

生命とは何だろうか？

長沼毅・著

集英社インターナショナル ウェブ立ち読み

目次

まえがき 6

第一章 われわれはどこから来たのか 9

三八億年前に何が生まれたのか／

生命体は「よくある現象」なのか、「稀な現象」なのか／

太古の岩石に残された生命活動の痕跡／

原始の地球を再現したユーリー・ミラーの実験／

「原始のスープ」は海底火山の熱水循環で作られた？／

水中でタンパク質が合成される確率は低い／「スープ」から「クレープ」へ／

彗星の表面でもアミノ酸は作られる／宇宙起源説の可能性を示す火星の隕石

第二章 生命とは何か 37

「定義」は難しいが「特徴」は挙げられる／「代謝」こそが生命の本質／

物質を出入りさせながら構造を維持する「渦」としての生命／

生命は「負のエントロピー」を食べている／

エネルギーを注入すればエントロピー増大を防げる／
生命が宇宙のエントロピー増大を加速させている？／
「増殖しない不老不死の生命体」はあり得るか／
分裂した単細胞生物には「親」も「子」もない／人類の主役は「卵子」なのか／
代謝せずにじっとしている地球外生命体をどう見分けるか／
「ウォーター・イン・オイル」の生命体に細胞膜は不要／「人工生命」は作れるのか／
人工的に合成したDNAで細胞が動いた／DNAと細胞質の関係性

第三章

進化の歴史を旅する 75

進化は「結果」であって「目的」ではない／獲得形質は遺伝しない／
ダーウィン進化は一個体の突然変異から始まる／
身体的特徴をうまく生かした個体が、新種の祖先になった／
生物のデザインには遊びがある／偶然の突然変異とは思えない擬態の不思議／
シアノバクテリアが引き起こした「大酸化イベント」／
硫化水素ではなく、水を水素の供給源に／ミトコンドリアの登場と全球凍結／
ほかの生物を食べることで細胞核を持った真核生物／
酸素濃度の高まりがなければ、多細胞生物は生まれなかった

第四章

何が生物の多様化をもたらしたのか 107

大型生物の登場／

「目」の進化には、それほど多くの年数はかからない／

なぜ目の進化は起きたのか／目を持つ生物の出現／

生き残るための戦略の違いが、生物の多様化をもたらした／

多くの生物種が同時期に絶滅することも珍しくない／

「体内に海を抱える」ことで陸へ上がった／

大量絶滅を引き起こした「海洋無酸素事変」／

何が恐竜を繁栄させたのか／恐竜時代の終焉

第五章

人類の未来は「進化」か「絶滅」か 137

生物は何色の世界を見るか／

思考は「比較」「類推」「関連づけ」といった要素から成り立つ／

私たちは「寒いシーズンの生き物」／

最初の一五万年とそれ以降の五万年では、何が違うのか／

空間認識力の高さが生き延びた要因／

ホモ・サピエンスは、地球史上初めて「遊び」を覚えた生物／

知的な創意工夫が生物を進化させる／

これから人類はどのような進化を遂げるのか／絶滅を回避するために

あとがき
163

編集協力 岡田仁志

キャラクター(トレックくま)イラスト フジモトマサル

カバーイラスト 山下アキ

図版作成 タナカデザイン

装丁・デザイン 立花久人・福永圭子(デザイントリム)

まえがき

私がまだ幼稚園児だった頃のある日、いつものようにすべり台で遊んでいたのですが、その日はちょっと違っていました。すべり台の上のほうからすべり降りて着地したとき、ふと思ったのです。いま、自分はあそこからここに降りてきた。でも、本当のところ、自分はどこから来てどこへ行くのだろうか？

それはとても不思議な体験でした。幼稚園のすべり台からいきなり宇宙の虚空に放り出され、目の前には地球が浮かんでいるのです。さっきまで足下にあった大地はなく、浮遊感というか不安感の中で、「自分はどこから来てどこへ行くのだろうか」と考えている——そんな神秘体験でした。

幼稚園でそんなことを考えるなんて、ずいぶんおまかせな子供だったかもしれないし、どんな子供にもよくあることだったのかもしれませんが、ただ、そういう神秘体験は、この後も何度かありました。たとえば、鏡を見たときです。鏡の中の自分に向かって、「自分は本当は誰なんだ」と問いかける——いや、鏡の中の自分からそう問われたのか。すると、頭がグルグルして足下の床がなくなり、宇宙に浮遊するのです。

自分はどこから来てどこへ行くのだろう。自分は本当は誰なのだろう。やがて私は、その疑問を自分だけの問題ではなく、人間全体の問題へと広げてみました。

私たちはどこから来て、どこへ行くのだろうか？

私たちは何者なのだろうか？

幼稚園に通っていた頃からずっと、このことが私の頭から離れませんでした。大人になってもこのことを考えているうちに、やっと、あることに気がつきました。この問題はひとつの問題ではなく、いくつかの大きな問題が重なっているということです。それは「生命とは何か」「人間とは何か」「(自分という)意識とは何か」という問題です。もしかしたら、もっと大きくて根源的な「宇宙とは何か」という問題を含めてもよいかもしれません。

でも、これらの問題は、私が一人で考えるには大きすぎます。私はいつしか「生命とは何か」の問題を中心に考えるようになりました。実は『生命とは何か』というタイトルの本がもう何冊も書かれています。どれもすばらしい本ですが、その中でもとくに、量子力学の確立に貢献してノーベル物理学賞を受賞したエルヴィン・シュレーディンガーの著書と、「複雑系」という新しい科学から生命を論じた金子邦彦・東大教授の著書を挙げておきたいと思います。

