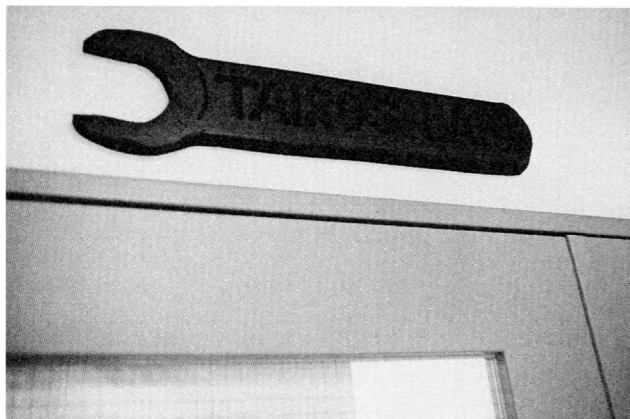


大島泰郎

Thinking of the Universe
宇宙の公案5

撮影/飯島 裕



ヒトにとって「生命とは何か？」との問いかけは「宇宙とは何か？」と並ぶ根源的疑問であり、その自然認識の基盤となる点で表裏の関係にある。最近の宇宙、生物科学の進展は、その学際領域を深め、さらに地球環境問題のように宇宙的な視野で生命を

捉えなければ解決できない重要課題に直面する時代ともなった。日本の「宇宙生物学」の草分けである大島泰郎・東京薬科大学教授に宇宙における生命や知性の本質を語っていただく。

