

生 物

(解答番号 1 ~ 25)

第1問 次の文章(A・B)を読み、後の問い合わせ(問1~6)に答えよ。(配点 24)

A どのように地球上に生命が出現したか。いろいろな仮説が考えられている。現存する生物は、遺伝情報を保持する物質としてDNAをもち、RNAの仲介によりタンパク質合成をするしくみにより自己増殖が成立しているが、複雑であることから、最初の生命の出現は、もっと単純なしくみがあると考えられた。その中で候補になったのが、RNAのみ、あるいはタンパク質のみによるしくみで自己増殖が成立する可能性で、前者をRNAワールド仮説という。

問1 現在、最初の生命はRNAのみによるしくみで増殖していたとするRNAワールド仮説が有力である。次の記述①～⑦のうち、RNAワールド仮説が有力である理由として適当であると考えられるものはどれか。それを過不足なく含むものを、後の①～⑦のうちから一つ選べ。1

- ① RNAは相補的な塩基対形成に基づいた複製が可能である。
- ② RNAの中にはリボザイムという触媒機能をもつものが存在する。
- ③ RNAはスクレオチドが多数結合した1本鎖で多様な立体構造が形成できる。

- ④ ①, ②
- ⑤ ③, ④
- ⑥ ⑤, ⑥
- ⑦ ④, ⑤, ⑥

問2 RNAワールド仮説において、最初に出現したRNAは、tRNA様のRNAであるという考え方がある。現生生物のtRNA（図1）に関する記述で誤っているものを、後の①～⑤のうちから一つ選べ。 2

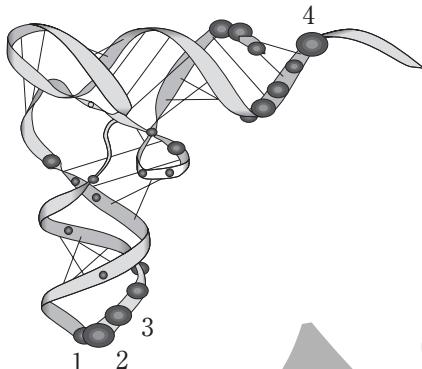


図 1

- ① 翻訳のときに、アミノ酸をmRNAのところに運ぶためにはたらく。
- ② 図1の1, 2, 3の塩基配列が異なると、4に結合するアミノ酸は必ず異なる。
- ③ 現存する細胞では、DNAの転写により合成される。
- ④ 図1の1, 2, 3の塩基配列はアンチコドンとよばれ、mRNAのコドンに結合する。
- ⑤ mRNAの終止コドンに対応するtRNAは存在しない。

問3 RNAワールド仮説では、生命の出現前に、いろいろなタイプのRNAが生じ、その中で、安定で自己複製可能なRNAが生命体に利用されるようになっていったと考えられている。生命体に利用されているRNAが一部のRNAに限られていることは、細胞の出現以降、いろいろな生物が出現して一部が残っていった過程に類似したところがある。類似しているところとして最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 3

- ① 小さい集団において、偶然特定の形質の個体の割合が増加する。
- ② 大きい集団において、他の形質の個体が流入しないと、特定の形質が維持される。
- ③ ある環境において生存に有利な形質の個体の割合が増加する。
- ④ 小さい集団において、偶然特定の形質の個体が減少して消滅する。

B 地球は約 46 億年前に誕生したといわれているが、真核生物が誕生したのは約 20 億前のことと考えられている。真核細胞の細胞小器官であるミトコンドリアや葉緑体は独自の DNA をもち、分裂によって増殖することから、原核細胞が宿主細胞に共生してこれらの細胞小器官になったと考えられている。(a) ミトコンドリアは、ほぼすべての真核細胞がもつため、先に好気性細菌が共生して細胞小器官になったと考えられている。それに対し、葉緑体は、シアノバクテリアが共生してできた一次共生と真核生物に属する藻類が共生した二次共生など (b) いろいろな段階で共生したと考えられている。