この本では、そういうハードな生命論とはやや違った視点から「生命」について考えて

みました。第一章ではずばり「われわれはどこから来たのか」と題して「生命の起源」について宇宙起源説も取り入れながら述べてみました。

第二章もずばり「生命とは何か」と題していますが、ここでは偉大なシユレーディングの命題をもとにしつつ、私なりの視点からひとつの生命観を展開しました。

第三章では、生命の特徴のひとつである「進化」に焦点を当てて、地球に現れた生物の進化の歴史を概観しました。

進化するにつれて生物の多様性は増していきます。しかし、それは大量絶滅の憂き目に遭い、また多様性が増していく。その様をいくつかの例を挙げて眺めたのが第四章です。

最後に第五章では、私がいちばん興味を持っている生物——人間——が「どこへ行くのか」を想像してみました。人間の未来は進化か絶滅か、このどちらかしありません。それなら、私たちの子孫には絶滅よりは進化してほしいですね。

実は、進化はすでに始まっています。それは私たちの遺伝子の中で起こっているし、私たちがどういう未来を望むかという「意識」も、いまから育むことができるのです。

未来は現在の中にある。

この本が私たちの未来を拓くことに役立ったら、私の大きな喜びです。

第一章

われわれはどこから来たのか

三八億年前に何が生まれたのか

この地球上には、私たち人類を含めて、百数十万種もの生物が存在することが知られています。そのほかに、まだ人間に見つかっていない生物がどれほどいるのかは、見当もつきません。植物図鑑、動物図鑑、昆虫図鑑などにはそこまで多くの生物は載っていませんが、いろいろな形をした生き物の写真やイラストをボンヤリと眺めるだけでも、実に多様な生命体がいることはわかるでしょう。もっと種類の少ない動物園や水族館でも、その多様性を十分に知ることができます。

その多様な生物は、最初から地球にいたわけではありません。地球はいまからおよそ四六億年前に誕生したと考えられていますが、その時点では生命体と呼べるものは存在しませんでした。最初の生物が登場するまでには、それから六億〜八億年の時間がかかった、つまり、地球における生命の誕生はいまから四〇億〜三八億年前であると推測されています。

もちろん、そこで突如として、現在の地球で見られる多様な生物群が出現したわけではありません。世の中には、この世界が誕生したときから神様が現在と同じ動植物——人間


やヒツジや昆虫や森や草原など——を作ったと信じる人たちもいますが、それは科学的な知見に反します。

地球で最初に生まれた生物は、もっと単純なものでした。それがどんな姿だったのかはわかりませんが、おそらく、何らかの物質（有機物）の詰まった小さな小さな「袋」のようなものだったでしょう。それが三八億年のあいだにさまざまな進化を遂げ、現在の植物や動物になった——こうした大まかな流れについては、多くの人が漠然としたイメージを共有していると思います。

しかし、それまでは存在しなかった「生命」という現象がどのように始まったのかは、専門家である生物学者にもわかっていません。そもそも、何をもって「生命体」と呼ぶのかも実は判然としないのです。

生命の定義や特徴については後ほどお話していきませんが、たとえば三八億年前の地球に、どこか遠くから異星人がやって来たことを想像してみてください。海の中にある極微小の「袋」を発見したとき、彼らはそれがほかの物質とは違う生命体だとすぐにわかるのでしょうか？

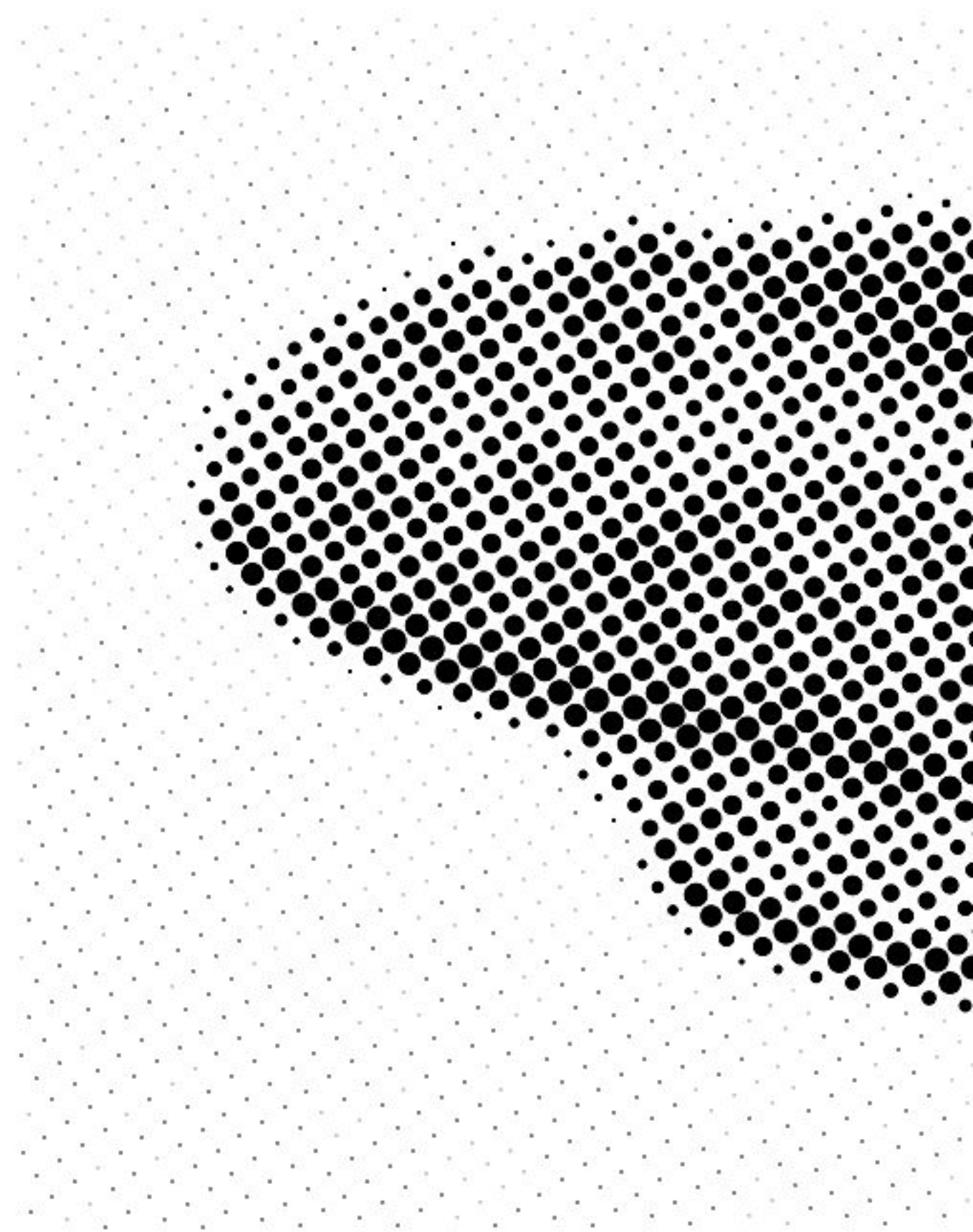
私たちは、目の前にあるものが生物か非生物かを、直観的に判別できると考えています。



