

1

問題

《生物の進化》

次の文章を読み、問1～問4に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

地球が誕生してから現在まで約46億年を経ているが、その長い歴史のある時点であったであろう、生命の誕生に関する科学的な論争は20世紀から始まったようである。

1904年ヘッケルは原始地球において低分子からタンパク質が生じ、これが生命の起源となったという原生説を唱えたが、低分子からタンパク質がどのようにして合成されたのか、という生命に至る前の段階を説明することができなかった。しかし1953年、当時大学院生だったミラーの実験によってその点は証明されたかに思われた。

ところが1970年代に惑星物理学の研究が進むと、原始地球の大気はそれまで考えられていた『還元型』とは異なり、二酸化炭素と水が主成分の『酸化型』であることが判明した。この大気成分でミラー自身が実験をやり直した結果、わずかにグリシンが形成されたにすぎなかった。

結局、原始地球でアミノ酸やタンパク質がどのようにして形成されたのか、そして分解されやすいこれらの物質がどのようにして現在の生物の細胞内程度にまで濃縮されたのかという疑問について、我々は未だに決定的な解答を得ていない。

また、仮に原始地球におけるアミノ酸やタンパク質の合成あるいは由来や濃縮が証明されたとしても、①1862年のパスツールの実験を考えると、未解決のままの大きな疑問点がある。

問1 ミラーの行った実験の概要と結果について、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。なお、その際ミラーが実験で用いた原始大気の成分を文中で挙げること。

問2 原始地球の大気には酸素分子 (O_2) がなかった。これについて、以下の(1)、(2)に答えよ。

(1) 原始地球の大気にはなかった O_2 は、どのようにして、何から生じたのか。解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

(2) O_2 の発生が生物の進化に与えた影響を2つ、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問3 下線部①について、以下の(1)、(2)に答えよ。

(1) 1862年のパスツールの実験によって否定された仮説の名称を解答欄に記せ。

(2) 「未解決のままの大きな疑問点」とはどのようなものか、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問4 「ウイルスは構造が単純であるから、地球の生命の起源はウイルスであり、ウイルスから細胞が進化した」と考えることもできる。しかし、ウイルスにみられる、ある非生物的な性質を踏まえると細胞が存在する前にウイルスが存在したとは考えにくい。この「ある

「非生物的な性質」とはウイルスのどのような性質のことを指しているかと推定されるか。解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

ポイント

「生物の進化の仕組み」の分野より、生命の起源についてとりあげた。この分野は知識問題の割合がとくに高いので、正確な知識が身についているか確認してほしい。また、問1、4では表現力（記述力）も点数を左右する。

解答

- 問1 密閉した容器にメタン、アンモニア、水、水素を入れ、気体を循環させながら途中で放電と加熱を行った。その結果、容器内ではアミノ酸や有機酸などの有機物が合成された。
- 問2 (1) 生物の行った光合成による水の分解から生じた。
 (2) ・呼吸を獲得することで、発酵に比べて有機物から大量のエネルギーを得ることが可能になった。
 ・オゾン層が形成されることで地表に降り注ぐ紫外線の量が減少し、生物の陸生化が可能となった。
- 問3 (1) 自然発生説
 (2) いかにしてタンパク質のような物質から生命が生じたのか、という点。
- 問4 ウイルスは寄生性であり、宿主となる細胞が存在しない環境では増殖できないから。

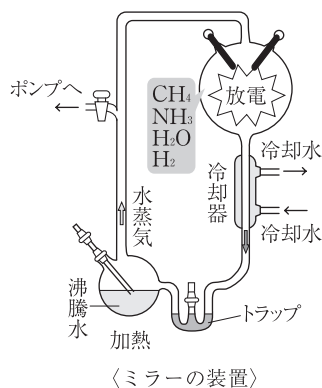
解説

問1 1828年、ヴェーラーによって尿素が合成されるまでは、有機物を非生物的に合成するのは不可能だと考えられていた。現在では非生物的にATPやポリヌクレオチドをはじめ、ポリペプチド、脂肪酸など生体内の高分子が合成され得ることは判明している。問題は、それが「実験室内では」という条件付きの点である。原始地球のどこに実験室のような、温度が制御され、材料の濃度が高く、生成物が破壊されないように配慮された環境があったのだろうか。

