起源を宇宙の発生とともに語る。たとえばプラトンは『ティマイオス』でデーミウウルゴスによる宇宙創生を語る。デーミウウルゴスはもともとギリシア語では「職人・工匠」というような意味であるが、プラトンによるとイデア界を模倣して物質世界を創造する宇宙の作り主、「製作者」とされるのである。

さらに有名なところではユダヤ・キリスト教神話による天地創造説がある。『旧約聖書』には天地が7日間で創造された旨が記されている。第1日には光が創造され、第2日には大空が、第3日には陸地と海と植物が、そして第4日に大きい光である太陽と小さい光である月と星が創造される。さらに第5日には魚と鳥が、第6日には動物、すなわち、地の獣（野獣）と家畜と地に這うもの（爬行動物）が創造され最後に人間の創造される。「神ヤハウエは、こまやかな土(アダマー)をもって、人(アダム)を、陶器師が造るように造り、その鼻に生命の息を吹き込まれた。すると人は生きたものになった」ので

ある。そして第7日に神は休まれる安息日となる。

さらには古代中国のように巨人の死体から宇宙や生命が生まれたという説などもある。漢民族の天地創造の神話では宇宙の最初は混沌であったが、その混沌の卵のような状態から巨人盤古が孵える。そして盤古の成長に伴って天地が生まれる。つまり軽くて澄んだ暖かい気が陽の気で、その陽気が上昇して天となる。と同時に重くて濁った寒い気、即ち、陰の気が下降して地になる。陰陽二元論の誕生である。そしてその過程で盤古は巨大になっていき、それに伴い盤古が天と地を上下に押し広げ天地は隔たっていくのである。そして盤古が死ぬとその死体からは様々な自然が生まれたとされる。風・雲・雷・山・川・土・星・草木・鉱物・雨などである。とりわけ盤古の左目が太陽に、右目が月になったといわれる。日本の神話がこの盤古神話に大きく影響を受けたと考えられるのは太陽と月の誕生に関してである。

『古事記』によると男神・伊耶那岐命と女神・伊耶那美命の兄妹神が国生みを行ったとされるのが日本の神話における天地創造である。作られる天地はまずは日本列島、『古事記』でいう「大八嶋国」— 淡道之穂之狭別の嶋（淡路島）・伊予之二名の嶋（四国）・隠伎の三子の嶋（隠岐島）・筑紫の嶋（九州）・伊岐の嶋（壱岐島）・津嶋（対馬）・佐度の嶋（佐渡島）・大倭豊秋津嶋（本州）— であった。しかし、伊耶那美命は様々の神を産んだ末に火の神である迦具土の神を生み、そのために死穢に満ちた闇の地下他界である黄泉つ国に去った。伊耶那岐命は伊耶那美命を黄泉つ国まで追いかけていき、闇のなかでまだ国生みの仕事が完成していないから帰ってきて欲しいと訴える。しかし、既に伊耶那美命は「黄泉つ戸喫」、すなわち、黄泉つ国で同じ竈の飯を食べてしまっていたから帰れないという。しかし、わざわざ訪ねて来てくれたことに情をほだされた伊耶那美命はしばらく黄泉つ国の神々と相談するから待っていて欲しいと願う。その間、死者である私の姿を見てはいけないう。古代においては見ることは触れることでもあった。ところが長いこ

* 武庫川女子大学 (Mukogawa Women's University)

と待たされしびれを切らした伊耶那岐命は櫛の爪を一つ折って火をともし伊耶那美命を見てしまう。すると「うじたかれころろきて」いる醜悪な伊耶那美命の姿がそこにあった。驚いた伊耶那岐命は恐怖心から逃げようとするのであるが、伊耶那美命は見てはならないという約束を破ったことに怒って、死の穢れの象徴である予母都志許売に追跡させる。伊耶那岐命は桃の実を投げることによって辛うじて逃げ延び、川で身の穢れを清めるのであるが、その際に多くの神々が生まれるのである。左の目を洗うと天照大御神（太陽）、右の目を洗うと月読の命（月）が生まれたのである。男神の体の一部から天体が生まれた — 左目が太陽、右目が月 — というのは古代中国の盤古神話の影響だろう。

これらの神話が自然や生命の誕生に関して私たちを納得させるだけの説明を充分になしているかについてはもちろん訝しく思われる点多々ある。しかし私たちはこれらの神話を現在の視点に立って荒唐無稽なものとするわけにはいかない。古代の人々はそのような語りによって世界を説明しようとし、当時の人々はそれで納得していたのだ。それに較べ私たちはどれほど納得できる世界観をもっているのだろうか。

それはさておき神話ではないが、宇宙と切り離して生命そのものの起源を考えるものとしては、他の天体から隕石に乗って飛来したという説などもある。たとえば、1903年にスウェーデンのアレニウスは、生命は宇宙の至る所で発生し、宇宙空間を恒星の輻射圧によって飛ばされたり、彗星に乗ったりして飛行し、ついに地球にやってきたとする説を展開し、パンスペルミア説（胚種広布説とか宇宙播種説と訳される）とよばれた。今日でもこの説を論じている学者もいるらしく、それほど荒唐無稽なものではないとされるのは、地球誕生から生命誕生までの期間がわずか数億年 — 地球誕生が46億年前、生命誕生が40億年前 — では短すぎるのではないかという単純な疑問に化学進化説が答えられていないからだともいえる。しかしパンスペルミア説は地球の生命の起源を説いても生命そのものの起源として化学進化説を否定しているわけではない。地球の外のどこかで化学進化が起こったと主張しているらしい。だからこの説はむしろ地球外生物(ET=extraterrestrial)の可能性の指摘ということで注目されたのである。地球外生物ということではかつて火星には生命あるいはその痕跡があるといわれたことがある。しかし1970年代にNASAが送り込んだ火星探査機バイキングは火星表土のサンプルを採取し、そこに生命活動の兆候が見られるか確認する試験を行ったが、結果は生命の存在を肯定するものではなかった。

あるいは最近でも2001年にアメリカでヒトクローンを作ると公言した新興宗教団体ラエリアン・ムーブメントの教祖のように、UFOに乗ってやってきた科学者が地

球上の生命を創造したなどという主張もある。1973年12月13日、フランス人モータースポーツジャーナリスト — かにせ彼は1946年9月30日原爆投下の翌年に生まれたことに意味を持たせているらしいが「翌年」とか「9月30日」とかがこの無限の宇宙の広がりの中でどんな意味を持っているのだろうか — に過ぎなかったクロード・ボリロンという人物は、フランス中部の火山のクレーターで、UFOから現れたエロヒムと名乗る異星人とフランス語でコンタクトした。その異星人からメッセージ、例えばイスラエルにあったらしいエデンの園は異星人の実験場の一つで、アダムとイブは「試験管ベビー」であったということなどを伝えられ、ラエルという名を授けられたという。エロヒムという名前はヘブライ語の「神」を意味する言葉であるが、とにかくその異星人は何語でも話せたらしい。ラエリアン・ムーブメントはこうして設立され、2003年11月の時点で、世界90カ国に活動拠点があり、6万人以上のメンバーが在籍しているといわれる。そのうち日本人の会員数が最も多いといわれる。

これらの珍妙な説をいちいち取り上げる興味も暇もないが、もちろんスピルバーグが映像で描くようなETがたとい存在するとしても、チンパンジーとすら仲良くできない人間という動物が、どうして彼らと共生などできよう。現生種では遺伝子が人間に最も近いチンパンジーどころではない。人間同士でも互いの憎悪からくるいさかいはいまだ止むことなく続いている。私たちはいまだにローレンツが『攻撃 — 悪の自然誌』でいうところの同種間攻撃本能を昇華していない。ホモ・デメンス（本能が壊れた動物）やホモ・ヒエラルキクス（差別する動物）などの汚名を返上してもいいし、返上できるとも思えない。かつて未開の地域を開拓した際に、未知なる連中を野蛮な者として殺戮し、その生息地を破壊し、奪い取ってきた。人種間・民族間・国家間のジェノサイド（大量殺戮）やホロコースト（民族殲滅）の記憶はいまだに日々新たである。「西洋ではホメロスの詩に唄われたミケーネ文化が栄え、東洋では殷の王朝が勃興した前15世紀ごろから今日までの3500年におよぶ歴史のなかで、戦争の記録がないのはわずか200年余りであると言われていた。より最近の歴史を見ても、18世紀中葉から今日に至るまで武力紛争のない年は1年もない。第2次世界大戦後の世界においてもすでに100をこえる武力紛争が発生し、その犠牲者数は広島・長崎の原爆犠牲者数の100倍にも相当する2100万人の規模に達している」（猪口邦子『戦争と平和』）。今後私たちが真の意味で「他者」との関係性を友好的に保つ保証は微塵たりともないであろう。かくして私たちはユートピア信仰の変容体を素朴に信じるわけにはいかないのだ。

さて生命の起源の話に戻ろう。現代科学では生命は過去のある時期にある種の化学物質、とくに炭素化合物の

発展過程の結果として生まれ、そののちは増殖によって連続・発展してきたという考えが一般的になっている。つまり原始の地球にいきなり生物が登場したのではなく、まず無機物が生まれ、さらにそこから生命力を有した有機物が登場するのである。場所は原始地球の海の中である。海水に溶けた有機物の化学進化を通じて最初の生命が誕生したらしい。

このように生命の起源の問題に自然発生ということではなく、機械論的な方向から初めて光を当てたのはオパーリンである。もちろんそれに先行するいくつかの実験はあった。1665年のイタリア人医師フランチェスコ・レディの実験や1860年代のルイ・パスツールの白鳥の首フラスコを用いた実験などであるが、オパーリンの『地球上における生命の起源』(1936)と題する本が生命の起源に関する科学的考察のさきがけである。無機物から有機物がつくれ、有機物の反応によって生命が誕生したというのであるが、こういう学説を化学進化説といい、現在の自然科学ではもっとも広く受け入れられている。