46億年前に誕生した地球上に、
最初の生命体が現れたのは、
およそ38億年前とされる。以来、
バクテリア、魚類、恐竜、
エジプトのピラミッドのような
文明を築いた人類など
多様な生物が生まれてきた。

テーブルの上のコップを生き物だと思
う人はいませんし、地面に生えている
雑草を石ころと区別できない人もいま
せん。

でも、それがたとえばシダやコケの
胞子だったらどうでしょうか？ 部屋
の隅に溜^たまった埃^{ほこり}や塵^{ちり}にはそれが混じ
っているかもしれませんが、それを直
観だけで生物と見分けるのは難しいで
しょう。さらにいえば、その埃や塵の
中には洋服の糸くずもあるでしょうが、
そこには（かつて生物の一部だった）
羊毛もあれば、化学繊維もある。やは
り、すぐには生物・非生物の見分けが
つきません。水や岩石、ポリエステル



などと同じく、生物も「物質」である以上、それを非生命体の物質と区別するのは、そう簡単なことではないのです。

生命体は「よくある現象」なのか、「稀^{まれ}な現象」なのか

当たり前のことですが、生命体であれ非生命体であれ、その材料は宇宙の中に存在する物質です。その意味では、一三七億年前に宇宙が誕生し、さまざまな素粒子が生まれ、やがて水素やヘリウムなどの原子が作られたことが、「生命の起源」ともいえるでしょう。それがなければ星や銀河は生まれず、地球も海もできていません。

そう考えると、この宇宙で生命体が生まれるのは、それほど難しいことではないようにも思えてきます。とくに天文学者や宇宙物理学者は、むしろ、この宇宙に星や銀河が生まれたことのほうが大きな謎だと考えるでしょう。

というのも、物質を構成する素粒子の質量や重力の大きさなどがちよつと違えば、この宇宙に星は生まれなかったかもしれないからです。ここでは詳しく述べませんが、宇宙は

原子さえ存在しない「のっぺらぼう」の空間になる可能性のほうが圧倒的に高かったという説もあるくらいです。

ところが実際には、物理的な数値や法則がなぜかちょうどよくできていたので、この宇宙（私たちの宇宙とは別の宇宙が複数存在するという理論〈マルチバース〉があります）では星や銀河が生まれました。それさえできてしまえば、そこで生命を持つ物質が作られるのはそんなに不思議ではないと、天文学者・物理学者たちは考えるでしょう。さまざまな原子が生まれ、それが結びついてさまざまな分子を作ります。さまざまな星が生まれたのであれば、それこそ水や岩石ができるのと同じように、生命体が作られる可能性も低くないと思うわけです。

一方、私たち生物学者はそうは考えません。それは「いまの地球上に現実として存在する生物」を前提にして、生命の起源を考えるからです。

どのような形でもかまわないから、とにかく「生命体」と呼べるものでよいのなら、広大な宇宙の中で何らかの生命体が誕生する可能性はかなり高いと考えるのは、天文学者の・物理学者的な発想です。しかし、生物学者がその起源を考えているのは、抽象的な概念としての生命体ではありません。すでに完成形として地球上に存在する、具体的な生物群の

起源です。ここまで複雑かつ多様に進化した生物の「原型」が簡単に生まれるとは、とても思えないのです。

生物学者は、生命の起源を知るために、「もっともシンプルな生命体」が何であるかを考えます。しかし、生き物の細胞や遺伝子をどんどん単純化して考えていったときに、どこまでが生命体で、どこからが非生命体なのかは、まだよくわかっていません。遺伝子が三〇〇〜四〇〇個あれば生物の細胞のように振る舞うことはわかっていますが、仮にそれが生命の「最低条件」だとすると、揃^{そろ}えるべき要素が多すぎるのです。たった一〇〜二〇個ぐらいの遺伝子で生命体になれるなら、それが起きる確率は高いといえるでしょう。しかし、現実問題として最初の生命が生まれるのは、現状では「ふつうはあり得ない」といいたくなるほど、稀な現象なのです。

太古の岩石に残された生命活動の痕跡

しかし、可能性が高いか低いかにかかわらず、現に生命は生まれました。それが三八億年ほど前に誕生したと推定されるのは、その時期の岩石に生命活動だと思われる痕跡が残っているからです。

とはいえ、それは化石のように明確な痕跡ではありません。恐竜など絶滅した古生物の存在は、古い地層に残された化石によってわかることが多いのですが、化石になるのは骨、殻、歯などの硬い組織がほとんどです。最初の生物はきわめて小さかったはずなので、そのような構造はありませんでした。したがって、化石として残りようがないのです。

では、三八億年前の岩石には何が残っていたのか。

それは、濃縮された「炭素」です。地球上の生物にとって、炭素はもつとも重要な材料にほかなりません。それが岩石にまとまった状態で残っていれば、生命活動の痕跡である可能性が高いといえます。