図 2 はこれらの共生の時期を模式的に示したものである。

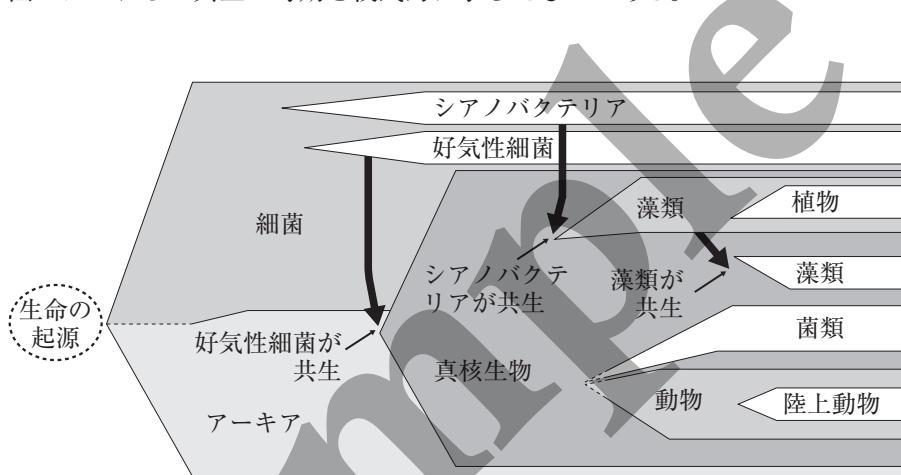


図 2

問 4 下線部(a)に関連して、好気性細菌は電子伝達系を利用して ATP 合成を行うことができる。ミトコンドリアが好気性細菌由来であることをもとに、好気性細菌の呼吸について推測した結果として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、好気性細菌の呼吸のしくみは共生後、大きくは変化していないものとする。 4

- ① 電子伝達系のはたらきで水素イオンが細胞内に輸送される。
- ② ATP 合成酵素は細胞質基質に存在する。
- ③ 水素イオン濃度は細胞膜の内側が高く外側が低い濃度勾配がある。
- ④ 呼吸による酸素の消費は細胞膜の部分で行われる。