オパーリンはその本で生命の起源を地球上の物質である炭素化合物の発展の一環としてとらえようとした。つまり、彼は簡単な炭素化合物(無機物・低分子有機物・高分子有機物)が窒素を得て、それがコアセルバートを形成し、さらにそれらの組織化された物質系から原始生物の誕生の過程を示したのである。

そして1953年のいわゆる「ユーリー=ミラーの実験」が化学進化の実験的研究の端緒になった。この実験は原始地球大気を模した水素・メタン・アンモニア・水蒸気の4種からなる混合ガスを入れたフラスコに雷のモデルとしての火花放電すれば、アミノ酸やヌクレオチド(糖・リン酸・塩基からなる分子で生体の重要な構成化合物の総称)などの生命体を構成する物質を作れることを示したのである。

オパーリンの説にしるユーリー=ミラーの実験にしる先駆的なこれらの研究・実験に関して現在ではさまざまに疑問の声は上がってはいるものの、生命の起源に関しては化学進化という考えが一般に受け入れられている。そして最近では細菌の研究 — 真正細菌・古細菌・真核生物の進化系統樹 — が生命起源に新しい展開を見せている。最初の生物は深海熱水孔の近辺という太陽エネルギーに依存しない生態系で、無機物 — 硫黄・鉄・水素・炭素 — を摂取して生きていたという説が有力になっている。それによると酸素呼吸をしない — 酸素呼吸をする好気性に対して嫌気性という — 光合成もしない — 光合成に対して化学合成という — 摂取する食物として無機物を利用する — われわれ人間のように有機物を利用する従属栄養に対して独立栄養という — 生物であったといわれている。今から40億年前のこととされている。

3. 40億年前

生命の時間の流れにおいて最初に現れた原始生命は嫌気性・化学合成・独立栄養生物であったと思われる。しかしそうした最初の生物ではどのような過程を経て原始地球に誕生したのであるだろうか。つまり生命活動を仕切っているタンパク質とその作り方を記録している遺伝子とではどちらが先に原始地球に誕生したのであるだろうか。今日の有力な説では、生命体に関わる物質で、地球に最初にあらわれたのは自己自身の触媒作用で自己を複製する核酸RNA(リボ核酸)であるといわれている。もちろんこれはまだ生物ではない。この説を「RNAワールド仮説」という。RNAはDNAと較べると合成が単純で原始的である — 後述するように2本鎖のDNAに対してRNAは1本鎖 — 。そしてその後アミノ酸が結合したタンパク質とRNAが協同するシステムができる。これを「RNA-タンパク質ワールド」という。それからかなりあとでDNAを基盤とし、タンパク質とRNAが協調するシステム「DNAワールド」が確立されたと考えられている。DNAは細胞の中でしか作られないので、細胞の生成をまっけてはじめてDNAも登場することになったのだ。DNAがRNAよりも化学的にはるかに安定しているということはRNAが出現したあとかなりたってDNAが生じたと思われるのだ。生命は細胞ができて初めて生命といわれる。ということで生命が活躍する「DNAワールド」はDNAを設計図として、タンパク質が生命活動を担当し、両者をRNAが仲介するというシステムである。そうしてDNA中心のシステムを膜で包んだものが生命として最初の細胞であったのだ。しかしそれはわれわれ人間の体の中にある細胞とは構造が異なる、いわゆる原核細胞といわれるものである。そして今日の生物学の分類によればこの最初の生命体は古細菌であるという説が有力である。

4. 生命の定義

さてここで、生命とは何か、生物とは何か、という問いに対しての生物学での解答を考えていきたい。すべて宇宙内存在は、生物であろうが非生物であろうが、すべて分子からなり、そして分子は元素の集合である。その点では生物も非生物も同じである。ではその元素から構成されているものの中で何をもって生物は生物といえるのであろうか。生物と非生物の境界とは何なのだろうか。

自然界を生命をもつ生物界と生命のない非生物界に分けることは紀元前4世紀のアリストテレスに始まる。たとえばアリストテレスは『靈魂論』で「自然的物体は或るものどもは生命を持ち、或るものどもはそれを持たない」という。また『動物誌』や『動物発生論』によると、昆虫やダニなどは親以外からも、露・泥・ゴミ・汗などから自然に発生し、さらにミミズ・ウナギ・ウナギなど

も無生物から自然に生じるとされていた。もちろん今日の常識からは否定されるが、しかし今日でも生命と非生命の分類が明確になされているわけではない。今日の科学をもってしても生物を簡単に分別できないのは、19世紀末に発見されたウイルスなどが生物と非生物の境界を曖昧にしているからだ。

その曖昧な点はあとで考えることにして、化学進化説が主流である今日の生物学でいうところの生命の定義を先に確認しておきたい。今日の生物学では生命は次のような三つの能力をもつものとされている。すなわち(1)ホメオスタシス(恒常性)維持能力・(2)自己増殖能力・(3)エネルギー変換能力の三つである。

(1)まずホメオスタシス(恒常性)維持能力であるが、ここでいうホメオスタシスというのは生物が生命を保ち続けるために体内環境を平衡状態に維持する機能のことである。用語としては1927年にアメリカの生理学者キャノンが命名したもので、脳の視床下部が大きな役割を持ち、自律神経系と内分泌系などが絡む複雑な機構を指している。しかしここでは生命の自己保存機構という意味で使いたい。すなわち生命は膜によって外界と区切られ、自律的に自己を組織化し体制を有し、その膜の内部では免疫という防御機構をもっているという、そういう自己保存機構のことをホメオスタシスと考えたいのである。このホメオスタシスが破綻すれば、生命は自己保存できなくなり、それがすなわち死である。そして外界と区切る膜があるということは細胞をもつということであるので、生物は細胞をもつといえるのだ。非生物では分子が構造や機能の単位であるのに対して、生物では、分子の集まりではあるが、細胞が単位である。そして器官や組織の配置様式、各部の分化状態、および相称(構成要素の均等配分)などの体制があるのである。生物では時間の経過とともに、人間のように動く生物である動物において、この体制が神経系で統括されていく。そして個体としての行動を生み、さらに社会や文化などといった集団の役割を果たしていく。

それが生物の有り様といえるのであるが、さらに生物は(2)自己増殖能力を持つ。この自己複製は生殖(reproduction)と言い換えられる。実は生殖という言葉はreproductionの訳語である。自己を再生産していくことが生殖行為なのである。ただしこの生殖には、(a)細胞の複製で新たな細胞を作る場合と、(b)新しい個体すなわち子孫を作る場合とがある。一般的には後者(b)のみを生殖と表現するケースが多いが、前者(a)もreproductionである。この前者(a)は私たちの体細胞のように細胞分裂による自己複製であり、それは同じ遺伝構造を持つものを新しく作ることになる。もちろん突然変異—変異とは変化した遺伝子が元のものからは変化したタンパク質を生み出すこと—の可能性があるので、常に同じ遺伝構造

を持つ細胞の複製するとは限らない。次に後者(b)の一般的な意味での生殖であるが、これも(a)の場合の分裂などによる場合もある。つまり同じ遺伝構造を持ったものを新たに生産するのである。これは単細胞生物の特徴である。単細胞なので結局は(b)も(a)と同じことを意味するのだ。この単細胞生物の新しく個体を生む(b)の方法を無性生殖という。つまり単細胞生物には性の差異がないのである。

後者(b)の複製にはもう一種あり、自己複製とはいっても、自己そのままの複製ではなく、別々の二者が協同して新しい遺伝構造を持つものを複製する生物種がある。性の差異があるということで、こうした方法を有性生殖という。そして有性生殖によって生まれる子は、一卵性多胎である双胎を除いて、この地球上に同じ遺伝構造をもったものが二つとないことになる。私たち人間はこちらの方である。人間の個々人は、双胎とヒトクローンの場合を除いて、地球上に同一の遺伝子をもつ存在はないのだ。以上が生物の自己増殖能力に関する説明であるが、しかし生命体の細胞はすべてが常にこの自己増殖能力を発揮しているとは限らない。多細胞生物においては、個々の部分では、分裂を終結しているが代謝を繰り返し—次の(3)の生命条件—、生命現象を維持している細胞もある。肝細胞などの可逆性分裂終了細胞群とかニューロン(脳の神経細胞)などの固定性分裂終了細胞群がそれである。たとえば肝臓はふつうは増殖はまったくおこなわれていないが、手術などで部分的に切断されると、残った細胞が分化していない状態に逆戻りする脱分化がおきていっせいに増殖を開始するのである。そして元の大きさに回復すると増殖を停止する。肝臓にはそういう性質があるので生体肝移植が可能なのだ。またニューロンは母親の胎内での発生の早い時期に形成が完了し、一度作られると突起を伸ばして分裂しなくなる。発育とともに増えていくのはニューロンではなく、樹状突起、すなわちニューロンから派生し、他のニューロンとの信号伝達の役割を担う部分である。ニューロンそのものは増殖再生されることはなく、成長や老化とともに死んでいくばかりなのである。そういう細胞もあるが、増殖能力を発揮していないというだけである。

次に生物の特徴として(3)エネルギー変換能力がある。つまりエネルギーを産出する化学反応である代謝とその循環をおこなうのである。代謝という言葉は普通には古いものと新しいものが入り替わることを意味するが、生物学では生命活動を維持するための化学反応を指す。生物は外部から物質を取り込むのであるが、それを体内で化学変化させ、生じるエネルギーで自らの体の状態を一定に維持・発展させ、不要になった物質を体外に捨てる。生物学でいう代謝とはそういう意味だ。そしてこの生物の代謝には同化と異化がある。同化とは単純な物質