もちろん、すべての炭素が生物に由来しているとはかぎりませんし、生命活動以外の理由で濃縮されることもあります。

しかし炭素にはさまざまな同位体（同じ元素でも中性子の数が異なるもの）があり、それらの比（割合）は生物的なものと非生物的なものでは違います。岩石に濃縮された炭素は非生物由来と考えるには無理のある同位体比率でした。そのため、三八億年前には生物が存在していたと推定されるわけです。

ただし、それが私たちの「祖先」なのかどうかはわかりません。というのも、その時期

地球の歴史

年代(年前)	主な出来事	主な時代区分
46億年前	太陽系・地球の誕生	先カンブリア時代
38億年前	生命の誕生	
24億～22億年前	大酸化イベント	
22億年前	全球凍結	
20億年前	真核生物の誕生	
12億年前	多細胞生物の誕生	
7億年前	全球凍結	
6億年前	全球凍結	
5億4200万年前		
	カンブリア大爆発	カンブリア紀
4億8830万年前		オルドビス紀
	魚類の登場	
4億4370万年前		シルル紀
	植物の上陸	
4億1600万年前		デボン紀
	両生類の出現	
3億5920万年前		石炭紀
	爬虫類の出現	
2億9900万年前		ペルム紀
	超大陸パンゲアの形成	
2億5100万年前		三畳紀
	恐竜の出現	
1億9960万年前		ジュラ紀
	生物の大型化	
1億4550万年前		白亜紀
	恐竜の繁栄と絶滅	
6550万年前		古第三紀
	哺乳類の繁栄	
2303万年前		新第三紀
	ヒトの祖先の出現	
258万8000年前		第四紀
現代	人類の時代	

の地球は、地表に隕石いんせきが降り注ぎ、一〇〇〇℃の熱風が吹き荒れるなど、きわめて不安定な状態でした。したがって、いったん発生した生命体が消滅してしまった可能性もあります。小さな生命が発生と消滅を何度もくり返して、どこかの段階で私たちの祖先となる生命体が安定的にはびこるようになったのかもしれませんが。

また、その祖先がたったひとつの個体だったのか、広い範囲で同時期にたくさんの個体が発生したのかも謎です。必要な材料が揃い、気候的な条件が整えば、同時多発的に誕生した可能性は高いでしょう。

その場合、それぞれの個体は同じ「種」と呼べるほどよく似たものだったかもしれないし、微妙に中身の異なる生命体だったのかもしれない。果たして、生命は最初から多様だったのか、それとも種類だけだったのか——実証するのはきわめて困難なテーマではありますが、「生命とは何か」を考える上では、そのあたりも興味深いところです。

原始の地球を再現したユーリー・ミラーの実験

先ほど、炭素が生物にとって重要な材料だという話をしました。しかし当然ながら、炭素をたくさん集めただけでは、生物にはなりません。

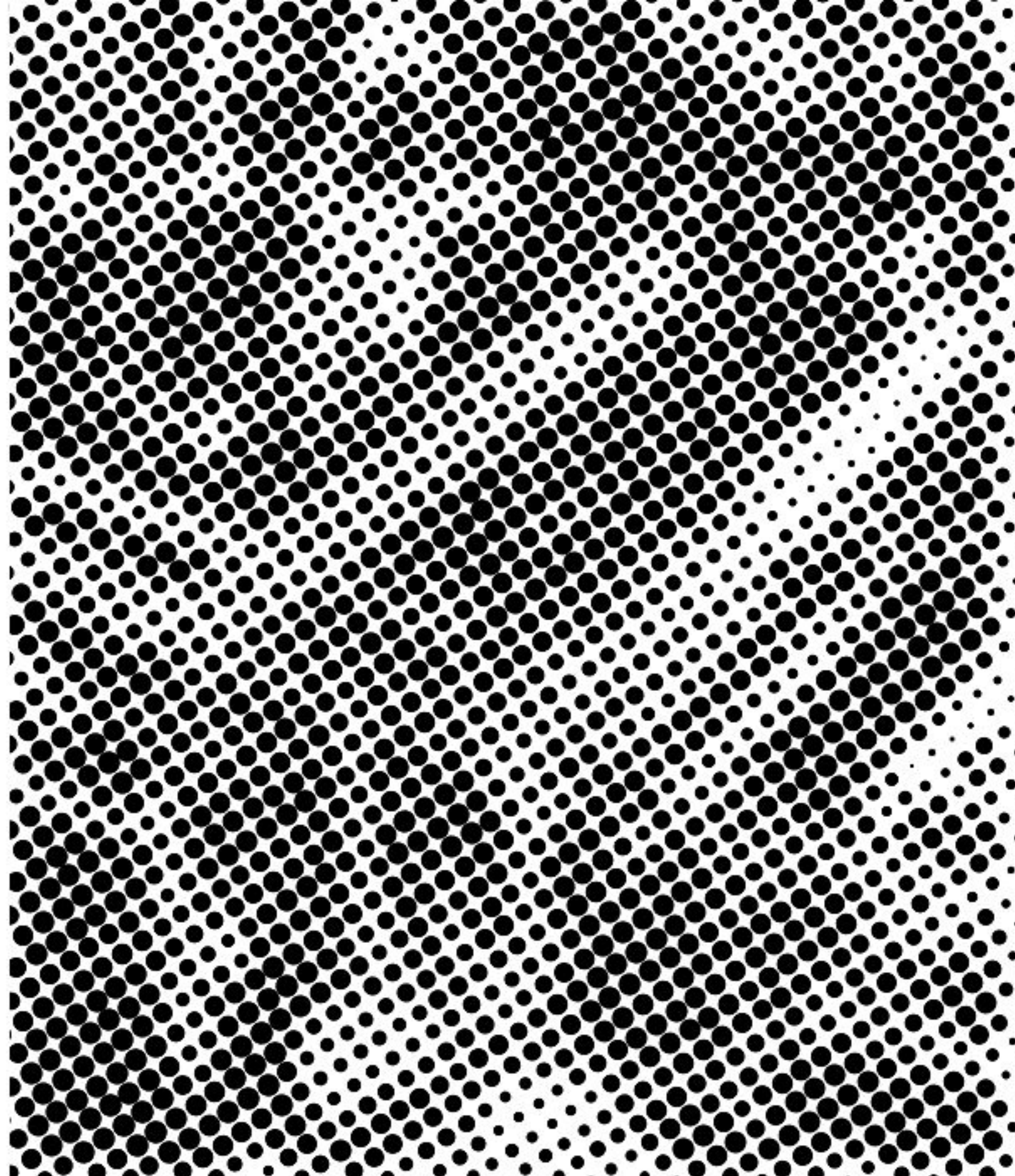
地球上の生物の体は、基本的にタンパク質でできています。タンパク質とは、有機物（炭素を含む化合物）であるアミノ酸がたくさんつながった高分子化合物のことを指します。

