

生物基礎・生物 (5 問)

注 意 事 項

字数制限のある設問については、句読点、アルファベット、数字を含めた字数で答えること。

〔 I 〕 ハーディー・ワインベルグの法則に関する次の文章を読み、問 1 ～問 3 に答えよ。
答えは解答欄に記入せよ。

生物の進化は、世代を通じた集団内の遺伝子頻度(対立遺伝子の割合)の変化と定義される。その一方で、ハーディー・ワインベルグの法則が厳密に成立する場合は、世代を経ても遺伝子頻度は変化しない。したがって生物が進化するということは、ハーディー・ワインベルグの法則は、現実には成立していないことを意味する。それはこの法則が「無限大の集団サイズ」などの理想条件を前提としているからである。しかしながら、こうした理想条件にある程度近い状態、例えば「有限であっても十分に集団サイズが大きい」などの状態を整えば、長期的にみれば遺伝子頻度は徐々に変化するものの、短期的にはハーディー・ワインベルグの法則が近似的に成立していると仮定しても差し支えない場合が数多くみられる。そのため、ハーディー・ワインベルグの法則から大きく外れる条件を丁寧に調べていくことで、集団の遺伝的特性や進化の過程について多くの情報を得ることができる。

問 1 ある遺伝子座における対立遺伝子 A と対立遺伝子 a の第一世代の遺伝子頻度をそれぞれ p と q とする(ただし $p+q=1$)。ハーディー・ワインベルグの法則の前提となる理想条件が全て揃っている場合、第二世代の対立遺伝子 A の遺伝子頻度 p' と対立遺伝子 a の遺伝子頻度 q' (ただし $p'+q'=1$) がそれぞれ p と q に等しくなることを証明せよ。なお、第二世代における各遺伝子型の個体がもつそれぞれの対立遺伝子の数、および p と q を用いた各遺伝子型の頻度を使用した数式により証明すること。

問 2 下線部(a)についての事例を考える。ヒトの血液型の分類方式は ABO 式以外に MN 式など数十種類が知られている。MN 式血液型には M 型, N 型, MN 型の 3 種があり, 対立遺伝子 M と N の組合せによって決定される。M 型, N 型, MN 型の遺伝子型はそれぞれ MM , NN , MN である。これを踏まえて(1)と(2)に答えよ。

(1) MN 式血液型のように各個体の遺伝子型が明確に識別できる場合, ハーディー・ワインベルグの法則が成立しているかどうかに関わらず, 遺伝子頻度をデータから直接計算することができる。表では, ある人類集団 H の MN 式血液型の観察個体数を示している。次の対立遺伝子の遺伝子頻度を求めよ。

- (i) 対立遺伝子 M の遺伝子頻度
- (ii) 対立遺伝子 N の遺伝子頻度

表 人類集団 H の MN 式血液型の観察個体数と理論上の個体数

血液型	観察個体数	理論上の個体数
M 型	56	(ア)
MN 型	96	(イ)
N 型	48	(ウ)
合計	200	200

(2) 人類集団 H でハーディー・ワインベルグの法則が成立すると仮定して, (1)で解答した対立遺伝子 M と対立遺伝子 N の遺伝子頻度を用いて, 表中の(ア)～(ウ)に該当する各々の遺伝子型の理論上の個体数を求めよ。数値は小数点以下を四捨五入して, 整数で記せ。

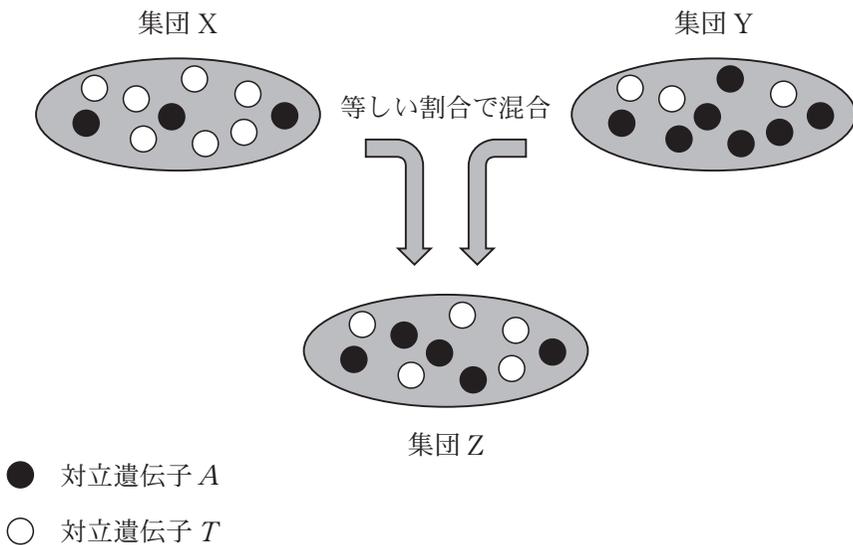
問 3 下線部(b)について、どのように集団の遺伝的特性や進化の過程についての情報を得ることができるかを考える。次の文章を読み、(1)と(2)に答えよ。