を外界から取り入れてエネルギーを使って生体の活動に必要で複雑な物質に合成する過程である。合成反応・吸エネルギー反応である。たとえば、植物の光合成は炭酸同化といわれるが、太陽エネルギーを用いて単純な二酸化炭素と水分という物質から生体の活動に必要な有機化合物のグルコース（ブドウ糖）と酸素を作る（カルビン・ベンソン回路）。一方、複雑な物質を分解することによって生体の活動に使える物質にしていくのが異化である。分解反応・発エネルギー反応である。たとえば呼吸は酸素を使ってグルコースを水と二酸化炭素に分解するのであるが、これは異化である。異化代謝によってエネルギー、すなわち ATP（アデノシン三リン酸）を獲得するのである。生物は外部から物質を取り込み（同化）、自分の体を作る分子と活動のためのエネルギーとを作る（異化）。そしてさらに生物の内部では循環が行われる必要があり、使えなくなった分子を捨てなければならない。要するに代謝は物質の入れ替えであり、入れ替わる当のものは同一性を保ち、動的平衡として流入と流出がつりあっていなければならない。以上をまとめて言えば、代謝とは簡単な物質を養分として体物質という複雑な物質を作り、それを体内で循環させたあとで再び簡単な物質である老廃物として体外に放出することで、そういう性質を生物はもっているのだ。

以上の三点が生物の特徴である。生物とは何かという問に対する生物学の解答である。生物は代謝と循環を続けながら、子孫を残しつつ自己同一性を維持する特徴をもつといえる。しかし自己同一性を維持しながらも一方で変化もしていくのが生物の特徴でもある。すなわち個体発生として徐々に、分化・発生・成長・老化などといったかたちで — もっともすべての生物が老化しそして死ぬわけではない — 変化していく。さらに系統発生としても生物は次第に変化していく。この系統発生を説明するに際して時に「進化」という用語が用いられる。この言葉には肯定的なニュアンスだけが込められると違和感を引き起こすが、進化という歩みが生物の世界に現に存することは認めざるをえないだろう。

5. ウイルス

ところで、生物と非生物の境界近くに位置するものにウイルスがある。このウイルスが生物の定義をやっかいなものにしているのだ。ウイルスという言葉は本来「毒」を意味するラテン語で、病原性があることからそう命名された。つまり、すべてがそうだというわけではないが、ある種のウイルスは病気の原因になるのである。人間を悩ませる病気は大きく感染症と生活習慣病に分けられるが、その感染症の原因の一つがウイルスであることが近年判明したのである。ウイルスは微少なので電子顕微鏡でしか見ることができない。つまりウイルスの発見は顕

微鏡の発明・改良の歴史と軌を一にするものなのだ。

顕微鏡は 1590 年ごろ、オランダの眼鏡職人によって発明されたといわれる。その後オランダのレーウエンフックは、ガラス玉を磨いてつくった自作の顕微鏡で 1674 年に細菌 — もちろんちゃんとした生物で、上記の生物の定義を満たしている、分類では菌界を構成する — を発見し、さらに赤血球・精子 — ただし精子が受精に与えることは認識していない — ・ヒドラ（腔腸動物）・ワムシ（袋形動物）などを調べて著作に残している。レーウエンフックの顕微鏡は 1665 年に細胞を発見するイギリスのフックのものより高性能であったらしい。その後 19 世紀になってフランスのパスツールやドイツのコッホなどが顕微鏡を使って医学における細菌の意義を明らかにしていった。特にコッホは病原性細菌が感染症の原因だと主張し、以後医学界はその考えを踏襲していく。そして液体中の細菌を濾過によって取り除く細菌濾過器なども登場し細菌の研究が飛躍的に進展する。そして 1892 年、ロシアのイワノフスキーは、タバコモザイク病（タバコやトマトに生ずる植物病で、葉に緑色濃淡の斑紋がモザイク状に現れ、奇形となり、全体の生長が悪くなる）の病原体は細菌濾過器を通過しても感染性を失わないことを発見した。つまりタバコモザイク病の病原体は細菌よりも微小な、顕微鏡では観察できない存在であることを示したのである。これが初めて発見されたウイルス、すなわちタバコモザイクウイルスである。その後いくつかの病気の原因が解明され、一般にもウイルスの存在が信じられるようになった。1935 年にアメリカのスタンレーがタバコモザイクウイルスの結晶化に成功した。スタンレーはウイルスが自己触媒能をもつ巨大なタンパク質であるとしたが、翌年に少量の RNA が含まれることも示された。そういうウイルスの発見と呼応するように、1933 年にはドイツのルスカが光学顕微鏡の限界を越えた原始的な電子顕微鏡を発明し、1950 年代になるとイギリスやアメリカで高性能の電子顕微鏡が実用化されていった。

ウイルスの大きさは細菌の半分以下で、20nm（ナノメートル）から 300nm である。ナノは 10^{-9} を表す。構造はウイルス遺伝物質を伝えるコアと呼ばれる中心部とこれを包むカプシドと呼ばれるタンパク質の外膜からなる。コアには DNA か RNA かのいずれかしかないの、ウイルスには DNA ウイルスと RNA ウイルスの 2 種があることになる。このうちの RNA ウイルスのなかにはレトロウイルスと呼ばれるものがある。これが病原体となる。すなわち宿主に感染し、感染細胞の中で逆転写によって RNA から DNA をつくり、その DNA を染色体に組み込んで増殖していくのである。レトロとは「再び元へ」とか「逆向き」とかいう意味で、本来の DNA→RNA ではなく、RNA→DNA という逆方向に転写を引き起こすので

ある。要するにレトロウイルスは逆転写するウイルスのことで、ほかの生物の遺伝子に入り込んで、その生物の細胞を破壊していくのだ。

ウイルスによって引き起こされる感染症としては天然痘（痘瘡）・麻疹・風疹・インフルエンザ（流行性感冒）— 近々大流行が懸念されている地上最大規模の人獣共通感染症 — ・エイズ — 1999 年末までのべにして 5000 万人が感染し、1600 万人が亡くなり、日本ではヘモフィリア・ホロコースト（血友病の大量虐殺）という薬害問題をひきおこした — ・エボラ出血熱・マールブルグ熱・ラッサ熱・筋萎縮性側索硬化症・肝炎・日本脳炎・ポリオなどがある。

感染症の病原体はウイルスの他に寄生虫・細菌・糖タンパク質がある。寄生虫が引き起こす感染症として有名なものにマラリアがある。今日でも年間 3 億以上の人間が罹り、150 万人以上が死ぬといわれている。世界で死んでいく子どもの 5 人に 1 人はこの病気が原因らしい。その病原体はマラリア原虫 — 原虫とは原生動物で病原になるものの総称 — である。ハマダラカが吸血する際に、その唾液腺から、体内で増殖したマラリア原虫のスポロゾイト（幼生）が人体内に注入されて発熱発作をおこす病気である。

また古来人間を悩ませてきた感染症はたいていが病原体は細菌である。たとえばハンセン病（癩菌）・ペスト（ペスト菌）・梅毒（梅毒菌スピロヘータ）・チフス（チフス菌）・結核（結核菌）・コレラ（コレラ菌）・赤痢（赤痢菌）・ジフテリア（ジフテリア菌）などが代表である。細菌も上記で述べた生物としての特徴を有しているので「生物」の範疇に入る。しかし狂牛病（牛スポンジ状脳症、BSE）の病原体とされるプリオンは一種の糖タンパク質で物質であって生物ではない。

ではウイルスは生物といえるのだろうか。ウイルスは上の生命の三つの定義のうち(1)ホメオスタシス（恒常性）維持能力や(3)エネルギー変換能力という条件は満たしていない。ウイルスは(2)の自己増殖能力は有していて増殖するが、自律的に自己を組織化することはできないし、自ら代謝もおこなうこともできない。タンパク質を合成するリボソームやエネルギー生産工場のミトコンドリアをもっていない。ウイルスにできることは他の生物の遺伝子に自らの遺伝子をもぐり込ませることのみである。厳密にいうと自らを挿入させる能力なども持っていないで、ただ標識ドメイン（入場許可証のようなもの）を持っているだけであり、あとは寄生された生物の細胞が勝手に導き入れて汚染されたタンパク質を増産し病気になるだけである。だからウイルスを生物の範疇に分類することはできない。おそらくウイルスは核酸 — DNA もしくは RNA — の一部がなんらかの事情で切り離されてきたものだろう。ウイルスと類似のものにプラス

ミド（細菌の核外遺伝子）やトランスポゾン（複数の遺伝子から成る転移性遺伝要素）などもあるが、それらは原核細胞が紫外線によって破壊されたのち修復に失敗した DNA や RNA の破片で、たまたま増殖能力をもったものと考えられている。ウイルス、プラスミド、トランスポゾンなどはいずれも生物の範疇には入らないのだ。それでも病原体になるのはそれらが増殖能力を有しているからだ。

6. 原核細胞

このように病原体として生命を脅かす、生物のような非生物の存在が明らかになり、生物の概念もより厳密化が求められ、上記のような定義に至るのである。生物は上述したように、細胞が単位である。そして最も原始的な細胞が原核細胞である。まだ生物のいない地球に、上述したように、さまざまな物理的・化学的な力の作用でいろいろな有機分子が蓄積し、それが偶然に集合して生命が生まれた。それが原核細胞で、これは単細胞生物であるから原核生物と同義となる。そして今日では原核生物は真正細菌と古細菌に分類されている。原核細胞のうちおそらくは嫌気性の古細菌がおおよそ 40 億年前、場所は原始地球の熱い海の中に登場したのである。初期の原核細胞は核としての構造をもっていない。きちんと核としての構造をもった細胞を真核細胞というのであるが、その真核細胞はもっと後になって登場する。原核細胞は核膜がなく、核外遺伝子プラスミドで DNA や RNA は細胞内にちらばっていて、紡錘体を形成して行われる有糸分裂はおこなわない。