したがって三八億年前の地球では、無機物からアミノ酸が生まれ、それがつながってタンパク質になるという化学進化が起こったはずなのです。タンパク質があれば必ず生命体になるというわけではありませんが、なければ話になりません。

では、原始の地球に存在した無機物から、どのようにしてタンパク質が合成されたのでしょうか。現に生物が存在する以上、それができたことは間違いありませんが、その仕組みはまだわかっていません。

一九五三年に行われた有名な実験で、原始の地球でアミノ酸が作られることまではわかりました。実験を行ったのは、アメリカの化学者スタンリー・ミラーという人です。シカゴ大学でハロルド・ユーリーの研究室に所属していたので、「ユーリー・ミラーの実験」と呼ばれています。ちなみにハロルド・ユーリーは、重水素発見の功績によって一九三四年にノーベル化学賞を受賞した偉大な化学者です。

ミラーは、地球の原始大気に含まれていたと考えられるメタン（ CH_4 ）、水素（ H_2 ）、アンモニア（ NH_3 ）、水蒸気（ H_2O ）をガラス容器に封入し、六万ボルトの高圧電流を放



ハロルド・ユーリー (1893～1981年)

アメリカの物理化学者。
重水素発見の功績により、
1934年にノーベル化学賞を受賞した。



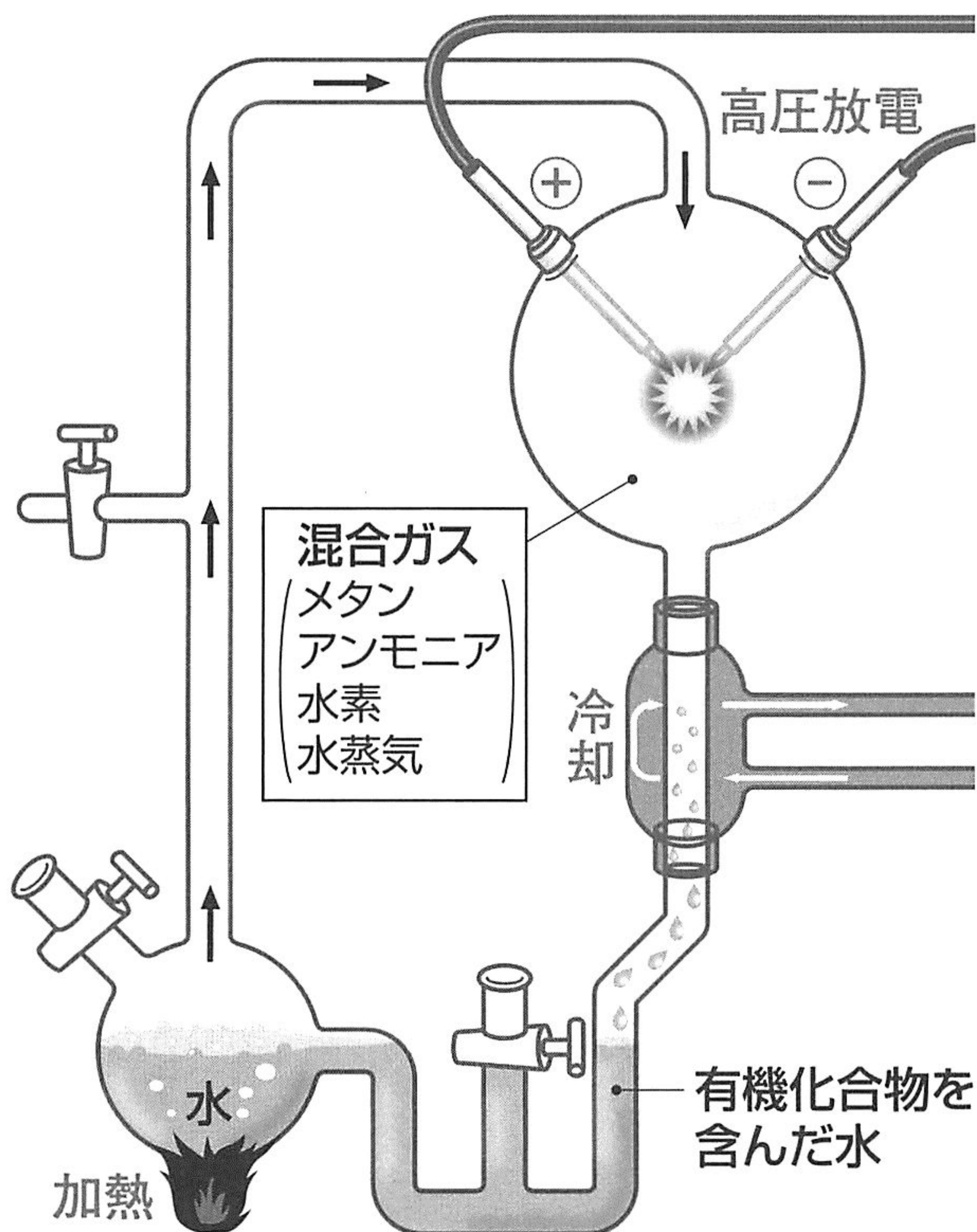
スタンリー・ミラー (1930～2007年)