問5 下線部(b)に関連して、図3は植物や藻類の葉緑体の由来の一部を示したものである。図3に関する問題に答えよ。

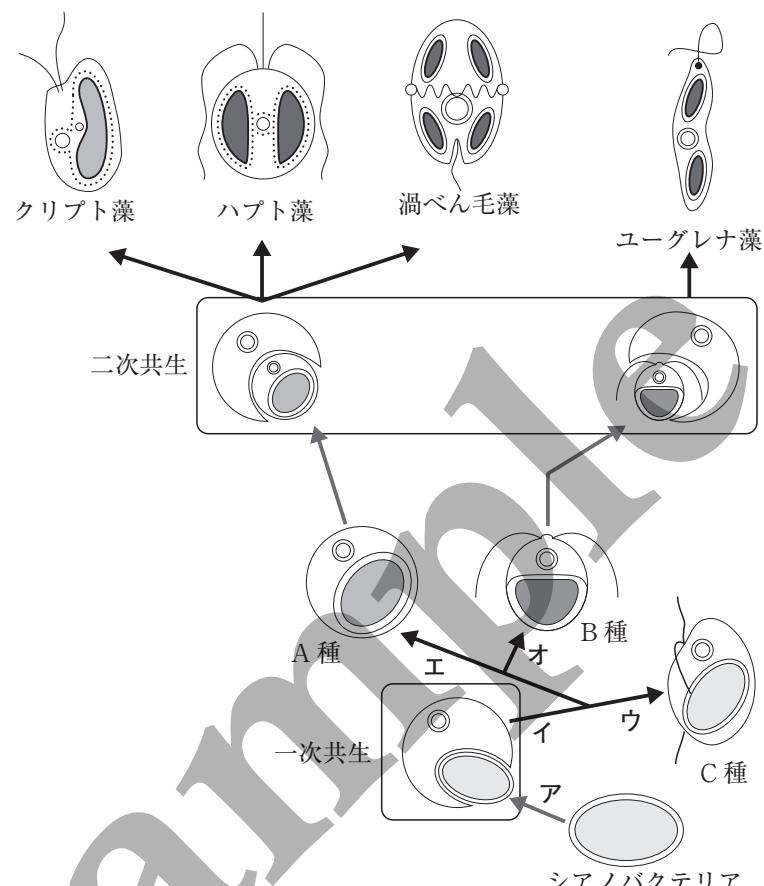


図 3

シアノバクテリアと一次共生による葉緑体をもつ3種(A種, B種, C種), 二次共生による葉緑体をもつクリプト藻, ハプト藻, 涡べん毛藻, ユーグレナ藻がもつクロロフィルの種類は, 表1の通りである。これらのことからクロロフィルbが合成できるようになったのは, 図3のア~オのうちどの段階と考えられるか。最も適当なものを, 後の①~⑤のうちから一つ選べ。ただし, 葉緑体はクロロフィル合成の能力を失うことはないものとする。

5

表 1

シアノバクテリア	クロロフィルa
A種	クロロフィルa
B種	クロロフィルa, b
C種	クロロフィルa
クリプト藻	クロロフィルa, c
ハプト藻	クロロフィルa, c
渦べん毛藻	クロロフィルa, c
ユーグレナ藻	クロロフィルa, b

① ア ② イ ③ ウ ④ エ ⑤ オ

問6 葉緑体が一次共生によるものか, 二次共生によるものかを調べたい。次の記述①~⑦のうち, 二次共生の根拠となり得るものはどれか。それを過不足なく含むものを, 次の①~⑦のうちから一つ選べ。6

- ① 葉緑体内には独自のDNAが存在する。
- ② 包膜が4枚存在する。(葉緑体が4枚の膜に包まれている。)
- ③ クロロフィルa以外の種類のクロロフィルが存在する。

① ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧
 ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧
 ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧
 ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧

第2問 次の文章(A・B)を読み、後の問い合わせ(問1～6)に答えよ。(配点 24)

A 脊椎動物の胚では、神経管の前部がふくらんで脳胞が形成されると、眼をはじめとする頭部の感覚器が形成されていく。脊椎動物の眼は、脳胞の左右の特定部位が突出して生じた眼胞と、それに接する表皮の相互作用によって形成されていく。脊椎動物では共通して、頭部の特定の位置に2つの眼が形成されるが、この過程には、*Pax 6* および *Shh* とよばれる遺伝子が重要な役割を果たしていることが知られている。*Pax 6* 遺伝子からつくられる *Pax 6* タンパク質は細胞内で転写因子(転写調節因子)としてはたらく。転写因子は、特定の遺伝子の転写調節領域に結合して、アに結合した基本転写因子と RNA ポリメラーゼの複合体と相互作用することで、転写を促進または抑制する調節タンパク質である。*Shh* 遺伝子からつくられる *Shh* タンパク質は、両生類の発生において、外胚葉の表皮への分化を促すイなどと同様に、細胞外に分泌され、細胞表面にある受容体に結合することで、それを受容した細胞の遺伝子発現を調節するシグナルとしてはたらくタンパク質である。神経胚期になると、胚の前方に眼がつくられる予定域(予定眼領域)が決まる。図1Aはこのときの背側から見た胚の頭部を模式的に示したものである。また、図1Bは側方から見た脳胞と脊索の位置関係を模式的に示したものである。するとそこで *Pax 6* 遺伝子が発現するようになる。これに対し *Shh* 遺伝子は、脊索の細胞で発現する。

(a) マウスを用いた実験では、*Pax 6* 遺伝子を破壊した胚や、頭部で過剰に *Shh* タンパク質を発現させた胚には眼が形成されない。また、*Shh* タンパク質の受容を阻害する物質にさらされた胚では、大脳が左右の半球に分かれず、顔の正中線上に単一の眼が形成されることが示されている。