表においては、観察個体数と、ハーディー・ワインベルグの法則が成立する場合の理論上の個体数の間に統計的に有意な差は検出されなかった。このことは、観察個体数と理論上の個体数の違いは偶然によって生じてもおかしくない程度のものであり、特別な原因による差とは判断されないことを意味する。そのため、この人類集団 H では短期的にはハーディー・ワインベルグの法則が近似的に成立していると仮定しても差し支えない。

しかし、両者の間に偶然だけで説明することが難しい大きな違いがあるならば、そのような集団は短期的にみてもハーディー・ワインベルグの法則から大きく外れていることが分かる。両者の間に大きな違いが生じる主要な原因として、強い選択がはたらいっていることや自由交配が著しく制限されていることがあげられる。多くの場合、選択は特定の遺伝子にはたらくのに対し、自由交配の制限はゲノム全体に影響を与える。なお、突然変異や遺伝的浮動、他集団との移入・移出は長期的には遺伝子頻度を変化させるが、ここではその影響は無視できるものとする。

(1) 架空の陸生哺乳類(種 S)の集団 X と集団 Y を想定する。種 S のある遺伝子の 30 番目の塩基には、アデニン(A)とチミン(T)の一塩基多型(SNP)が存在する。この遺伝子では、これ以外の SNP は確認されていない。すなわち対立遺伝子 A と対立遺伝子 T のみが存在する。対立遺伝子 A の遺伝子頻度は、集団 X では 0.5、集団 Y では 0.7 であった。ここで集団 X と集団 Y が等しい割合で混合し、集団 Z が形成されたと仮定する(図 1)。集団 Z の遺伝子頻度は、集団 X の遺伝子頻度と集団 Y の遺伝子頻度の平均とする。次の問いに答えよ。

- (i) 各集団でハーディー・ワインベルグの法則が成立している場合、以下の集団のヘテロ接合度(集団の中でヘテロ接合の個体が占める割合)を求めよ。
- (A) 集団 X のヘテロ接合度
- (B) 集団 Y のヘテロ接合度
- (C) 集団 Z のヘテロ接合度
- (ii) 集団 X のヘテロ接合度と集団 Y のヘテロ接合度の平均値を求めよ。



注釈：実際の集団サイズは十分に大きく、本図の遺伝子頻度は本文中に記述されている頻度とは異なる。

図 1

(2) 図1のように、各集団でハーディー・ワインベルグの法則が成立しており集団 X と集団 Y で遺伝子頻度が異なる状況を仮定する。その場合、遺伝子頻度の値に関係なく、混合集団 Z のヘテロ接合度は、集団 X のヘテロ接合度と集団 Y のヘテロ接合度の平均値よりも常に大きい。このことを踏まえて、以下の問いに答えよ。

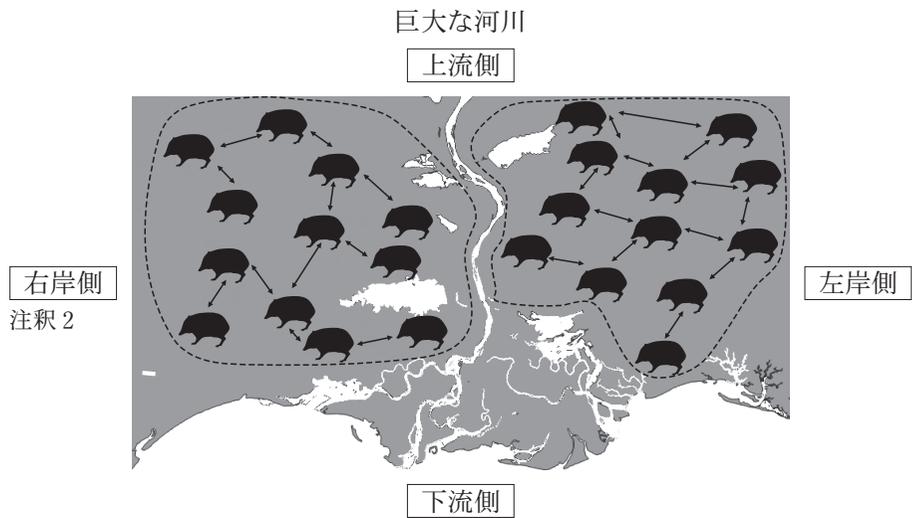
自然界では、地理的隔離が生じて同種の生物の集団が二つの集団に分かれると、それぞれの集団に十分に大きな数の個体が生息していても、長期的には遺伝的浮動などの影響によって両集団の遺伝子頻度がそれぞれ変化していき、次第に集団間で差異が生じる。これに対して、地理的隔離が生じずに完全に自由交配が行われている場合は、集団内のどの地点においても遺伝子頻度は均一である。