アメリカの化学者。
ユーリー-ミラーの実験を行った当時は、
シカゴ大学の大学院生だった。

電しました。この火花放電は、雷を模^もしています。
当時の不安定な地球環境では、雷が頻繁に起きて
いたはずなので、それが有機物の発生に関係して
いたのではないかと考えたわけです。

地球の原始大気を模したガラス容器からはガラ
ス管を介して別のガラス容器（フラスコ）につな
がり、そこからまたガラス管で元のガラス容器に
戻ります。フラスコには原始海洋を模した水とい
うかお湯が入っていて、ぐつぐつ煮えています。
火花放電でできた有機物がお湯の中で反応して、
より複雑な有機物になることを期待してのこと
でした。

一週間後、フラスコの中には数種類のアミノ酸
が生じていました。原始の地球で同じことが起き
たかどうかはわかりませんが、そこに存在した単



ユーリー - ミラーの実験

1953年にスタンリー・ミラーが行った、原始生命の化学進化に関する実験。原始地球の環境で、有機物(アミノ酸)が生成されたかもしれないということを示した。

純な無機物から、複雑な分子構造を持つ有機物が生まれ得ることが実証されたのです。

しかし、そのアミノ酸がつながってタンパク質になるかどうかは、また別の問題です。

ミラーの実験以降、多くの研究者がさまざまな手法で有機物の生成を試みましたが、「茶色いネバネバしたもの」はできるものの、タンパク質にはなりません。そこから検出されるアミノ酸、糖、核酸なども、ほんの微量です。二つか三つのアミノ酸がつながったという報告もありますが、タンパク質になるには、五〇〜一〇〇個のアミノ酸をつなげなければなりません。原始の地球で起きた「タンパク質の合成」を試験管の中で再現できた研究者は、まだ一人もいないのです。

「原始のスープ」は海底火山の熱水循環で作られた？

もちろん、地球という「自然の実験室」は生物学の実験室とは比較にならないほど巨大ですから、そこで何億年もの時間をかければ、「茶色いネバネバしたもの」がタンパク質になる可能性もあるかもしれません。アミノ酸、核酸、糖などの有機物を豊富に含んだ太古の海のことを「原始のスープ」と呼ぶ人もいます。そのスープの中でいろいろな有機物が化学反応を起こしているうちに、いつの間にか生命が生まれた……というイメージを抱

いている人も多いでしょう。

ただし、そこで忘れてはいけけないのは、当時の海は温度がきわめて高かったことです。最初に生まれた生命体が私たちの祖先であるなら、極端な高温状態で生きられるとは思えません。現在の地球上には、かなりの高温でも生きられる生物がいますが、その最高記録はいまのところ一二二℃。海底火山や温泉などに生息する超好熱性古細菌の一種が、その温度で増殖したことが報告されています。

未発見の生物にはもっと高温で生きられるものがあるかもしれませんが、温度が高すぎるとタンパク質の分子が壊れてしまうので、せいぜい一三〇℃ぐらいまでが限界でしょう。すでに知られている生物は、温度が一五〇℃になると分子が壊れたり変形したりして、使い物にならなくなります。三八億年前の生物も、その基本条件は変わらないはずです。

いずれにせよ、高温といえども生命の素材となる有機物が生じ、それらが集まって生命体を生み出したような温度帯の場所があったのでしょう。そこで注目されるのは、海底火山の熱水噴出孔で起きている熱水循環を「天然の反応炉」として想定した実験です。

熱水循環とは、海底の割れ目から浸透した低温の海水が、火山の下にあるマグマ溜まりを覆う岩石で加熱され、熱水になって上昇する現象のことです。これを実験装置で再現し、

メタンや水素やアンモニアなどの無機物を循環させたところ、ユーリー・ミラーの実験と同様、アミノ酸などの有機物が生成されました。

熱水噴出孔付近では海水の温度は四〇〇℃くらいまで上がりますが、熱水が浮上するにつれて温度は下がりますので、生命が誕生できる温度のところもあるでしょう。そのため、この熱水循環を生命の起源とする説は、かなり有力視されています。

水中でタンパク質が合成される確率は低い

しかし私自身は、この説にあまり賛同していません。この実験では、生成される有機物の量があまりにも少ないからです。論文には「こんな有機物ができた」としか書かれていませんが、実際には「即戦力」にならない有機物のほうが大量に作られている。それを考えると、ひどく効率が悪いように思えてなりません。つまり、生成された有機物が組み合わせさせてタンパク質になる確率が低すぎる気がするのです。

アミノ酸が何十個もつながってタンパク質になる確率を上げるには、まず大量の材料が必要でしょう。また、材料の有機物がたくさん存在したとしても、それが組み合わせる自由度が高いと、確率は下がります。

先ほども述べたとおり、タンパク質を作るには、最少でも五〇個のアミノ酸を正しい順番につなげなければなりません。水中では多種多様なアミノ酸が自由に漂っているので、可能な順列組み合わせがすべて起こるでしょうから、延々と試行錯誤を続けられれば、その中からタンパク質ができあがるかもしれません。しかし、その確率は「奇跡」といつてもいいほど低いのです。しかも、タンパク質がひとつできただけでは、まだ生命にはなりません。

さらにいえば、アミノ酸にかぎらず分子がくつついて長くなるときには、ほとんどの場合、水の分子(H_2O)がひとつ出てきます(これを「脱水反応」といいます)。しかし周囲が水ばかりだと、水分子が必要とされないのです、この脱水反応が簡単には起きません。つまり海中では、タンパク質のような長い分子が作られにくいのです。