また、脊椎動物の *Pax 6* によく似た配列の遺伝子は、多くの無脊椎動物にも存在することが知られている。そしてこの(b) *Pax 6* に類似した遺伝子が、脊椎動物とは体の構造がまったく異なる動物においても、眼の形成にはたらいていることが実験によって明らかにされている。

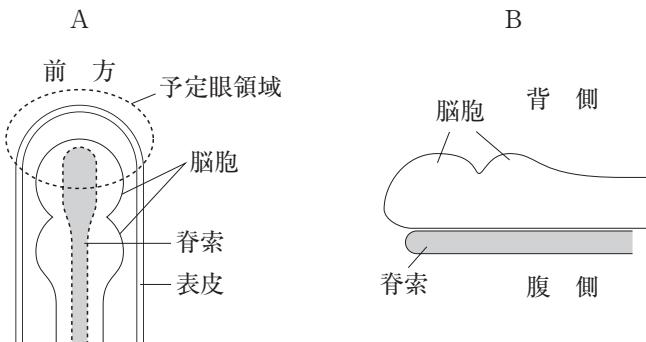


図 1

問1 文章中の **ア**・**イ** に入る語の組合せとして最も適当なものを、
次の①～⑥のうちから一つ選べ。 **7**

	ア	イ
①	オペレーター	コーディン
②	オペレーター	BMP
③	プロモーター	コーディン
④	プロモーター	BMP
⑤	リプレッサー	コーディン
⑥	リプレッサー	BMP

問2 下線部(a)に関して、次の記述①～④のうち、マウスを用いた実験の結果についての考察として適当なものはどれか。その組合せとして最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。

8

- Ⓐ Shh 遺伝子は、眼胞が形成された後に発現すると考えられる。
- Ⓑ 表皮細胞には Shh タンパク質の受容体があるが、神経管の細胞にはないと考えられる。
- Ⓒ Shh タンパク質がはたらくには、ある程度以上の濃度が必要と考えられる。
- Ⓓ Shh タンパク質は、Pax 6 遺伝子の発現を抑制すると考えられる。

① Ⓐ, Ⓑ
④ Ⓒ, Ⓓ

② Ⓐ, Ⓒ
⑤ Ⓑ, Ⓓ

③ Ⓐ, Ⓓ
⑥ Ⓒ, Ⓓ

問3 下線部(b)に関連して、ショウジョウバエ(以後ハエと略す)では、ある1つの遺伝子(*E*とする)が欠損したホモ接合体(*ee*とする)は眼のない成体となる。この遺伝子*e*のアミノ酸配列を指定する部位をマウスの *Pax 6* 遺伝子のものに入れ換えると、眼をもった成体が生じるようになる。またハエの幼虫体内にある、成虫の脚やはねの原基となる細胞に、マウスの *Pax 6* 遺伝子を導入して強制的に発現させると、脚やはねに眼の構造の一部をもつ成虫が生じる。

この事実から導かれる、*Pax 6* 遺伝子と *E* 遺伝子、およびそれらからつくられるタンパク質に関する考察として適当でないものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

9

- ① *E* 遺伝子は、ハエの体細胞のうち、限られた細胞だけで発現する。
- ② *Pax 6* タンパク質はハエの DNA にある *E* タンパク質の結合部に結合する。
- ③ *Pax 6* タンパク質と *E* タンパク質は、ハエの同じタンパク質の合成を調節する。
- ④ *Pax 6* タンパク質は、マウスとハエに共通な遺伝子の発現を促進する。

解説

第1問

〈出題のねらい〉

RNAワールドとRNAに関する理解を問う。共生説をもとに、ミトコンドリアや葉緑体の形成過程を理解し、一次共生と二次共生による葉緑体の形成の違いについて考察する。

〈解説〉

問1 **1** 正解⑦

① RNAをもとにRNAを合成するときは、アデニンとウラシル、グアニンとシトシンの相補性を利用する。現在、RNAウイルスの中にはRNAをもとにRNAを合成するものが存在する。