宇宙生命の条件

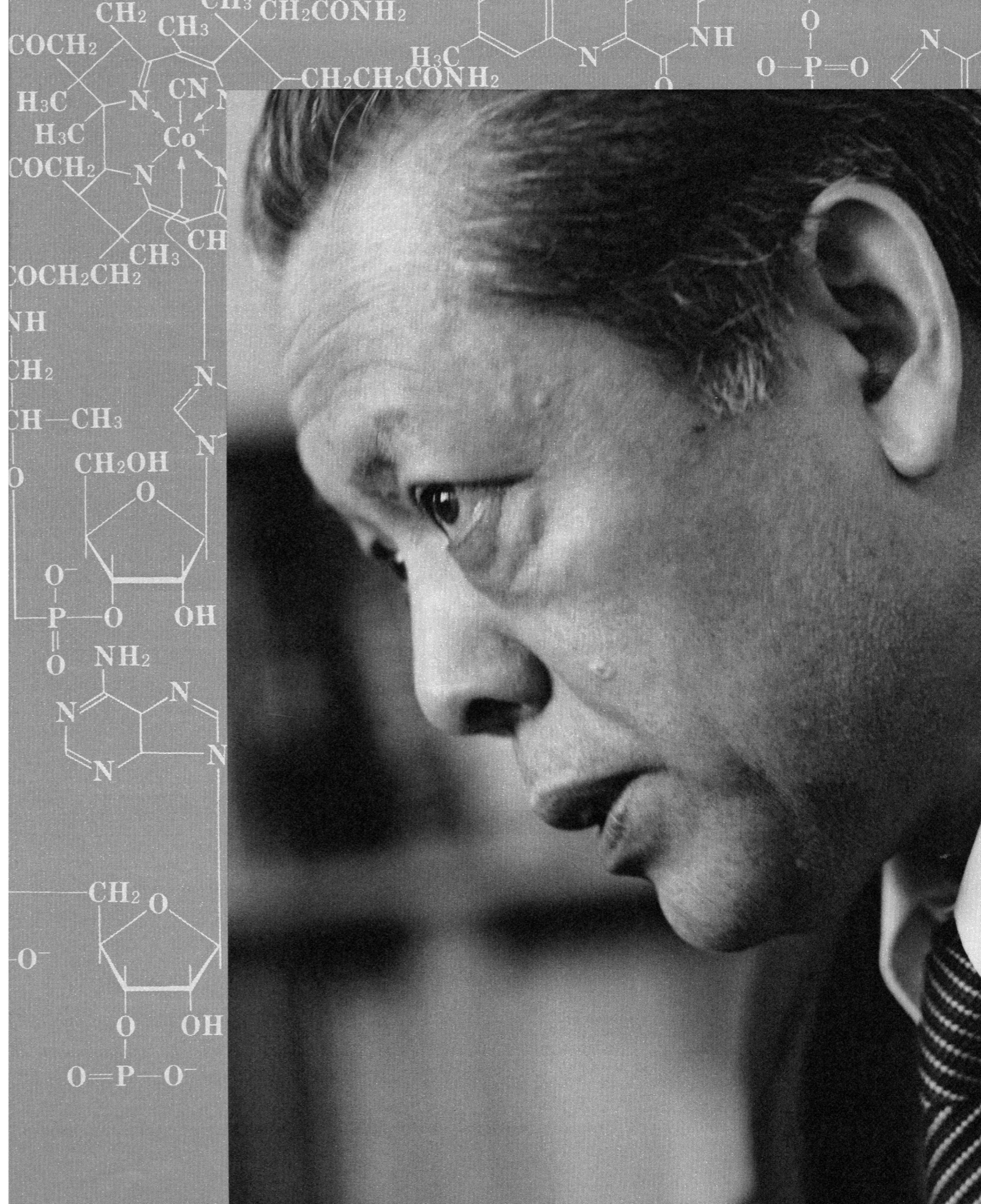
生命とは何か

生命が宇宙と深く結びついていることはよく知られるようになった。生命を構成している主要元素は水素、酸素、炭素、窒素であるが、これらは宇宙でいちばん多い元素である。隕石や彗星には、アミノ酸など生命と関連の深い物質が含まれているし、星間分子の中にはアルコールやアミンなど生体にも見つかる分子が含まれている。誇張して表現するならば、宇宙は生命の分子に満ち溢れているといってもよいであろう。

20世紀は、前半が物理学の時代、後半が生物科学の時代といわれる。分子生物学を中心として、20世紀後半に急進した生物科学は、生命を「分子を部品とする進化する情報化学機械」と定義するに至っている。もう少し柔らかく表現するならば、核酸という化合物からできている遺伝子をソフトウェアとし、タンパク質という化合物を中心とした細胞をハードウェアとする一種のコンピュータである。しかし、自分と同じ装置を複製する能力を持つ変わったコンピュータである。ふつうのコンピュータが電気の流れて機能するのに対し、生命というコンピュータは化学反応ではたらく。しかも、このコンピュータは複製するとき、ときどき少し回路を変えてみる。たいてい失敗するが、まれに改良もできる。このように「進化」というやり方で自ら改良を重ねることのできるコンピュータなのである。コンピュータを理解したかったら、内部の回路を学ぶ。同じように生命を理解したかったら、核酸やタンパク質といった生命の内部部品を調べそれが互いにどのようにつながっているかを調べる。仕組みが分かれば、つぎは核酸やタンパク質などの部品がどうして選ばれてきたか、その由来を知ることである。今日の生命起源の研究は、

これらの部品の素材となるアミノ酸や糖や塩基が原始地球の上でつくられ、また隕石や彗星の衝突を通して原始の海に運ばれ、海の中に素材が溜まったらしいことを実験を通して証明している。さらに、原始の海の中で素材の組立が行なわれて、やがて最初の生命が発生したとも教えている。