そう考えると、海底火山の熱水循環によって生命が誕生する確率はきわめて低いといわざるを得ません。海全体で試行錯誤が行われるならともかく、海底火山は数が限られているので試行錯誤の回数、いわば「買える宝くじの枚数」が少ないことも問題です。宝くじは、もし「全部買い」ができるなら必ず当たるわけですが、海底火山の熱水循環だけで「タンパク質の合成」という当たりくじを手に入れるのは至難の業わざでしょう。

では、もっと確率の高い方法はあるのでしょうか。

そこで私が注目しているのは、一九八八年に発表された「表面代謝説」です。この論文を書いたギュンター・ヴェヒター・シヨイザーというドイツ人は、生物学者が本職ではなく、特許を扱う弁理士でした。しかし、古今の文献を渉獵^{しやうりやう}し、ほとんど独学で勉強した結果、きわめて重要なことに気づいて論文で発表したのです。その論文は学界から非常に高く評価されました。日本ではなぜかあまり知られていませんが、世界的には熱水循環説と同じかそれ以上に有力視されている考えです。

「スープ」から「クレープ」へ

表面代謝説とは、簡単にいうと、「ガス中や水中ではなく鉱物の表面」でたくさんの有機物が作られ、それが生命の素になったという考え方です。

代謝については次章で説明しますが、とりあえず代謝とは生命体と非生命体を区別する重要な特徴のひとつだと思ってください。あるものが代謝をしていれば、それは実に生命らしいといえるのです。

海底火山によくある硫化鉄に硫黄の原子がもう一個つくと、「黄鉄鉱（パイライト）」と

いう金色の鉱物になります。これは実にありふれた反応で、珍しい現象ではありません。そして、硫化鉄が黄鉄鉱になるときに出てくる化学エネルギーを使って二酸化炭素(CO_2)からさまざまな有機物ができてきます。

有機物ができるだけなら、熱水循環と変わらないと思うかもしれませんが。しかし原始の地球の大気（二次大気（地球由来の大気））は、大半が二酸化炭素だったと考えられるので、それを利用して有機物を作るのは、たいへん効率のよい方法なのです。

また、有機物が水中を漂っているのと同じ、黄鉄鉱は鉱物なので、その表面に分子が集まって結合し、水の分子がひとつ出る脱水反応も起こりやすい。つまり、熱水循環よりも分子と分子がつながりやすいのです。

なにより重要なのは、海底火山の熱水循環と比べると、黄鉄鉱の表面における化学反応のほうに、試行錯誤の回数、いわば「買える宝くじの枚数」が多いことです。どちらも海底火山の周辺で起きるのであれば、チャンスは同じだと思うかもしれませんが、そうではありません。海底の岩石には無数のひび割れや空隙があるので、有機物を作る黄鉄鉱の表面積はきわめて大きくなるのです。

小さなものでも表面積が大きくなるのは、活性炭を例に出せばよくわかるでしょう。冷

蔵庫の脱臭剤などに利用される活性炭は、内部に無数の穴が開いているため、わずか一グラムでも表面積がテニスコート四面分から六面分にもなるのです。だから、少量でも臭いの成分を大量に吸収できるわけです。

海底の岩石もそれと同じで、狭いスペースであつても、ひび割れや空隙の表面積は膨大なものになります。そこでたくさんの有機物が作られれば、ほとんど「宝くじの全部買い」に相当するほどの試行錯誤を重ねることが可能でしょう。広大な鉱物の表面で無数の順列組み合わせを試せば、アミノ酸を何十個、何百個もつなげたタンパク質が生成される可能性もあると考えられます。

これまで「生命は母なる海で誕生した」と信じていた人が多いでしょうから、海底の鉱物表面で生まれたとするこの説は、一般的なイメージを大きく覆すものだといえるでしょう。従来のイメージが「鍋のお湯の中」だとすれば、こちらは「鉄板の表面」のようなものです。実際、ギンター・ヴェヒター・シヨイザーの論文を評した科学雑誌の記事には、「スプーンからクレープへ」という見出しが掲げられました。どちらが正解かはわかりません（どちらも不正解かもしれませんが、「スプーン」より「クレープ」のほうが生命を作り出す可能性が高そうだと思います）。

彗星^{すいせい}の表面でもアミノ酸は作られる

少なくとも私自身は、この黄鉄鉱を使うシナリオが登場したことで、たしかに生命の起源は地球上にあるのかもしれないと思えるようになりました。それぐらい、熱水循環説は効率が悪いと考えていたのです。

では、もし表面代謝説が登場しなければ、私はどこで生命が誕生したと考えていたと思いますか。

地球上ではないとすれば、それはもう、「宇宙」しかありません。宇宙のどこかで誕生した生命体が、三八億年前に、何らかの形でこの地球に運ばれてきたと考えていました。

突拍子もない話のように感じる人も多いでしょうが、これは地球上での化学進化と同じように学界でも広く認められた仮説です。この「パンスペルミア説」と呼ばれる宇宙起源説は、いまから一〇〇年以上も前の一九〇六年に、スウェーデンのノーベル賞化学者スヴェン・アレニウスによって名づけられました。誰もが抱いていた「地球の生命は地球で生まれたに決まっている」という先入観を打ち破ったという意味で、この仮説には非常に大きな意義があったといえるでしょう。



スヴァンテ・アレニウス(1859~1927年)

スウェーデンの物理化学者。地球上の最初の生命は宇宙からもたらされたという「パンスペルミア説」を提唱した。電解質の理論に関する業績により、1903年にノーベル化学賞を受賞している。

生命が地球外で誕生したと考えるのは、そんなに無理のある話ではありません。タンパク質の材料であるアミノ酸などの有機物は、ほかの天体や宇宙空間でも生成されます。地球も宇宙の一部なので、有機物が地球だけで作られると考えるほうが不自然でしょう。アミノ酸があれば、そこから生命体ができあがる可能性は十分にあります。それが隕石や彗星に乗って地球にデリバリーされ、そこに棲みつ^すいたと考えることは必ずしも不自然ではありません。