種 S の生息域はある巨大な河川の流域に限られている。この河川の両岸には十分に大きな数の個体がほぼ同数ずつ分布しており、右岸の個体群内と左岸の個体群内ではそれぞれ自由交配していることが分かっている。この種 S について「巨大な河川により地理的隔離が生じている」という仮説①と「巨大な河川の右岸と左岸の間で自由交配している」という仮説②が提唱されている(図2)。

河川の右岸と左岸からそれぞれ 30 個体ずつ種 S の DNA を分析し、異なる常染色体に位置する 20 座位の SNP の遺伝子型を決定した。その結果、全ての座位において二つの対立遺伝子の多型が観察された。次に、各座位について、右岸と左岸を区別せずに 60 個体全体での遺伝子頻度を求め、これらの遺伝子頻度に基づきハーディー・ワインベルグの法則を仮定して理論上のヘテロ接合度を推定した。その結果、全ての座位において、理論上のヘテロ接合度は実際に観察されたヘテロ接合度よりも大きく、両者の間には偶然では説明することが難しい大きな違いがあった。

(i) この結果は仮説①と仮説②のどちらを支持しているか記せ。

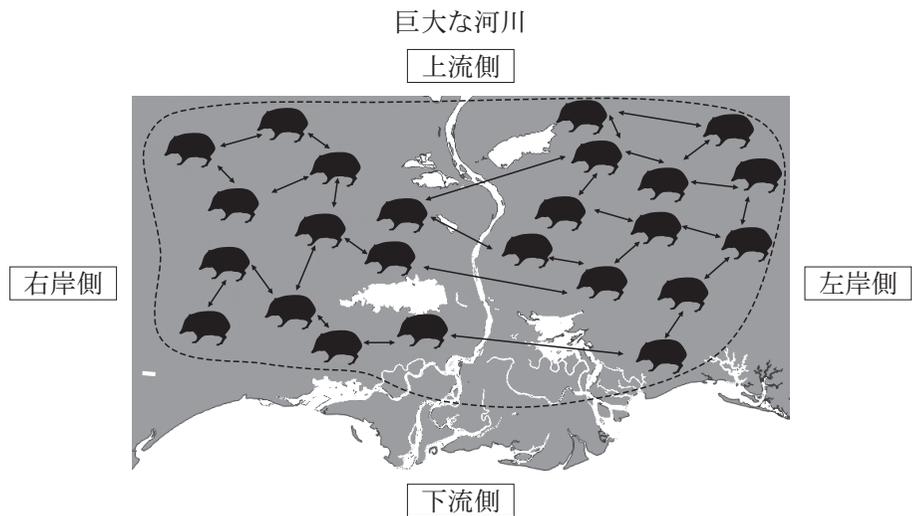
(ii) (i)で解答した理由を、下線部の仮定が仮説①と仮説②のどちらの立場に基づくものであるか、根拠を明らかにしつつ 6 行以上 12 行以内で説明せよ。



右岸側
注釈 2

左岸側

仮説①：巨大な河川により地理的隔離が生じている



右岸側

左岸側

仮説②：巨大な河川の右岸と左岸の間で自由交配している

-  陸生哺乳類 種 S
-  交配
-  自由交配する集団の地理的範囲

注釈 1：実際の種 S の集団サイズは十分に大きい。

注釈 2：河川の上流から下流に向かって右側を右岸，左側を左岸と呼ぶ。

図 2

〔Ⅱ〕 動物の配偶子形成に関する、問1と問2に答えよ。答えは解答欄に記入せよ。

問1 次の文章を読み、以下の(1)~(4)の問いに答えよ。

動物の体を構成する細胞は体細胞と生殖細胞の二種類に大別される。体細胞は個体の大部分を占める細胞であるが、次世代へと引き継がれないため、個体の死に伴って消失する。一方で、生殖細胞は生殖を通して次世代へ遺伝情報を伝達することによって、生命の連続性を担う。ここでは、脊椎動物であるマウスとメダカを例に、メスの配偶子形成を比較する。

配偶子のもとになる最も未分化な生殖細胞を とよぶ。いずれの動物種においても、 は初期発生において出現し、将来の精巣や卵巣になる生殖巣へと移動する。その後、 は周囲の体細胞から性特異的なシグナルを受けることによって、オスとメスそれぞれの分化過程に入る。