そしてこの原核細胞の特徴が不死であるということだ。実は生物に死はなかったのである。個体を存続させるだけの食料やエネルギーがあればいつまでも生きられる。そして原核細胞はある大きさになると分裂する。単細胞なので分裂と増殖は同義で、こうした生殖方法が、上述したように、無性生殖である。原核細胞はこの分裂の回数も制限がない。だから地上の生物量（バイオマス）のほとんどは原核生物が占めている。生物は不死の生物の方が死ぬ生物より優勢なのだ。

上述したように原核細胞の誕生はおそらく原始地球の熱い海の中である。現在も中央海嶺の深海底にある熱水噴出孔 — 要するに海底にある噴火口 — の周辺に生きる群生動物（シロウリガイやチューブワームなど）には硫黄細菌が共生している。この好熱性の化学合成細菌のような生物が最初の生物である可能性が高いのだ。ただし最初の生物の痕跡としての化石が発見されているわけではない。そしてこのような原核細胞はおおよそ 10 億年以上にわたって深海域から脱出することはできなかつたと思われる。というのも当時は生命を危険にさらす宇宙線が海中にも侵入し高分子の存在を拒みつづけていたので

ある。しかし今から 28 億年前から 27 億年前にかけて地球環境に大きな変化が生じる。つまりこの頃磁場が強くなり、その磁場のバリアーによって宇宙線が防御されるようになっていったのだ。そうすると生物は次第に海面近くに進出していくことになる。

そうこうするうちにバクテリアクロロフィルをもち、光合成を行う光合成細菌も登場している（これも最古の化石は未発見）。光合成を行う独立栄養生物である。そして二酸化炭素を還元していくのであるが、そのとき必要な水素は水ではなく、硫化水素とか大気中の水素そのものなので酸素は発生しない。

初期の原核細胞は、光合成を行う光合成細菌であっても、酸素のないところで増殖する嫌気性であった。細胞にとって酸素は毒であるが、そもそもこの地球の大気中には酸素は少量しかなかったのだ。40 億年前の大気中で今日のおよそ 1 万分の 1 の量であったといわれている。酸素は化学反応の能力に優れ、何とでも反応し酸化してしまうので、DNA とも反応して遺伝情報を攪乱したりする。だから一定の濃度を越えると生物は危険な状態になってしまうのである。このことから酸素の摂取過剰と老化の因果関係を見る向きもある。

しかし海に無限に存在する水を二酸化炭素の還元を利用しない法はない。そこで浅い海に進出した生物の中から、太陽の光エネルギーを使って二酸化炭素と水から有機物を作るという炭酸同化をおこなう生物が出てくるのである。水からの炭酸同化は結果的に酸素が大量に発生していくことになる。水は水素原子 2 個と酸素原子 1 個が結合しているので、水素を光合成に使用すれば酸素が廃棄物となるという寸法である。その酸素を利用する生物が現れるのである。そうした好気性の光合成細菌の最初の生物がシアノバクテリアというわけである。以前にはシアノバクテリアが最初に登場した生物であると喧伝されていたが、今日ではシアノバクテリアが作り出したストロマトライトの最も古いものは 27 億年前とみなされている。ストロマトライトとはそのシアノバクテリアの群集が、堆積物粒子を結合させたり、炭酸カルシウムを沈殿させたりして作った堆積構造をもつ化石の総称である。このストロマトライトは現在でも特殊な環境下で生きていて、オーストラリア南海岸やアメリカ西海岸で見ることができる。ともかく地球上には太陽の光も二酸化炭素も充分にあったがためにこの光合成細菌は猛烈に繁殖していった。

7. 真核細胞

ところで、生物が死んで有機物である体が大気中の酸素によって酸化されれば、酸素が増加することはない。しかし有機物が酸化されずに堆積岩の中に固定されていくと、大気中の酸素は増えることになる。19 億年前には

既にかかなりの堆積岩が形成されているので、その結果、酸素はますます増加していった。酸素はしかし上述したように生物の体を酸化させる毒なので、生物はそれまでの細胞の形態を変え、DNA が酸化されないように内部に保護しようと核膜を備えるようになる。同時に、上述したように、この頃酸素を取り込んで呼吸する好気性細菌が誕生している。

そしておそらく今から 20 億年前より以前に、もともとは嫌気性の原核細胞（古細菌）が生き残りの方法として酸素呼吸（好気呼吸）をするミトコンドリア（真正細菌）を取り込んで新しい形態の細胞が登場したらしい。これが有名なマーギュリスの共生説である。宿主の細胞のルーツが未確認なので仮説の域を出ないが、真核細胞の誕生はこの女性研究者の共生説が現在最も有力である。

好気性細菌が嫌気性細菌に共生することによって、原始真核細胞ができたというのである。ミトコンドリアが独自の DNA やタンパク質合成装置をもっているのはミトコンドリアがもともとは好気性細菌で、あとで嫌気性細菌に侵入して共生したからなのである。そしてミトコンドリアの共生した細胞にさらに藍色植物と近縁の好気性の光合成細菌が共生しこれがクロロプラスト(葉緑体)となったのである。だからクロロプラストも独自の DNA をもっているのである。そうしてなったのが真核細胞である。こうして細胞共生によって真核細胞が現れたが、最初の真核細胞は単細胞であったと思われる。中部オーストラリアの 9 億年前の地層であるピター・スプリング層から出土した藻類化石のなかに減数分裂の状態を示すものがあり、そのことがこの頃までに真核細胞の生物が出現したことを意味している。

真核細胞は核をもち、遺伝因子はこの二重の膜でできた核のなかに閉じこめられている。すなわち細胞は外側から、細胞膜・細胞質・核質という構造になった。

この最初の真核細胞は一倍体単細胞で、出現は 20 億年前といわれる。一倍体とは染色体が 1 セットの細胞という意味である。この真核・単細胞生物を総称して原生生物というのであるが、単細胞なので、原核細胞同様に、緊急事態が外部から到来しない限りいつまでも生きていける。すなわち不死である。そして原核細胞同様に、ある大きさになると分裂する。すなわち無性生殖である。しかし分裂の仕方が原核細胞とは異なっていて、原生生物は有糸分裂（染色体を生じ紡錘体を形成して行われる分裂）を行う。そしてこの真核・一倍体・単細胞生物が飢餓の状況になったりする — たとえばアミノ酸を構成する窒素がなくなったりする — と、すなわち死が切迫するというわけであるが、そうすると相手を探して合体し、二倍体細胞となるのである。この合体を接合という。真核・一倍体細胞は接合して真核・二倍体細胞になり、眼前の危機を凌ぐ。そして危機的状況が去るとまた元の

一倍体に戻る。二倍体を続けることなく、ある時期がくればまた減数分裂して一倍体細胞に戻るのである。接合した二倍体は不死ではなくなるからである — それについては後述 — 。原生生物クラミドモナスなどの観察例でいうと、接合したもの — この時点では二倍体 — はその後、殻を作って閉じこもり、そして周辺の環境の条件がよくなれば減数分裂をして四つの一倍体・単細胞となり、再び本来のクラミドモナスとして不死の生活を継続していくのである。どうもこのあたりに性のルーツがあるようだ。私たちのような多細胞生物 — 後述 — において、性に関わる生殖細胞は二倍体であるが、それが減数分裂して一倍体になることで永遠に継続していることを思えば、性の営みの生物学理由がここいらにあることが予想される。

一倍体細胞が合体して二倍体細胞になるものの、再び一倍体細胞に戻るのが真核・一倍体・単細胞生物の特徴なのだ。二倍体になることは、細胞分化という細胞間の役割分担という点では、一倍体細胞よりも優れている。そこで染色体の塩基配列が類似しているものがペアを作り始めたとき、すなわちそれが相同染色体であるが、そのとき二倍体細胞が独立して存在するようになるのだ。クラミドモナスのように二倍体細胞が一倍体細胞に戻るのではなく、二倍体細胞のまま有糸分裂する生物が出てきたのである。その結果、二倍体細胞は一倍体細胞の有糸分裂とは比較にならないほどの頻度で遺伝子組み換えが起こる利点をもつことになる。遺伝子組み換えは紫外線を吸収することで傷みやすい DNA を修復する結果となるので、生物の多様性を帰結し、環境の変化にも耐えうる力をもったものが新しく生まれてくる可能性が高まるのである。

そういう点では肯定的な側面を持った事態である。しかし、残念ながら良いことばかりではない。この二倍体細胞の有糸分裂にはきわめてやっかいな問題が生じてくるのである。二倍体細胞は、原核細胞や一倍体細胞と異なって、分裂が無限にはできないのだ。

たとえば真核・単細胞であるが二倍体細胞であるゾウリムシは 1940 年代までは無性生殖で永遠に生きるものと思われていた。つまり無限に分裂できると考えられていたわけである。しかしそうではないことが判明した。ゾウリムシは徐々に分裂に勢いがなくなり、180 回ほど分裂した後で、核を分裂させて二つにして、それぞれを減数分裂させて合計八つの一倍体の核を作ったのである。そしてそのうち最初に分裂して分かれた両者から一つずつが接合し、残りの六つを壊してしまったのである。そして再び元気になって分裂を繰り返していったのである。接合の相手がいない時は自己の細胞内で一倍体の核を作って二つを合体させる自家受精を行う。ともかくそれによってゾウリムシは若返るのである。つまりゾウリ

ムシは分裂に限界のある二倍体のあり方を一時放棄して一倍体になることで分裂を無限に繰り返し、永遠の生を獲得しているのだ。

さて、一方で酸化反応によって効率のよいエネルギーが獲得できるようになった生物は大型化していく。大型化とは多細胞生物の登場である。多細胞生物は約 10 億年前に登場する。ゾウリムシは単細胞に留まるが、多くの二倍体細胞は多細胞となっていく。