その結果、岩に記された証拠などから、生命は今から40億年以上も前に始まっていると信じられるようになってきた。地球誕生から5〜6億年以内に、メタンとか二酸化炭素、窒素ガスといった単純な化合物から生命が生まれてきたことになる。実際には、生命は海から生まれているから、海が成立してからほんの2、3億年のうちに生命が始まったことになる。こんなに短い時間のうちに生命が現れてきた事実、特定の環境さえ整えば、宇宙では生命は生まれるべくして生まれることを意味している。ところで、水を除いて、生命をつくる分子は炭素を骨格としており、有機物あるいは有機化合物と総称される。では、なぜ炭素なのであろうか？ SFの世界では、炭素と化学的性質がよく似ている珪素を骨格とする異星の生物が現れるが、これはありそうにない。炭素が生命の元素に選ばれているのは、炭素とうしが次つぎと結合して、長く多種多様な化合物がつくられるからである。たとえば、遺伝子の本体である核酸中の糖リボースは炭素が5個連なっており、またアミノ酸の一種グルタミン酸も炭素が5個連なった骨格を持っているが、糖とアミノ酸では化学的性質はすいぶん違う。他の元素ではこのように5個も連なって多様な化合物をつくる能力はない。珪素も、互いに結合するとすぐ不安定になってしまう。さらに炭素は5個どころか、いくつでも結合できる。ゴムなどは無数の炭素の連なりである。化学の世界の最近の話題の一つは、炭素60個からなるボールのような球状





自己複製、物質代謝、刺激反応など生命の定義は明白なようで、突き詰めると境界が定かでない。
さらに、宇宙の生命現象に対して、地球の生命基準を持ち込むことへの疑念が示されることもある。
しかし、基本的な物理・化学現象が宇宙に普遍的なものであれば、逆に宇宙という環境を通して、
地球のローカルな生命システムを相対化し、その存立の条件や履歴、特質を明らかにすることで、
ヒトが宇宙に「存在」し、我々が地球に「生きる」ことの意味を解き明かすことができるかもしれない。

の化合物の合成であるが、炭素ならではの化合物であって、ほかの元素からではつくり得ない。また、炭素の化合物（有機物）は安定過ぎることがなく、ほどほどに分解も受ける。化学用語でいえば「回転」できるのだ。ほどほどに安定であり、かつ、ほどほどに不安定という微妙な性質が生命の元素としての必要条件であり、炭素をおいてその代わりを考えるのは難しい。

宇宙の生命

現代の生命起源の研究は、物質が自然に起こる反応を通してより複雑な物質へと発展し、ついに生きてる細胞に至ったという化学進化、物質進化の仮説を提出している。この考えには、地球でなければならぬという制約はなく、条件さえ合えば地球

以外の場所でも生命が発生するはずである。では、どんな条件が必要なのだろうか？

地球上で生命の素材の発展と生命への組み立てが進んだのは海の中であった。地表では太陽からの紫外線や火山の熱などの影響で、せっかく合成された生命の素材は分解されてしまった。炭素の化合物はほどほどに不安定と述べたが、このため、原始地球環境下では水の中で保護される必要があった。では、今、われわれはなぜ地表で暮らしているのか？ それは、酸素からつくられたオゾンが大気圏に存在し、太陽からの紫外線を遮ってくれるからである。この理屈が正しいことは、月や火星を見れば分かる。そこには有機物はない。月や火星にはオゾンのように太陽からの紫外線を遮る仕組みが存在しないからである。

つまり一般に、生命が発生するためには素材が保護される環境が必要なのである。太陽系では、隕石中や彗星に生命の素材である有機物が存在する。隕石のように岩石の内部は紫外線はもとより、そのほかの有害な宇宙線も届かないから、安全なすみかではある。しかし、ここは少々安全すぎるのだ。生命は前に述べたように「増殖するコンピュータ」であるから、増殖する

ための素材をもち取り込まなければならぬ。そこで、炭素化合物が「動ける」環境が必要となり、隕石内部はこの条件を欠いてしまっている。しかし、彗星の頭部の内部に水が存在するならば、彗星は生命が生まれてもよい環境の一つといえる。

太陽系外では、有機物を含む星間分子が星雲の内部に存在する。ここでは厚いガスとチリが紫外線や宇宙線を遮っている。生命の素材も安全に存在できる。よってこの内部に生命が発生してもよい。しかし、厚い星雲は長く存在できないから、生命は十分に進化を遂げるだけの時間を与えられないことになる。やはり生命、とくに知的な生命の発生には惑星上が都合がよい。