当時大学院生だったミラーは右のような実験装置を組んで原始地球環境を再現した。

実験を開始してから1週間後、トラップ部分にたまった水の中に乳酸、蟻酸などの有機酸に混ざってグリシン、アラニンなどのアミノ酸が確認された。

地球の歴史からすれば一瞬にも満たないであろう1週間で、わず



かとはいえアミノ酸が合成されたのである。何十億年という膨大な時間と広大な面積さえあれば原始地球のどこかでアミノ酸が合成され、濃縮されてタンパク質になる可能性はある、と考えたのである。その後、1970年代になって彼の想定した原始地球の大気成分は惑星物理学的に誤りであることが判明した。リード文にあるように『酸化型』大気で実験した結果、わずかにグリシンが合成された程度で、とてもそこに生命の起源を見出すことはできなかったのである。しかし、その後隕石や宇宙空間にも種々の有機物が見出されるようになり、科学者の関心は「原始地球においていかにして有機物が合成されたか」という問題から、「いかにして有機物から生命が生じたか」という問題に移っている。

問2 酸素分子 O_2 が発生する以前にも生命は存在していた。つまり原始生命は嫌気性で生命活動のエネルギーを得るのに発酵をしていたものと考えられている。一説では、

嫌気性・従属栄養生物→嫌気性・独立栄養生物

→好気性・独立栄養生物→好気性・従属栄養生物

という過程で生物が進化したことが想定されている。

地球環境と生命の進化に大きな影響を与えたのは独立栄養生物、とくに水 H_2O を水素供給源とする光合成生物が光合成にともなって放出した O_2 だった。大気中に蓄積した酸素 O_2 は上空で紫外線の作用によってオゾン O_3 となり、大気の上層にオゾン層が形成された。オゾン層は紫外線を吸収するので、地表に照射される紫外線の量が減少した。紫外線の量が多いことは、細胞のがん化を引き起こして個体死を招く。それ以上に悪いことに、染色体変異を起こした合体できない配偶子を生じる、染色体や生殖関係の遺伝子に変異を生じた不妊個体が増えるなど、種の連続性を危うくする。つまり紫外線量の減少によって、生物の生活圏が海中から地上へと拡大することが可能になったと考えられている。

また、 O_2 の強い酸化力は、嫌気性生物にとっては毒物以外の何者でもなかった。膜成分などが酸化によって劣化するからである。しかし酸化力が強いということは、呼吸基質をより細かく分解し、より大きなエネルギーを取り出すことができるということでもある。 O_2 の強い酸化力を使った呼吸を行うことができたようになった好気性生物は、 O_2 があっても問題がないので、嫌気性生物の耐えられない環境に進出できたこと、発酵に比較してより多くのエネルギーを獲得できたことなどから嫌気性生物より優位に立ち、より増殖することが可能となったのである。

問3 生命の自然発生説とは、「無生物から生物が生まれる」というものである。この説を完全に論破する実験を行ったのが19世紀の科学者パスツールである。

◀ 正確にいうと原始地球の大気を還元型と考えた科学者はミラーではなく、彼の師匠であるユーリーである。

◀ すなわち、どのような経緯によるものかは不明だが、生命が発生する以前の原始地球に有機物が蓄積しても不思議ではないという認識が広まった、ということである。

パスツールは白鳥の首フラスコという自分でつくった実験器具によって生命の自然発生説を否定した。前述のフラスコに肉汁を入れ沸騰させると、湾曲した細長い首の部分に水滴が残る。空気は水滴の隙間を通して出入りできるが、空気に含まれる微粒子のほとんどは多くの細かい水滴に吸い取られる（「プラスα」参照）。このフラスコの中には1年経っても微生物は発生しなかったのである。

パスツールの発見は今の「すべての細胞は細胞から発生する」というテーゼ（原則）につながっている。しかしそれでは現在生命が存在すること（および最初の生命が誕生したこと）を説明することが不可能になってしまうので、後年パスツールの説は『現在の地球環境では無生物から生物は生まれない』と修正されている。