② RNAの中には触媒作用をもつものが存在しておりリボザイムとよばれている。

③ RNA1本鎖の離れた相補的な塩基どうしが結合すると、多様な立体構造をつくることが可能である。

よって、3つとも適当な内容である。

問2 **2** 正解②

tRNAはmRNAにアミノ酸を運ぶはたらきをする(①は正しい)。図の1, 2, 3の塩基配列はアンチコドンといい、mRNAのコドンに相補的に結合する(④は正しい)。また、4のところにアミノ酸が結合している。同じアミノ酸を指定するコドンは複数種類あることが多いので、異なるアンチコドンをもつtRNAでも同じアミノ酸ことがある。よって、②は誤り。③現存する細

胞内のRNAはDNAの塩基配列を転写することで合成される(⑤は正しい)。終止コドンに対応するtRNAは存在しないので、終止コドンのところで翻訳が停止する(⑥は正しい)。

問3 **3** 正解③

いろいろなタイプの多様なRNAが出現した中で、安定で自己複製可能なRNAが残っていった過程は、生物が突然変異などで多様化し、より環境に適応したもの(生存に有利なもの)が生き残って多くの子孫を残し、有利な形質の割合が高まっていく自然選択に類似している。

問4 **4** 正解④

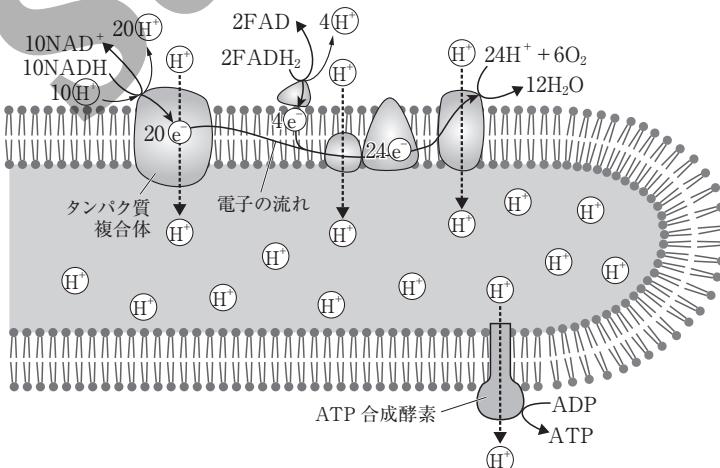
好気性細菌がエンドサイトーシスによって宿主細胞内にとりこまれ共生することでミトコンドリアが形成されたことをもとに考えるとよい。この過程を想定すると、好気性細菌の細胞膜がミトコンドリアの内膜に相当し、宿主細胞の細胞膜がミトコンドリアの外膜に相当すると考えられる。ミトコンドリアの電子伝達系では膜間腔に水素イオンが輸送される。よって、水素イオンは好気性細菌の細胞膜外に輸送される(①は誤り)。②ミトコンドリア内膜に電子伝達系があるので、好気性細菌の細胞膜に存在する(③は誤り)。③ミトコンドリアでは水素イオン濃度が膜間腔で高く、マトリックスでは低い濃度勾配ができる。よって、好気性細菌では細胞膜の内側の方が水素イオン濃度が低い(④は誤り)。④電子伝達系において酸素が消費されるので、好気性細菌では細胞膜の部分で酸素が消費される(⑤は適当である)。

問5 **5** 正解⑤

どの段階でクロロフィルbをもつようになったかで考

ポイント

ミトコンドリアの電子伝達系とATP合成酵素



えるとよい。例えばクロロフィルaはシアノバクテリアの段階からもっているので、シアノバクテリアから受け継がれていったと考えられる。それに対しクロロフィルbをもつのはB種とユーグレナ属である。よって、オの段階の祖先生物がクロロフィルbをもつようになったと考えられる。このように共通祖先生物がもつようになった形質は、それ以降の生物はすべてもつことが多い。(ただし、不要になり失われる場合もある。)