生命の起源を地球に求めるとすると、地球の誕生から生物の誕生までの数億年しか時間がありません。しかし、宇宙に起源があるとなれば、その何倍もの時間をかけることができます。

きます。天体も文字どおり「星の数ほど」あるのですから、買える宝くじの枚数（＝試行錯誤の回数）は地球上とは比較にならないほど多いので、「当たりくじ」、つまり、生命誕生の可能性は高くなります。

実際、たとえばハレー彗星の表面は、コールタールのような有機物でベッタリと覆われています。地球に接近したときは明るく輝いて見えますが、実は汚れた雪玉のような天体で、太陽光の反射率も低い。そこに太陽の紫外線や宇宙空間の放射線が当たると、有機物が壊れる過程でアミノ酸のようなものができます。太陽の近くを通過するときは、氷が溶けるので液体の水も存在するでしょう。

そこに何らかの形で大きなエネルギーが加われば、一気にさまざまな化学反応の連鎖が起こるかもしれません。太陽系の外から飛んでくる銀河宇宙線には、太陽が出す放射線の一〇〇〇倍から一万倍ものエネルギーを持つのがありますから、これはリアリティのある想定です。

それだけのエネルギーがあれば、雷や熱水循環ぐらいでは絶対に起きない反応が起こることも考えられます。実験でたしかめられたわけではありませんが、アミノ酸を一つひとつ結びつけるのではなく、同時に一〇〇個つなげてしまうような反応もあり得るだろうと

私は思っています。少なくとも熱水循環説よりは、タンパク質が合成される見込みがあるのではないのでしょうか。

宇宙起源説の可能性を示す火星の隕石

では、仮にほかの天体で生命体が誕生したとして、それが地球に送り届けられることはあり得るのか。

実は、その可能性を示す隕石が見つかっています。一九八四年に南極大陸のアラン・ヒルズという場所で発見された「ALH84001」です。これは、火星起源の隕石でした。なぜそれが火星のものだとかかったかといえは、一九七六年にアメリカが飛ばした火星探査機「バイキング」によって、火星の大気の組成が分析されていたからです。ALH84001に含まれていたガスの成分はそれと一致したのです。

一九九六年およびその後に表示された分析結果によると、ALH84001は約三六億年前に火星で溶岩から生成され、一六〇〇万年前に小惑星が火星に衝突した際に宇宙空間に飛び散ったと考えられています。それが地球に落下したのは、約一万三〇〇〇年前のこと。それまで一五〇〇万年以上にわたって、宇宙を漂流していたことになります。



ALH84001

火星起源の隕石で、1984年に南極大陸のアラン・ヒルズで採取された。
内部から微生物のような化石の構造体を確認され、
地球外生命の痕跡ではないかと物議をかもしたが、いまなお結論は出ていない。

とはいえ、火星から飛んで来た隕石自体は必ずしも珍しくありません。世界各地で、たくさん発見され、その特徴によっていくつかのグループに分類されています。

しかしALH84001は、そのいずれのグループにも分類できない奇妙な隕石でした。そこで石を割って内部を調べてみたところ、太古の地球に存在したとされるシアノバクテリアそっくりの化石が確認されたのです。

詳しくは後の章に譲りますが、シアノバクテリアはそれまで地球上にあまり存在しなかった「酸素(O_2)」を大量に作り出す道を開拓したという点で、きわめて重要な存在だと考えられています。それとそっくりな化石が火星の岩石に含まれているのは、実に興味深い事実です。

もともと、ALH84001の微生物化石が本当に生命体だったかどうかについては、疑問視する声もあります。というのも、その化石は地球のシアノバクテリアと形はよく似ているものの、サイズが五〇分の一以下しかありません。シアノバクテリアは数珠のような細胞が何十個も並んだような姿をしているのですが、火星のそれは、細胞を一〇個並べても大腸菌ひとつ分の大きさしかないのです。

大腸菌は一マイクロメートル程度なので、火星の化石の「細胞」はひとつが〇・一マイ

クロメートルということ。そこまで小さい生物は、地球上では知られていません。そのため、「これは鉱物などの非生物でも生成される可能性がある」と主張する学者もいます。

でも、私はそうは思いません。そもそも私は微生物が専門分野で、「地球でいちばん小さい生物は何か」を研究テーマのひとつにしています。そして、これまでのところ、〇・一五マイクロメートルの微生物が存在することは突き止めました。

実は、世の中の除菌フィルターは「〇・二マイクロメートル以上の大きさの微生物を除く（除菌）する」ことを前提に作られています。これはあまり大きな声ではいえないのですが、そのフィルターを通り抜けられる微生物はたしかに存在するのです。現在の地球にそこまで小さい微生物がいるなら、かつての火星に〇・一マイクロメートルの微生物が存在したとしても、不思議ではないでしょう。

また、ALH84001の内部には、高温にさらされると分解してしまうはずの鉱物がそのまま残っていました。これは、地球の大気圏に突入したときの熱が内部にあまり影響を及ぼさなかったことを意味しています。いくら内部の温度が上がったとしても、せいぜい四〇℃か五〇℃ぐらいだったはずです。それならば、内部の微生物が生きたままだ地表に届く可能性は十分にあり得ます。

もちろん、ALH84001の化石が地球のシアノバクテリアの祖先になったのかどうかはわかりません。それはまた別の問題です。ここで重要なのは、「宇宙から地球に生命体が運び込まれることがあり得る」ということです。

地球内部に生命の起源を求める説は、おおむね「スープ派」と「クレープ派」の二つに大別されます。しかし、宇宙起源説もまだまだ捨てられません。私たちの祖先は、鍋や鉄板で料理されたわけではなく、宅配ピザのように「出前」で地球にやって来たのかもしれないのです。

生命とは何だろう？

長沼毅・著

発行・集英社インターナショナル 発売・集英社

定価 1,000 円（本体）＋税

ISBN 978-4-7976-7243-5

ウェブでのご予約・ご注文は [こちらにどうぞ！](#)