このように考えると、惑星上、そして水の存在がいちばんの条件のようである。しかも液体の水が必要である。という、読者の中に「惑星の表面温度が0〜100℃の星」が生命発生の条件だと早合点する人がいるかもしれない。じつは温度条件はもっと広くてよい。42〜45億年前、原始地球上で生命の組み立てが行なわれていた当時の地球の表面温度は分厚い二酸化炭素ガスに覆われ、その温室効果のために温度は100℃をはるかに超えていたであろう。海

水が沸騰しなかったのは、大気圧が高かったからである。気圧が高ければ、水は374℃まで沸騰しない。地球上ですら、そんな場所がある。海底の熱水噴出孔から出てくる熱水は、水圧が高いので100℃を超えても気化せずに液体のままである。逆に、水の中に塩分が少し濃く溶けこめば、0℃になっても水は凍らない。南極海では塩分のため0℃以下になる。そのためそこに住む魚は、自動車のラジエーターに不凍液を入れて冬の凍結を防ぐように、体液が不凍液となっていて自分の体が凍らないようにしている。地球上ですら、0℃以下の場所には生物が住みついているのだから、生命の温度条件は0℃より低いはずである。よって、生命を生み出す温度の条件は0〜100℃よりずっと広い。しかし、あまりに高温では、有機物は熱分解を受けてしまうので、高い方は150℃が限界であろう。こう考えると、太陽系では金星より外側の惑星上ということになる。低い方は火星より外側だと寒すぎるように思われるかもしれないが、南極の湖の底はあんまり暖かい。表面の水が熱を外へ逃がさない仕組みをつくっているからである。このように熱を閉じこめておける環境があれば、生命発生の条件は満足される。

とはいえ、狭い池の中で進化が進んで恐竜の時代、そして恐竜が減ってヒトのような高度な知性が現れるといった歴史が辿れるだろうか？ ゲームとは言い切れないが、可能性はきわめて小さいと思えるので、常識的には知性を持った生命を対象とする限り、太陽に似た星のまわりの惑星の中には生命を発生させられる星は一つか二つと考えてよいであろう。われわれの太陽系でいえば、地球のみで、火星ですら現在の地表は寒すぎる。ただし、火星にはかつて海があり、そのころ発生した生命が今も地表下に生きながらえている可能性は充分にある。

異星の生命

よその星の上に生命があったとしても、やはり有機物を材料としてつくられているであろう。有機物、すなわち炭素が中心元素である点と同じだが、だからといってわれわれ地球生物と同じ部品の機械とは限らない。炭素化合物の特徴は、多様な化合物をつくれることだと述べたが、生命はそのすべてを使うどころか、ごくごく一部に限定して選り出しを行なう。たとえば、アミノ酸という何百種も存在するが、タンパク質をつくる時、地球生物は最下等のバイ菌から植物、動物、ヒトに至るまでみな同じ20種のアミノ酸を選んで使う。同様に遺伝子の核酸を構成している塩基は、有機化学的に可能な何百種のうちのたった4種のみを使う。この点、地球生物はみな兄弟なのである。つまり、地球上の生物は、元を辿るとただ1種の原始生物に行き着くのである。すべてはそこから分かれて来たにすぎない。

しかし、異星の生物は兄弟でないから、いろいろ違いがあってもよい。われわれは「左手型」(高分子の形態構造のひとつ)のアミノ酸を用いているが、はたしてETもそうだろうか？ 私は宇宙には「右手型」のアミノ酸を使う生物もいて、宇宙全体では「対称」だろうと予想している。核酸塩基に関しても異なる種類を使う者もいるだろう。とくに、4種に代わって2種しか使わない生命があるに違いない。われわれのコンピュータが2種の文字(2進法)しか使わないように。