問6 [6] 正解②

二次共生でできた葉緑体と一次共生の葉緑体を比較してみるとよい。

(a) 葉緑体は一次共生、二次共生でできた葉緑体は両方とも独自のDNAをもつので、どちらの共生かは区別がつかない。

(b) 一次共生の場合は2枚の包膜になる。二次共生の場合は、一次共生のときにできた2枚の葉緑体の膜、真核細胞の細胞膜、宿主細胞の細胞膜の4枚の膜になる可能性がある。よって、根拠になる(二次共生の中には包膜が1枚失われて3枚になっているものもあるが、2枚より多いことは、二次共生であることの根拠になる)。

(c) 一次共生の図1のB種のようにクロロフィルbをもつものもあるので、二次共生の根拠にはならない。

第2問

〈出題のねらい〉

Aでは、動物の発生に関する基本知識を問うとともに、真核生物の遺伝子発現の調節に関する知識と理解を問う。

Bでは、ヒトの脳に関する理解とPETを使った大脳のはたらきの確認について考察する。大脳皮質の運動野の損傷後の神経系の変化に関するマウスを使った実験を考察する。

〈解説〉

問1 [7] 正解④

真核生物の転写は、プロモーター([ア])とよばれる部位に基本転写因子とRNAポリメラーゼからなる複合体が結合することで開始可能になるが、実際に転写が始まるには、転写調節領域への転写因子(転写調節因子)の結合などの条件がそろう必要がある。両生類の発生で、外胚葉の細胞は、BMP([イ])とよばれるタンパク質を受容すると神経への分化が抑えられ、表皮に分化する。コーディンは背側中胚葉から分泌されるタンパク質で、BMPと結合することで、BMPが受容体に結合することを妨げる。つまりコーディンは細胞に受容されてはたらくシグナルではない。BMPを受容しなかった外胚葉の

細胞は、神経板の細胞に分化する。

ポイント

BMPのはたらき

- ・カエルでは、原腸胚期に背側中胚葉以外のほとんどの部域の細胞がBMPを分泌
- ・細胞膜上のBMP受容体に結合し、間接的に細胞内にある遺伝子の発現調節に関わるタンパク質に作用
- ・カエルでは、背側中胚葉(形成体としてはたらく)から分泌されるノギンやコーディンなどのタンパク質がBMPと結合し、受容体への結合を阻害→神経誘導

問2 [8] 正解⑥

Shhタンパク質が過剰だと眼の形成が阻害されることから、Shhタンパク質にはPax6遺伝子の発現を抑制するはたらきがあると考えられ、④は適当といえる。そしてShhタンパク質が適量分泌されているはずの正常な胚では、2つの眼が形成されることから、Shhタンパク質の濃度が低ければPax6遺伝子の発現は抑制されない、つまり④は適当と考えられる。

Shhタンパク質は、体の正中線上にある脊索から分泌されること、そしてShhタンパク質がはたらかないと、眼が2つできない(眼胞が2つできるにはShhタンパク質のはたらきが必要といえ、④は適当でない)だけでなく、大脳が左右の半球に分かれないと(神経管に由来する脳の形成にもShhタンパク質がはたらいている)ことから神経管の細胞にはShhタンパク質の受容体があるはずで、⑤は不適当と考えられる。Shhタンパク質は、Pax6が発現する脳胞の領域を左右に二分するようにはたらき、この結果、脳胞の左右に1対の眼胞が形成され眼が2つつくられると考えられる。そしてShhタンパク質がはたらかないと、脳胞のPax6発現領域は二分されず一まとまりになってしまふため、正中線上に1つだけの眼胞が生じ、1つだけの眼が形成されると考えられる。

問3 [9] 正解④

幼虫の体内にある成虫の器官原基の細胞で、マウスのPax6遺伝子を発現させると、本来なら形成されない眼の構造の一部がつくられるということは、Pax6遺伝子ではなく、E遺伝子を強制的に発現させても同様な結果が得られると予想される。つまり、正常な脚やはねの原基の細胞では、E遺伝子は発現していないと考えられ、①は適当である。Pax6遺伝子もハエのE遺伝子と同様にハエに眼の形成を引き起こすのは、眼を形成する際に、タンパク質Eが発現促進する遺伝子を、Pax6タン