そして多細胞生物の真核細胞は二つに大別される。それは個体を維持するための体細胞と子孫を残すための生殖細胞である。より重要な役割を有するのが生殖細胞で、これが別の性をもつ細胞と合体し、新しい生命を創造する。そしてこの生殖細胞は不死である — もちろん条件さえ整備されていればという話である —。そしてその細胞を生かし守るという役割が与えられているもう一つの細胞が体細胞である。生殖細胞が次世代を正確に船出させるため、それを援助していくのが体細胞の役割である。そして無事に次世代の船出を完了させると、体細胞はもはや不要になる。私たちがいう死、私たちが問題にする死とは体細胞の死である。生殖細胞の方は子に継承され、条件次第では次の子から次の子へと永遠に継続していくのである。

体細胞の寿命は有限である。たとえば体細胞である二倍体の繊維芽細胞 — 繊維芽細胞はコラーゲン（動物の皮革・腱・軟骨などを構成する硬蛋白質の一種で温水で処理すると溶けてゼラチンとなる）などの細胞間物質を多量に作り出す細胞 — は人間の場合培養皿で何回か分裂すると死んでしまう。動物の繊維性結合組織の主要な細胞である繊維芽細胞の、人間の胎児のものをシャーレで培養すると 50 回程度分裂するとそれ以上分裂しなくなる。動物の最大寿命もその動物の胎児の繊維芽細胞の分裂限界と比例するらしいのだ。人間の胎児の肺組織をトリプシン — 膵臓から分泌されるタンパク質分解酵素 — という酵素で処理して、細胞をバラバラにほぐし、その細胞を集めて、培養液で培養すると分裂し始めるが、やがて分裂増殖できなくなるのだ。分裂回数を PDL（細胞集団倍加数）で表すと、人間の細胞の増殖は約 52PDL であることが判明したのである。ウサギは約 20PDL、ネズミ約 10PDL、ガラパゴスゾウガメは 100PDL であるらしい。それは最大寿命にも反映して、最大寿命は人間 120 年、ウサギ 10 年、ネズミ 3 年、ガラパゴスゾウガメ 200 年となる。細胞には本来分裂寿命があるというわけである。だからこの分裂回数の上限を、発見者に因んで、ヘイフリック限界ともいう。この分裂回数は 1 番染色体長腕にある FAS リガンド、10 番染色体長腕にある FAS とカスパーゼ 7、19 番染色体の短腕にある TNF14 などに情報化されているアポトーシス誘導タンパク質が関わっているらしい — アポトーシスという言葉はすぐに説明す

る。長腕とか短腕とかいう言葉は、染色体はどれも中央近くにセントロメアと呼ばれる括れた部分があり、そこを境に短い短腕とより長い長腕に分かれるところからきている。

上述したように原核細胞は無性生殖、一倍体細胞は有糸分裂によってときどき合体しながら、いずれも不測の事態によって壊死するまで、いわば不死の生を享受できる。それに対して、二倍体細胞は先天的に予定された自死としての死を運命づけられているのである。細胞の死には二種類あるのである。

細胞の壊死をネクローシスという。それは突発的な事故や環境の激変などの不測の事態によっておこる細胞の死である。物質の分解をおこなう細胞小器官のリソソームが破裂や溶解によって細胞質にもれると、細胞質のタンパク質そのものを分解していく。それが細胞のネクローシスとしての死で、遺伝子に支配されていない細胞死である。私たち人間の人生の過程で経験することもある偶発的な死である。

一方、私たち人間は死ななければならない、という場合の死は、どうしても避けることができない運命としての死である。私たちがいくらネクローシスとしての死を回避する幸運な人生を送ろうとも、私たちを予め運命づけられている死である。この死をアポトーシスという。遺伝子に支配された、すなわちプログラム化された細胞の死である。そしてこれは発生の過程や体の形成および維持にも必要な機構であるとされる。つまり生理的現象として生命の発生過程、正常細胞の交替、内分泌系、免疫系などでアポトーシスは起こるのである。例えば生命の発生過程におけるアポトーシス現象としては指の形成における指間細胞の死とか生殖器の形成に際してのウォルフ管またはミュラー管の退化などである。また癌細胞は異常な増殖能力に加えて、アポトーシスを回避する方法を獲得するので、死ななくなる。エイズはヘルパーT細胞がアポトーシスによって死滅することで免疫系が破綻する。そして私たちが永遠の生を享受できないことも遺伝子に支配された、プログラム化された細胞の死があるからである。

さて、私たちのように有性生殖で増殖していく生物は、染色体が相同染色体として対になっている。これが先ほどから述べている二倍体という意味だ。体細胞も生殖細胞も二倍体なのであるが、生殖細胞は分裂の際に一倍体になるという減数分裂をおこなう。そしてその一倍体細胞は不死である。つまり二倍体の生殖細胞は減数分裂によって一倍体細胞に戻り、分裂能力をリセットすることになる。二倍体細胞は分裂限界すなわち寿命があるのだ。その死を運命づけられた二倍体細胞は減数分裂によって再び不死の一倍体細胞に戻って、分裂回数を初めからカウントし直すというわけである。減数分裂を通過すると

分裂の能力がリセットされる。卑近な例で説明すれば、二倍体細胞は、体細胞も生殖細胞も、いわば分裂の「回数券」を持っているようなものなのだ。最終的に「回数券」を使い果たすと、いわゆるアポトーシスとしての死に至る。ただし生殖細胞は「回数券」の何枚かを使用した後に、ときどき一倍体細胞にもどってをリセットして、合体して二倍体細胞を作り直すというわけだ。そこから「回数券」が再び使用されていくのだ。生殖細胞は二倍体細胞（死）と一倍体細胞（不死）の二階層間を往来しながら、有性生殖の歴史10億年間絶えることなく存続してきた。遺伝情報はこの間、突然変異で変化したり、傷ついたり修復したりしながら、コピーされて連続的に伝えられてきたのである。だから「有性生殖とは、生物が、自分の『種』としてのアイデンティティーを保ったまま、二倍体と一倍体という二つの階層を行き来して、二倍体細胞が運命づけられている、分裂の限界を克服するためのしくみ（団まりな『性のお話をしましょう』）」ということができるのだ。「生物学の観点からすれば、われわれは愛することによって不死に到達する」（リュフィエ『性と死』）。有性生殖は、一個体における分裂の限界としての死を克服するためのシステムなのだ、まさしくビートルズではないけれど「愛こそすべて(All you need is love)」なのだ。

ここから話は一気に二倍体細胞の話になっていく。性と死の相関関係がより鮮明になっていく。ある種の腔腸動物は無性生殖と有性生殖とを交互に繰り返すが、たとえばヒドラは通常は体が成長して大きくなると、体の一部が分離して新しい個体として増える。無性生殖である。しかし、ある条件になると、オスとメスに分化して有性生殖で増えるようになる。そこに寿命が出てくるのである。また、ニジマスなどを養殖する際に、放射線処理を施して生殖機能を破壊したり、ホルモンで性成熟を遅らせたりすると寿命が長くなる。ショウジョウバエも性成熟しにくい餌で飼育すると寿命が延びる。このように有性生殖と寿命による死との間には密接なつながりがあるのである。

ところで有性生殖は、それまでにこの世に存在しなかった遺伝構造をもつ生物を誕生させるわけだから、結果として環境の変化をもたらす。その代償として環境の変化に対応できなくなった細胞は死ななければならない。これが有性生殖で増殖する生物に死がインプットされた第一の理由であろう。さらに有性生殖では遺伝子構成がまったく新しい個体が生まれるということであるが、この新しい受精卵がはたして発生に相応しいものかどうかの問題が残る。つまりもし受精卵が不良であれば、消えてもらわねばならないのだ。おそらくはここに第二の死の起源がある。要するに死は性による生の連続性のためになければならないものとなったのである。性は誕

生も死も支配しているといえるのだ。

8. 真核細胞の構造

さて、細胞は生物の構造上そして機能上の基本的単位である。1665年にフックが発見したのはコルクの切片という厳密には細胞の残骸であったが、1838年にドイツの植物学者のシュライデンが植物の構成要素は細胞で、細胞こそ生命の単位であるという考えを明らかにした。さらに動物の細胞に関しては1839年にシュワンが研究成果を発表し、細胞説を基礎づけた。ちなみに「細胞」という訳語は江戸時代の本草学者の宇田川榕庵による。細胞の大きさの標準は 10μ ・(マイクロメートル)から 30μ ・が標準である。マイクロは 10^{-6} を表す。生物はみな同じくらいの大きさらしい。

細胞膜には細胞の境界、物質の輸送、膜内受容体による情報の受容、興奮性などの働きがある。ただしかつて考えられていたように、この細胞膜は単なる保護の役割に終始するものではない。もっと積極的に膜を出入りするものを選択し、外界からのメッセージを伝えるものである。

細胞質には細胞小器官(オルガネラ)があり、これは原形質の一部が特殊に分化した構造物の総称で、いずれも膜がある。この細胞小器官はすべて母親の卵に由来している。細胞小器官には具体的にミトコンドリア・葉緑体(クロロプラスト、植物のみ)・ゴルジ体・小胞体・ミクロボディ(ペルオキシゾーム、過酸化酵素小体)・中心子・被覆小胞・微小管などがあるが、ここではマーギュリスの共生説として上述したミトコンドリアについてのみ触れておく。