問4 ウイルスは核酸であるDNAまたはRNAのどちらかとそれを包むタンパク質性の殻からなる構造体で、次のような生物的な性質と非生物的な性質をもつ。

生物的な性質…自己増殖性をもつこと。

非生物的な性質…宿主細胞の外では増殖できないこと。

結晶化が可能であること。

物質と生物の境界に位置するウイルスは「物質が生物に進化していく途中の段階である」という主張もある。しかしウイルスは寄生性であり、宿主となる生物（細胞）の後に出現したはずなので、地球上に最初に出現した生物ではないという主張もあり、その決着はついていない。

ウイルスについて考えるとき、物質と生物の「境界」とは何か？ 生命はどのようにしてつくられたのか？ という問題が我々の前に立ちはだかる。生物学が解明しようとする課題はまだ数多く残されている。

◀ 肉汁ではなく、酵母のしぼり汁にスクロースを加えたものを用いたとする書籍もある。

◀ 生物の結晶化は不可能である。

採点基準

配点 25点

問1 8点 **問2** (1) 3点 (2) 8点 (各4点×2)

問3 (1) 2点 (2) 2点 **問4** 2点

配点のめやす

問1

① 「メタン」「アンモニア」「水（水蒸気）」「水素」…4点（各1点）

* 化学式で示していても正解。

② 「放電と加熱を行った」…2点

* 「放電」に関する記述があれば正解。

* **差がつく!** 「加熱」に関する記述のみの場合は1点減点。

③「アミノ酸や有機酸などの有機物が合成された」…2点

* 「アミノ酸が合成された」という内容が読み取れば正解。

* **差がつく!** アミノ酸に触れておらず、有機物・有機酸のみに触れている場合は1点減点。

問2 (1)

①「光合成によって生じた」…2点

* **差がつく!** どのような生物が行った光合成なのかについては触れていなくてもよい。

②「水の分解によって生じた」…1点

問2 (2)

* 下記のⅠ、Ⅱのそれぞれを書いていけば正解（順不同）。

【Ⅰ】

①「呼吸を行うようになった」…2点

②「呼吸は発酵に比べて有機物から大量のエネルギーを得ることが可能である」…2点

【Ⅱ】

③「オゾン層が形成された」…2点

④「地表に降り注ぐ紫外線の量が減少した」…1点

⑤「生物の陸生化が可能となった」…1点

問3 (2)

* 生命の誕生について触れていけば正解。

問4

* 「(ウイルスは) 宿主となる細胞がなければ増殖できない」という内容があれば正解。

* 単に「非生物的」な特徴を挙げているだけで、他の細胞（生物）との関係を述べていないものは0点。

プラスQ

パスツールが自然発生説を否定する際に用いたフラスコは首をS字状に曲げたもので、その形状から白鳥の首フラスコ（swan-neck flask）とよばれている。なぜ、パスツールはフラスコの首をS字状に曲げたのだろうか。

自然発生説を否定する実験として、肉汁を煮沸消毒し、容器を密閉してしまうと微生物は発生しない、という実験が行われた。しかし自然発生説肯定論者は「煮沸によって容器内の気体の性質が変化したから生命が自然発生しなくなった」あるいは「生命の誕生には新鮮な空気が必要で、密閉容器の中では生命は自然発生しない」と反論した。

パスツールは自然発生説に否定的で、恐らく空気中には孢子のような形で微生物が存在しているに違いない、と考えていた。空気の流れを遮断せずに、孢子の進入を防ぐにはどうすればいいのか？

そこで考え出された実験器具が白鳥の首フラスコだったのである。この容器に培養液（肉汁）を入れてから煮沸消毒し、冷却すると、「首」の部分には水滴がAのように付着する（これがBようになる、と考えている受験生が多いが、これでは空気の流れまで遮断されてしまう点に注意）。「首」の中を空気の流れる際、空気は水滴に接するが、このとき空気中のほこりや孢子は水滴に取り込まれる。首がS字状に曲がっているのは、空気ができるだけ水滴に接するようにするための「工夫」である。

「首」の中には数多くの水滴が付着しており、空気内のほこりや孢子は肉汁に到達する前にほぼ完全に水滴に取り込まれてしまう。

空気の流れは遮断されていないが、孢子などは進入できない白鳥の首フラスコの中で生命は自然発生せず、この実験結果からパスツールは自然発生説を否定したのである。