宇宙にさまざまな生物が知られるようになる、生命観に大変革が起こることは当然だが、そうになったら不遜にも私は、今、多くの人たちが信じている「生命とは不思議で神秘で精密な存在」という生命観は微

生命の話題になると、私たちは最後には必ず、自分の生と死に関心が向かうようです。

ヒトは、初めて知的に死を認識した生物かもしれない——うん、きっと、すべてはそこから始まったのですね。

でも、私にとって生と死は断絶したものではなく、ナチュラルに連続したもののように思えます。

だから、ほら、私やこの木々や石や雲にも、それぞれの生と死が濃淡を伴って共存しているわけです。



塵もなく打ち砕かれ、地球生命を創るとき神様は少し怠けて手抜きを機械をつくったという「自信喪失型」の生命観がとって替わるだろうと予想している。

生命科学者の立場から見ると、生命の機能の合理性といった点を考えれば、タンパク質の20種のアミノ酸はもう少し慎重に配慮して選別すべきであった。遺伝子核酸の塩基も2種だけでよかった。つまり地球生物を創生するとき、神様は推敲が足りなかった。宇宙の生命が知られるようになれば、このような私の生命観に人々が賛成してくれる時代が来ると確信している。

進化

生命と宇宙の結びつきは、出現の時のみに留まらない。地球の生命はそれ以後、地球と関連しつつ存在してきた。たとえば、生物進化を通して、酸素を放出する光合成を発明すると、地球の大気中に酸素が溜まり始めた。この結果、海の中の鉄分は大部分が沈殿することになり、海水の色が変わったはずである。地表は酸化され、やはり景色が変わったはずである。

酸素の蓄積は比較的ゆっくり進んだであ

ろう。今から4億年ほど前になって、上空には安定なオゾン層が成立するようになった。オゾン層の下が安全と知るや、生物は海から這い上り陸に住むようになった。それから草木一本もなかった無毛の陸地は、緑の大地と変わり、上空には昆虫や鳥が飛び交うようになった。さらに4億年後、ヒトと呼ばれる猿類が現れ、再び大気の組成を変化させ始めた。この生物種は大気層を超えて、地球のまわりに「人工衛星」と呼ぶ微小な衛星を無数に飛ばし始め、太陽系の姿さえ変えようとしている。

一方、生物の進化は地球環境の変化によ

っても惹き起こされた。ヒトが現れたのは、陸地の変動の結果、森林が消え草原が広がったことによる。しかし、もっと巨視的な生命進化は、つぎに述べるように、宇宙によって惹き起こされてきたと考えられる。

進化にはいろいろなレベルがあり、洞窟のように光が届かないところで眼が退化した魚や海老といった変種が生まれる簡単なものから、樹から降りざるを得なくなったサルがヒトに進化した高いレベルまで幅広いが、その上に生物種の大交代という最高次のレベルがある。よく知られている例は、今から6500万年ほど前に恐竜が絶滅し、ほ乳類の時代に代わった事件である。このときは、恐竜だけでなくアンモナイトなど多くの生物も同時に絶滅した。

このような生物の大交代は、化石の記録が残る最近の約6億年間だけでも10回以上も繰り返して起きている。最近の考えでは、これは地球の外から巨大な隕石が衝突したためとされる。言わば、宇宙のプログラムの一部ともいえるものである。おそらく隕石衝突がなくても6500万年前の恐竜は絶滅しただろうが、この場合、他の「恐竜」がとって代わるだけで、彼らの餌になっていたほ乳類が逆転劇を演じて地球の主役となる機会は、この衝突なくしては、今に至るもありえなかったのではなからうか。稀なヒトを生み出す引き金を引いたのは、隕石の落下だったのである。その意味で、われわれはみな、星の王子様である。体の材料が宇宙と同じ、すなわち星と同じであるだけでなく、星に導かれてこの世に現れてきたのである。宇宙のことを抜きにして、生命や人間が理解できるわけではない。