ミトコンドリアは細胞内のエネルギー生産工場といつてよい。ではそもそもエネルギーとは何だろうか。たとえば紙切れや木ぎれを燃やすと熱が出る。この熱がエネルギーだ。エネルギーは紙の成分である炭素化合物が高温で酸素と化合して二酸化炭素と水に分解される際に放出されるのだ。生物もこれと同様である。すなわち酸素をとりこんで体内で物質を燃やすことによってエネルギーを獲得しているのだ。ただし高温ではなく 36°C 前後の体温下で行うので火は出ない。そのエネルギー代謝をおこなっている場所が細胞内のミトコンドリアなのである。ミトコンドリアはもともと好気性細菌で、酸素を必要とするものであった。ミトコンドリアという好気性細菌はエネルギー効率を一気に上昇させる。

ATPすなわちアデノシン三リン酸は細菌から人間にいたるまで共通して生命維持になくてはならない分子で、アデノシン(アデニンという塩基とリボースという糖が結合したもの)に3個のリン酸が結合したヌクレオチドである。そして必要な時にそのうちの1個のリン酸が切り離されてADP(アデノシン二リン酸)になるときにエネルギー

が放出され、そのエネルギーが生体機能を維持するのである。生物はエネルギーをATPとして貯蔵し必要に応じてリン酸とADPに分解し、その際放出されたエネルギーを生命活動に利用しているのである。それは人間におなじみの運動エネルギーや熱エネルギーがそれであるが、その他にも動物の世界での光エネルギー(ゲンジボタル・ウミホタルなど)や電気エネルギー(デンキナマズなど)なども同じである。

1個の細胞にミトコンドリアは数十個あるのが普通であるが、肝細胞のようにエネルギーを多量に必要とする細胞ではミトコンドリアは2500個ほども存在している。植物細胞では100個から200個であるからかなりの数値である。このミトコンドリアには16,569bp — bpというのはベースペアと読み塩基対数の単位 — という少量ではあるがDNAがあり、さらに2種類のrRNA、22種類のtRNAがあり — rRNA(リボソームRNA)やtRNA(トランスファーRNAまたは転移RNA)については後述 — 、13種類のタンパク質を合成する独自の装置もっている。そして自ら分裂して増殖する。哺乳類の場合、ミトコンドリアを含む細胞小器官は母親すなわち卵細胞に由来していて、そのDNAは父親のDNAには全く影響されないで母親のDNAを受け継いでいる。これは哺乳類の種の初期設定がメスにあることを物語る。

9. 核

真核細胞は、繰り返しになるが、細胞膜・細胞質・核質という構造であり、遺伝因子は核に閉じこめられている。1869年に最初に細胞 — それは膿の細胞、つまりマクロファージ(アメーバ状の食細胞で、異物をとらえて小さく分解する抗原提示細胞)であった — の中にたくさんの燐が入っているものを発見したミーシャーは、その燐が核(nucleus)の中にあつたのでヌクレイン(nuclein)と名づけ、さらにヌクレインは酸性であることがわかったのでヌクレイン酸(核酸)(nucleic acid)とよばれるようになっていく。さらに核酸分子の分析からデオキシリボース(deoxyribose)という糖分子もみつかったのでデオキシリボ核酸(deoxyribonucleic acid=DNA)という名称が生まれた。そのDNAが二重らせん構造であることは後述するが、とにかくDNAは2本の糸がよじれた細長い紐のようなものである。その長さは、つなぎ合わせると、人間の場合だと1個の核のなかで $1.8\cdot$ にもなる。これが60兆個といわれる人間の細胞すべてに含まれているのである。

染色体の基本構成要素はこのDNAと塩基性タンパク質のヒストンである。一本の染色体に直径2nmのDNAは一本でヒストンに巻きつき、約10nmのヌクレオソームを形成している。DNAとヒストンの複合体がクロマチン(染色質)で、ヌクレオソームはその基本単位である。

ヌクレオソームは規則的に重なり、直径 30nm のクロマチン繊維となるが、これが分裂期には何重にも折り畳まれて直径 700nm の染色体となる。クロマチンは普通は顕微鏡では観察されないが、細胞分裂の際に凝縮して顕微鏡でも観察されるようになるのである。顕微鏡で観察する際に塩基性色素で染めやすい — 最初は青紫色に染まった — ので染色体といわれるのである。染色体を発見したのはネーグリで 1842 年のことであるが、「染色体」の命名は 1888 年のヴァルデヤーによる。chromosome は chroma (色) と soma (体) の合成語である。因みにそれを「染色体」と訳したのは 1892 年の石川千代松である。

細胞分裂の時に観察できる染色体の数は生物の種類によって異なっている。人間の場合は 23 対 46 本である。人間の DNA はまとめると 1.8・になることは上述したが、それが染色体になるとき 23 対 46 本に切れるということである。それが染色体数というわけだが、この DNA の切れ方に生物における法則性が何かあるのかというと、その法則は発見されていない。一般に染色体数が多いということは遺伝子も多く、遺伝子が多いときびしい環境下で柔軟な対応ができ、個体の生存に有利に働くということはいえそうであるが、しかし後発の生物が必ずしも多くの染色体を持っているわけではない。染色体だけの問題ではなく、DNA の量は質を規定しているわけではないのだ。

10. DNA

さて、人間はとにかく誕生してみると決してサルではなくて人間であり、しかもなぜか親と似ている。それが遺伝というものである。この遺伝現象を最初に解明したのはオーストリアの修道士メンデルである。メンデルは修道院の庭で豌豆を用いて交配実験をして、親から子へと形質を伝える物質のことを因子と呼び、基本的な法則を 1865 年に「植物の雑種に関する実験」と題してまとめた。生前には注目されなかったが、後代の学者によって再発見された。それがメンデルの法則である。メンデルの最大の功績は遺伝形質を決定する因子が「粒子」状のものであることを明らかにしたことである。遺伝の性質の多くが融合体のように見えるのは、複数の粒子が関与しているからなのである。この粒子状の因子が様々な呼称で命名され、最終的に残ったのがジーン — 命名したのは 20 世紀初頭のデンマークのヨハンセンであった — すなわち遺伝子である。ただその遺伝子が DNA であることがわかるにはもう少し時間を必要とした。

メンデルから始まった遺伝の研究は、今日では遺伝子が DNA であることが明らかになっている。DNA は二重らせん構造になっている。これを発見したのはクリックとワトソンである。要するに 2 本のヌクレオチドが同一軸を中心とらせん状に鎖のように繋がっている (ヌクレ

オチド鎖)。このヌクレオチドは糖とリン酸と塩基からなっている中サイズの分子であるが、糖は炭素原子 5 個をもつペントースの一であるデオキシリボースであり、このデオキシリボースとリン酸が外側の鎖部分をつくっている。それに対して窒素を含む環状の有機化合物である塩基が内側に向いて、2 本の鎖をずれたりほどけたりしないようにしっかりと結びつけているのである。塩基を結びつけているのは酵素である。酵素とは化学反応を円滑に進める触媒としての高分子化合物で、タンパク質のみから、あるいはタンパク質と低分子化合物とからなっている。生体内でおきる化学反応はほとんど酵素が触媒しているのである。DNA の塩基を結びつけているのは DNA ポリメラーゼという酵素である。ポリメラーゼは何種類かあるが、それらも遺伝子が作り方を指令する。3 番染色体長腕, 8 番染色体短腕, 12 番染色体長腕, 17 番染色体長腕, 19 番染色体長腕, X 染色体短腕などにその遺伝子があることが分かってきた。

DNA の塩基はアデニン (A), チミン (T), グアニン (G), シトシン (C) の 4 種類の分子からなっている。この 4 種類の塩基がたとえば人間では約 32 億 5400 万個並んでいる。A と G はプリン塩基, T と C はピリミジン塩基である。そして A と T, G と C が水素結合している。水素結合しているということは二重らせんを形成している 2 本の鎖に相補性と呼ばれる関係があるということである。一方の鎖に A があるところでもう一方の鎖には必ず T があり, G のあるところには C があるということである。DNA に記された遺伝情報は、たとえば AGTTCGATCTTGCTAAGGCTC のように四文字からなる文章と考えてよい。これは一つの鎖にこの順番で塩基が配列されているということである。そして一方の鎖にこのように塩基が配列されているということはもう一方の鎖の塩基配列も必然的に決定されているということなのだ。この例でいえばもう一方は TCAAGCTAGAACGATTCCGAG となるというわけである。要するに DNA の一方の鎖の塩基配列が決まれば、自動的にもう一方の塩基配列が決まるということである — この現象を対合という — 。しかし遺伝情報をもっているのは片方の鎖だけで、その遺伝情報をもつ方の鎖をセンス鎖, もっていない方をアンチセンス鎖という。アンチセンス鎖の役割は相補性に即してセンス鎖を一方にもつようにすることにある。ただし上述したようにセンス鎖のすべての DNA が遺伝子というわけではない。DNA のうちタンパク質のアミノ酸配列の情報を収める部分はわずかであるが、それが遺伝子である。遺伝子として働いている部分をエキソンといい、そうでない部分をイントロン (介在配列) という。

細胞分裂に先立つ核分裂において新しい DNA が古い DNA の二重らせんをほどいて、あらたに対合により相補

的な鎖を作り、再び二重らせんを形成していくのである。そしてセンス鎖の A, T, G, C のなかの 3 個の配列がアミノ酸を作れという暗号指令であり、3 個 1 組の塩基の配列のそれぞれの記号をコドンという。

どのコドンがどのアミノ酸に対応するかを示したものが遺伝暗号表である。実際のタンパク質は DNA のうち遺伝子だけを写し取った tRNA の塩基配列に従って作られるので、一般に遺伝暗号表は tRNA 塩基配列の表で示されている。

ところで、遺伝暗号表にある遺伝コードは全生物に共通である。いかなる時代のいかなる生物でも — バクテリアであれ人間であれ — 塩基は A, T, G, C の 4 種類であり、そして相補的な A と T, G と C は同じ量である。そしてたとえば、UUU はフェニルアラニンというアミノ酸を意味するコードであるが、しかしここで重要なことは、その UUU がフェニルアラニンを意味する必然性は現時点ではまったく見出せないということである。換言すれば、それが別のアミノ酸に対応するコードであってもかまわないのである。したがって、遺伝コードはまったく偶然に決定されたとしか考えられず、そのような偶然の一致がすべての生物で生じる可能性は皆無であろう。だから結局、現生生物のすべては、そのような対応関係を一度だけ偶然につくりあげた単一の生物を共通の祖先とし、そこから派生してきたものだと考えざるをえないことになる。

それに対して RNA は DNA がタンパク質を作るのを助ける物質である。RNA も、DNA と同様に、糖と磷酸と塩基からなる核酸であるが、RNA は DNA のように二重らせん構造ではなく、1 本鎖である。そして RNA の糖は DNA のデオキシリボースとは異なってリボースである。また、4 種類の塩基は DNA のチミン (T) のかわりにウラシル (U) である。DNA は核から出られないが、タンパク質は核の外で作られる。その際に RNA が働くというわけである。RNA は役割によって mRNA (メッセンジャー RNA または伝令 RNA) — 量的には全 RNA の 1, 2% — , tRNA (トランスファー RNA または転移 RNA) — 全 RNA の 8, 9% — , rRNA (リボソーム RNA) — 全 RNA の 90% 以上 — の 3 種類がある。

mRNA は DNA の情報を転写する。転写の仕方は DNA の二重らせんがほどこけた内のアンチセンス鎖を鋳型にして相補的な塩基配列をもつように mRNA が作られる。つまりアンチセンス鎖にある A は U に、T は A に、G は C に、C は G にという仕方を読み取られるわけである。その結果 mRNA の塩基配列は、T のかわりに U ではあるが、DNA のセンス鎖と同じものになるが、さらに編集され、イントロンを切除し、エキソンだけをつなぎ合わせるのである。そういう一連の作業は RNA ポリメラーゼという酵素の働きによる。17 番染色体短腕にあることが知ら

れている。

そして核のなかで情報を転写した mRNA は核の外に出て、核の外で待ちかまえていた tRNA が、遺伝情報をコドンごとに取り取り、その指令通りに一つのアミノ酸をリボソームというタンパク質合成工場まで運搬してきて、それを順序正しくつないでいく。tRNA は一つ一つのコドンに対応して、一つずつ別の種類があるから、全部で $(4 \times 4 \times 4 = 64)$ 種類あることになる。アミノ酸は 20 種類なので多少の重複対応はあっても一つの tRNA は一種類のアミノ酸に対応しているわけである。AUG はアミノ酸合成の開始点であり、メチオニンというアミノ酸を作る命令も兼ねている。また UAA, UAG, UGA は対応するアミノ酸はなく遺伝子の最終点に使われる暗号である。タンパク質合成の終点を教えるものである。

80 以上のタンパク質と 4 種類の rRNA からなる顆粒状のリボソームで tRNA は持っているアミノ酸を rRNA に手渡し、ミトコンドリアで作られたエネルギーを使ってタンパク質を合成していくのである。そのプロセスはリボソームに mRNA の先端 (開始信号 AUG) がついて、tRNA がメチオニンをペプチド結合させる。空になった mRNA は離れ、次々に tRNA がやってきてペプチド鎖は伸張していく。この mRNA から出されるタンパク質の合成の指示を翻訳という。アミノ酸の数が 100 個から 200 個ならば 1 分以内に完了する。要するに転写から翻訳へというプロセスで細胞の形質が発現していくのである。

ところで一つの生命体の 1 個の細胞に入っているすべての DNA をゲノムという。ゲノムという用語はかつては「遺伝子」の総数の意味で使われていたが、DNA と遺伝子は一致していないことが判明したこともあって、今では総塩基対数の意味で用いられている。人間の場合、染色体 1 セット、すなわち 22 対 44 本の常染色体と 2 本の性染色体がもつ DNA の総体をヒトゲノムという。DNA の総数であるゲノムと遺伝子の数は一致しないことは上述のように遺伝子として働かない DNA がたくさん存在するからだ。センス鎖のなかで DNA が遺伝子として働いていない部分をイントロンといったが、イントロンの働きの一つは遺伝子を分断することである。遺伝情報が DNA から RNA に転写される時、このイントロン部分を切り出す作業 (スプライシング) がスプライセオソームという酵素によっておこなわれるのだ。要するに有意味な情報と無意味な情報を選別し、前者だけを拾っていく作業を RNA が行うのである。したがって mRNA にイントロンは存在しないで、エキソンからだけで成り立っている。

ところで上述のようにアンチセンス鎖には遺伝子はない。また、原核細胞は二本鎖の構造を有していないので、センス鎖はないし、当然イントロンもない。しかし真核細胞になってそれらが現れてくる。つまりイントロンと

いう無駄で余分な構造が遺伝子に含まれることは、進化の過程での多様な遺伝子を作るために、無意味な遊びが必要だったのだろう。

それはともかく DNA→RNA→タンパク質の遺伝情報の伝達は不可逆である。これをセントラルドグマという。命名したのは DNA のらせん構造の発見者の一人であるクリックである。しかしこのセントラルドグマに例外があるのだ。つまりウイルスの一部 — 上述のレトロウイルスなど — に RNA が自己複製して逆に DNA へと転写をおこなう逆転写酵素を持つものが発見された。つまり RNA に情報が蓄えられており、RNA 自身にコードされた逆転写酵素という酵素によって DNA が作られ、その DNA が通常の方法でタンパク質合成にいたるというわけである。セントラルドグマは DNA⇌RNA・タンパク質と修正された。DNA→RNA が転写、DNA←RNA が逆転写である。

11. ヒトゲノム

ところで現存する限りで人間に最も近い動物であるチンパンジーの染色体数は 24 対 48 本である。人間は既に述べたように 23 対 46 本である。染色体はある色素で染めたときに現れるといったが、その現れ方は人間とチンパンジーではほとんど同じである。ただ人間の 2 番染色体が、チンパンジーではさらに 2 本に分かれて数的に 1 対多いのである。というより人間の 2 番染色体、つまり 2 番目に大きい染色体はチンパンジーの中くらいの染色体が二つ合体して生まれたものらしいのだ。トータルでいえば、人間の総塩基対数(ゲノム)は 32 億 5400 万 bp、総遺伝子数は 28924 である。チンパンジーは総塩基対数 28 億 4300 万 bp、総遺伝子数 25174 である。簡単な計算では人間のチンパンジーの差異率は総塩基対数で 12.6%、総遺伝子数で 12.97%となる。12%前後の違いしかないわけだ。個々の例でいうと例えば 7 番染色体長腕には発話と言語に関わる遺伝子がある。発話や言語に関わる脳の領域を作る重要な役割のタンパク質を作る遺伝子が、何と人間とチンパンジーでは 2 塩基が異なるだけなのだ。この僅かな差が人間とチンパンジーの言語能力の違いを生んでいるらしいのだ。

人間の染色体の 23 対 46 本は 22 対 44 本の常染色体と人間の性を決定する 2 本の性染色体からなっている。常染色体の番号は長さが長い順に 1 から 22 の番号がついている。もっとも番号がつけられたあとで 22 番染色体が 21 番染色体より長いことが判明したが、番号はそのまま継続されて使用されている。ダウン症候群の原因としてトリソミー 21 — 21 番染色体が 3 本あるトリソミー — という名称が先に普及したので染色体番号は当初のままであるという経緯があった。その他にも例えば 5 番染色体の方が 4 番染色体より大きかったり 11 番染色体は周辺

の染色体よりかなり大型であることなど、より精密な研究は番号と一致しないケースも生んでいる。ともかくこの常染色体に加えて、女性は 2 本の X 染色体、男性は 1 本の X 染色体と 1 本の Y 染色体という 2 本の性染色体もっているのである。

ところでゲノム(genome)とは gene (遺伝子) と ome (総体を表す接尾辞) とか gene と chromosome (染色体) をあわせて作ったとか言われている。DNA の総塩基対数が遺伝子とは異なることが判明してからは、一般的にはゲノムは DNA 総塩基対数をいうようになった。

人間のゲノムをすべて解読しようというプロジェクトは DNA 二重らせん構造の提唱者ワトソンによって、1988 年 HUGO (ヒトゲノム機関) として発足し、国際協力のもとに推進されてきた。1999 年 12 月に 22 番染色体の解読結果が発表された。2000 年 6 月 26 日にドラフト配列の解読を終了、2003 年 4 月 14 日に全作業を終了した。しかし遺伝子の分析が完了したわけではない。

さて、核内の遺伝子であるが、DNA のうち遺伝子として働いているのは当初の予想の約 10 万個をはるかに下回る約 3 万個という数値だった。割合が 1%にも満たない数値だ。また遺伝子数約 3 万という数値は大腸菌 4435、コウジ菌 1 万 2332、ショウジョウバエ 1 万 4105、線虫 2 万 0101 などと比較しても極端に多いわけではないことも判明した。植物のイネなどは総塩基対数は 3 億 7100 万 bp しかないのに、総遺伝子数は人間並みに 2 万 8661 である。動物のマウス(ハツカネズミ)は総塩基対数 27 億 3900 万 bp、総遺伝子数は 2 万 9725 で、人間以上なのだ。