知性の成立

では、種の大交代を起こすような巨大な外力が、地球の生命進化の上でなぜ必要な

のかをもう少し詳しく考えてみよう。生物は遺伝を通して複製する。この遺伝の本来の目的は「複製」すなわちコピーをとることであり、進化のごく初期の短い期間に、正確なコピーがとれるよう進化が進んだのであろう。ただ、コピーが正確になれば進化は止まる。仮に100パーセント何も間違いがなければ、もはや進化は起こらないのである。しかし実際のバクテリアを用いた解析では、現在、間違いを起こす率は1千万〜1億回に1回、すなわちコピーは100パーセント正確ではなく、99・99999パーセントの正確さとどまり、それゆえに進化が起こっていく。

ところが、この程度のコピーミスの率だと、進化はゆっくりとしか進まない。そこで、隕石の衝突のような大衝撃を与えて、進化の歩みを「ワープ」させる仕組みがないと、星の一生をかけても昆虫くらいまでの進化の歴史で終わってしまうのである。事実、地球の上でも進化の歩みは遅い。メタンのような単なるガスから生命まではほんの2〜3億年程度の短い時間しか必要としなかったが、同じアミノ酸を用い、同じ核酸を使って、言語学的にはまったく同じ言語を使うヒトに至るまでには40億年もの長い時間がかかった。これが進化史の本質である。そして、おそらく、この進化のコースは地球のみならず、異星の上でも同様なプロセスが繰り返られることと思われる。その意味で、宇宙は、知性を持った生物種が出現するようプログラムされていると考えるのもいいかもしれない。

しかし、たとえば、われわれがそんなETたちと交信を試みようとする場合、進化に必要な、長い長い時間がETとわれわれとの交信を阻害する。すなわち、知性を持つまでに必要な時間が長すぎて、よその星ではその前に惑星系の寿命が尽きてしまいかもしれないのである。SETI（地球外



大島泰郎 (おおしま・たいろう)

1935年東京都生まれ。東京薬科大学教授。専攻は生命科学。火星探査・バイキング計画時にNASA研究員。生命現象の限界環境の研究を中心に生命存在の基本的条件を探る。「こと生存に関するならば、生命にとってもっとも大切なことは、環境といかに安定した系をつくるかということ。ぼくはオプティミストだから、いずれ人類は宇宙でより繁栄していくと思うけど、やっぱり地球の環境問題は心配。今のリサイクル運動は、たとえば紙なら紙にとリサイクルが性急すぎるんだな。自然界の炭素循環のようにリサイクルの環をもっと大きくとらないと系は安定しない。ヒトも地球生態系の例外ではありえないです」

文明探査 に対し、ETなどいないという反対論があるが、生物学の立場から言えるET存在の悲観的な要素はただ一つ、それは文明に至るまでに必要な時間が足りないということだけである。

また、時間が長くなるという問題は、単に進化の問題だけでなく、その間に生命の糸が切れてしまうという危険も意味している。何回かの隕石の衝突のうちの1回でも特別に大きくなって、惹き起こした天変地異が全生物を死滅させたのでは、進化をもう一度その起源からやり直さねばならず、星の一生の間に知性ある生物は発生しないことになる。地球だってその危険はつねにあ

ったのだが、そして今後もあり得るのだが、これまでは、たまたまうまく「ワープ」して来ただけのことである。

たとえば6500万年前の事件では、体が小さく少量の餌で生き残り、地中に隠れるように住んでいた敏捷な、かつ体温維持の可能なほ乳類の祖先たちは生きながらえることができた。ちょうど、炭素化合物がほとんどに安定、かつほとんどに不安定であるように、知性の成立には惑星環境がいつもは安定に平穏に、そして、時々ほどの天変地異に見舞われることが必要なのである。『ほとんど』の宇宙バランスの上

に生命や知性は育まれていくのである。