さて、人間にほぼ共通の DNA 配列中には所々に一塩基対のみの多型(相違)が見られる。プールされている遺伝子は人間なら人間で共通であるが、実際に使用される遺伝子の数や組み合わせに個人差があるというわけである。この一塩基多型を SNPs (スニップス) というのであるが、これがいわゆる個性を作っているのである。それが現在 140 万個見つかったとのことである。たとえば同じ一つのことを決める多数の遺伝子ポリジーンは多数集まるとたとえば背が高くなり、減ると背が低くなるが、一人一人持っている数が異なっているのである。免疫のシステムも基本的には同じだが、遺伝子の組み合わせで少しずつ人によって異なる。そこで人口が 70 億近くになると、組み合わせが同じ人間も増えるというものである。それがまさに臓器移植を成り立たせているのだ。眼の色にしても虹彩の色を決めるのはメラニン色素というタンパク質で 15 番染色体長腕には瞳の色遺伝子(茶/青)が 19 番染色体長腕にも瞳の色遺伝子(緑/青)がある。しかし光を遮断するという機能は人間共通で、これに抵触しない限りで、光の吸収率が少しだけ違うタンパク質が組み合わせさつていろいろな眼の色を作っているの

である。そういう遺伝子の差を決定するのは環境などの遺伝子以外の要素もかなり強いのだ。ともかく血縁関係にない二人の人間の DNA を較べると、1000 塩基に 1 個の割合で塩基が異なるらしいが、これが人間の多様化の原因である。

上述のように科学の進捗によりゲノムが判明してきて、われわれの遺伝子の構造も次第に明らかになっている。しかしだからといって遺伝子が全てを牛耳っているというわけでもない。俗言の「氏より育ち」は誤りで、一事実、誤りなのであるが、人間（だけではないが）は先天的に全てが決定されているという決定論も正しいわけではない。先天的遺伝子決定論にしる後天的環境決定論にしる決定論は間違いなのだ。特に知能は遺伝か環境か、という問題は人々の関心を引きつけ続け、一般的には人々は、教育の重要性を主張しつつも、先天的な能力の存在を信じてきた。事実知能を検査するという方法によると、一卵性双生児を別々に育ててみて、個人の知能の 80% は遺伝で、環境要因は 20% にすぎないという数値も現れている。一卵性双生児はゲノムが一致するが、たとえば指紋や血管や気管の形は異なるという。これらは環境に影響されやすいのである。そのような一卵性双生児を別々に育てるような実験がどこまで許されるのかは分からないが、リドレー『ゲノムが語る 23 の物語』に次のような報告がある。ニューヨークの一卵性双生児ベスとエイミーが、出生時に、研究熱心なフロイト派の心理学者によって離ればなれにされた。エイミーは、大柄で暴力的で愛情のない母親のいる貧しい家庭に引き取られた。その結果エイミーは神経質で内向的な子どもになった。ところが裕福な家庭で、柔和で慈愛に満ちた明るい母親に育てられたベスのほうも、あらゆる点でエイミーと同じになったのだ。エイミーとベスの性格は、ふたりが 20 年後に再会したとき、ほとんど見分けられないほどだったというのだ。

またリドレーは、成長するにしたがい、人間はだんだんと先天的な知能を発現し、他人の影響を失っていくとまで述べている。つまり人間は生来の性向に合った環境を選ぶのであって、環境に対して性向を合わせるのではないのだ。「氏より育ち」という思想は間違いと断定されたい。もっともソビエトで「氏より育ち」説の代表であるルイセンコの学説を信じずに、説得ではなく銃殺の対象となっていった人たちの復権は未だなされていないように思われる。

しかし人間性というものには環境、そして時代性やエートスや流行（モード）なども決定的に影響を働かせるのではないだろうか。この問題はどうか解決されるのであろう。例えば背が高くなる遺伝子を持った子が必ずしも背が高くなるわけではないし、知能に優れた遺伝子に恵まれた人間が必ずしも社会で知患者だと認められるわけ

ではない。育った時期に栄養失調に陥る環境であればいくら立派な遺伝子でも背は高くはならない。いくら血統的に知患者であっても社会が認めないケースはいくらでもある。このことについてもリドレーは興味深いことを述べている、「かつては、十分な栄養が得られないために、大人になっても『遺伝的な』身長に達することのできない子どもがたくさんいた。だが今日、子どもの栄養状態は概して良くなっているのだから、身長差を生む原因として遺伝子の割合が増えている。つまり、身長差の遺伝依存性が強まっているのではないか。彼によると「ヒト遺伝子のスイッチのオン・オフは、意識的あるいは無意識に働きかけられる外からの作用に影響される場合もある」のだ。この「外からの作用」とは「外部の事象や自由意志による行動の場合もある」ということで「われわれは全能の遺伝子に操られているのではない」のである。

12. 遺伝子と病気 — 癌の場合

さて先に人間を悩ませる病気として感染症の問題をウイルスとの関連で若干述べた。日本では 1950 年まで死因の第一位は「亡国病」といわれた結核であった。結核は結核菌という細菌が病原体で、それが感染することによって罹患する、いわゆる感染症である。しかし戦後、時の経過とともに、感染症に替わって死因の上位に出てくるのが、成人病 — 壮年期以後に発症する病気の総称 — であり、その上位を占めるのは癌・心疾患・脳血管疾患となった。心疾患と脳血管疾患はともに血液に関する病であるから、現代では癌と高血圧が死因の両雄といえる。そのうち癌は 1981 年以来群を抜いて第一位である。現在の死因第一位の病気である癌について本稿の最後に考えておこう。

細胞には自死としてのアポトーシスという機能があることは上述したが、実は癌はそのアポトーシスが関係した病である。繰り返すが私たちの死は体細胞の死であり、生殖細胞は — 多少突然変異の影響で姿は変えても — 永遠に継続しているのだ。しかし体細胞が、生殖細胞に尽くす奉仕の精神を忘却し、アポトーシスを回避して不死・永遠にみずからの複製を生み出そうとするとどうなるだろうか。実はかく体細胞が分裂を止められなくなった状態、不死性を獲得した状態、それこそが癌なのである。癌はアポトーシスを回避して増殖しながら、肉体を構成している組織に侵入し、その組織の正常な働き — それもこれも生殖細胞を守るという仕事 — を妨げ、さらに血管やリンパ管などを通じて別の組織に遠隔転移し、ついにはその個体を死に至らしめる異常細胞の集団と定義できる。

癌は遺伝子に関わる。すなわち癌化のメカニズムはまず DNA に損傷を起こす要因 — 外因性と内因性がある — によって、正常な遺伝子が傷つき、修復過程でエラー

が起きると活性化される。正常な細胞の中に癌になる遺伝子があるというわけである。この遺伝子の増殖能がさらに促進されて細胞の中で増殖が進む。しかしこの増殖を見つけたして、さまざまな遺伝子に命令を発して増殖をやめさせる、つまり内部からアポトーシスを誘発して癌遺伝子を自殺に追い込む遺伝子もある。それが癌抑制遺伝子である。癌抑制遺伝子はしかし不活性化されることもある。つまりイニシエーションやプロモーションで細胞の増殖が進むと、癌抑制遺伝子によってその細胞を減らす働きが誘導され、細胞は死滅していく。しかし細胞数が減少すると今度は死滅させる働きが抑制されて、再び細胞増殖を促進する状態になるのである。この癌抑制遺伝子が不活性化されることによって細胞の癌化が生じる確率が高くなり、悪性な癌遺伝子になるのだ。

このように1個の正常遺伝子が不死性を獲得することによって悪性な癌遺伝子となって増殖することが癌という病気である。細胞は死すべきであるのに、不死性を獲得すれば癌になるという、癌はなんとも逆説的な病だ。とにかく癌遺伝子は私たちの体の中には100種類以上もあるらしい。例えば1番染色体短腕の Jun (具体的には塩基配列の TGA(CorG)TCA に結合し、細胞分裂・分化とくに肝細胞において重要な役割を示し、このタンパク質が変異型になり機能が增强すると癌化が進行)、同じく RAS (ラットの肉腫ウイルスから見つかって人間の膀胱癌からも発見され、癌の約30%で RAS タンパク質が働き続けている)、8番染色体長腕の MYC (人間では子宮頸癌や脳腫瘍から見つかっている、癌細胞の不死化にも関与か)、17番染色体長腕の BRCA1 (乳癌原因遺伝子といわれる)、20番染色体長腕の SRC (ニワトリの肉腫であるラウス肉腫から見つかった) などである。

そして癌抑制遺伝子も10種類以上が見つかっているらしいが、癌抑制遺伝子とは増殖を制御したり、癌化しそうな細胞をアポトーシスに導く遺伝子であるが、異常になると癌の発症を抑制できない遺伝子のことである。このように今日では癌抑制遺伝子が存在することがわかってきた。13番染色体長腕の RB1、17番染色体短腕の TP53 が有名である。

RB1 は1986年にアメリカで発見された最初に見つかった癌抑制遺伝子である。幼児の癌で網膜に発生する悪性腫瘍である網膜芽細胞腫に関与する。網膜芽細胞腫はこの RB1 の欠失や変異で起きるのである。

しかし比較的詳しく解析が進んでいるのが TP53 である。この TP53 は1179個のコドンからなり、転写活性化因子で細胞周期を調整する分子量5万3000のタンパク質 (protein) である p53 を作るレシピである。DNA に損傷が起きると、TP53 が発現して細胞増殖を一時的に止める。そして DNA 修復遺伝子 — これも正常な細胞内に存在する — が損傷を修復する時間を確保するように働く。

そして修復が終了すると細胞周期も再開するが、修復不可能であれば細胞をアポトーシスに導く。そうした TP53 のコドン249の3番目の塩基に突然変異があり、G-CがA-Tに変わり、合成された p53 のアルギニンがセリンに変わると、TP53 は癌抑制遺伝子としての機能を全うすることができなくなるのである。人間の癌の約55%で TP53 の破壊が認められるとのことだ。とりわけ肺癌患者の70%、なかでも進行性の肺癌の場合には90%にこの TP53 の欠損がみられるらしい。また両親から受け継いだふたつの TP53 のうち、いずれかに欠陥があると95%の確率で癌に罹患するという統計もある。しかもたいてい若年で発症するのだ。