マウスでは、 は卵巣内で に分化し、体細胞分裂を繰り返して活発に増殖する。増殖を終えた は全て に分化し、減数分裂第一分裂の前期で細胞周期を停止させたまま卵巣内で成長する。性成熟後、脳下垂体から黄体刺激ホルモンが一過的に大量放出されることによって、 の一部は減数分裂を再開して となる。一方で、メダカでは、 は卵巣内で に分化し、体細胞分裂を繰り返して活発に増殖する。性成熟に伴って、 の一部が に分化し、減数分裂を経て となる。いずれの動物種においても、 は減数分裂第二分裂の中期で細胞周期を停止させた状態で卵巣から排卵される。精子が に侵入すると減数分裂を再開し、 を放出して受精卵になる。

このように、メスにおける配偶子形成の様式はマウスとメダカで異なり、メダカでは長期にわたって を生産し続けることができる。一方で、いずれの動物種においても減数分裂によって配偶子が生産されるため、^(c)有性生殖の結果として次世代に遺伝的多様性がもたらされる。

- (1) 文章中の ア ~ オ に当てはまる最も適切な語句を答えよ。
- (2) 下線部(a)について、減数分裂第一分裂の過程は前期、中期、後期、終期の四つに区分される。減数分裂第一分裂の前期に特徴的な染色体の状態について60字以内で答えよ。
- (3) 下線部(b)について、メダカは明るい時間の長さや温度などの条件を整えて飼育すると、数ヶ月から一年にわたって毎日産卵することができる。このように、メダカが長期にわたって産卵を続けられるのはなぜか、配偶子形成と細胞増殖の二つの観点から考えられる理由を60字以内で答えよ。
- (4) 下線部(c)について、減数分裂の過程における「染色体の分配」と「染色体の乗換え」が配偶子の遺伝的多様性をもたらすうえで重要であることが知られている。「染色体の乗換え」が起こらないと仮定した場合、染色体数が $2n = 48$ であるメダカにおいて、1組のオスとメスのペアの交配によって得られる受精卵の染色体の組合せは 2^X 通りになる。Xに入る数字を答えよ。

問 2 次の文章を読み、以下の(1)~(3)の問いに答えよ。

メダカなどの魚類では、受精の際に高温あるいは低温で短時間刺激することによって、三倍体を作出することができる^(a)。三倍体メダカは成体まで成長するが、雌雄いずれにおいても正常な配偶子形成が起こらず、不妊となる。メダカでは、免疫系が確立していない稚魚の腹腔内に精原細胞を移植すると、精原細胞は生殖巣へ移動し、機能的な配偶子が形成される。この特性を利用し、二倍体メダカの精原細胞を三倍体メダカ稚魚の腹腔内に移植すると、三倍体メダカは成熟し、正常な配偶子が形成される。そこで、メダカの精原細胞の性質を明らかにするために、以下の実験 1~4 を行った。なお、メダカの性決定様式はオスヘテロ XY 型である。

[実験 1] 緑色蛍光タンパク質(GFP)を全身で発現するメダカ(GFP メダカ)の精巣から精原細胞を取り出し、オスの三倍体メダカ稚魚の腹腔内に移植した。その結果、オスの三倍体メダカは成熟し、精子を形成するようになった。このオスの三倍体メダカとメスの野生型メダカをペアにして交配した(図 1)。その結果、F₁ 世代のメダカは全て全身で GFP を発現していた。また、F₁ 世代のメダカの雌雄比はほぼ 1:1 となった(図 1)。

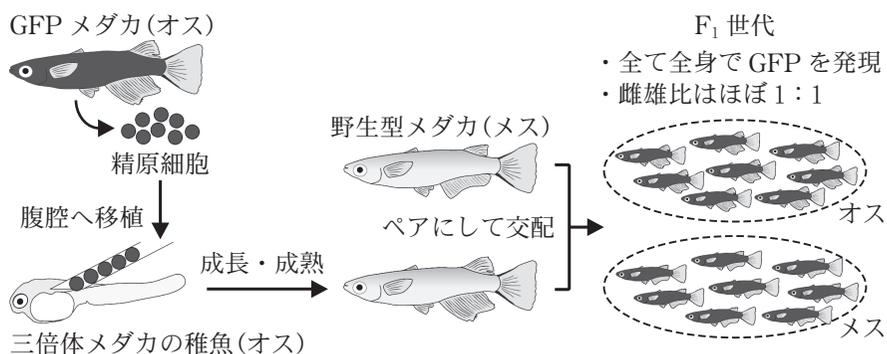


図 1

[実験 2] 実験 1 で得られた F₁ 世代のメダカのおスを無作為に 30 個体選び、メスの野生型メダカ 30 個体とペアにしてそれぞれ交配した。その結果、30 組のペアから得られた次世代のメダカは、いずれの組合せにおいても、約半数が全身で GFP を発現していた(図 2)。また、これら 30 組のペアから得られた次世代のメダカは、いずれの組合せにおいても、雌雄比がほぼ 1 : 1 であった(図 2)。

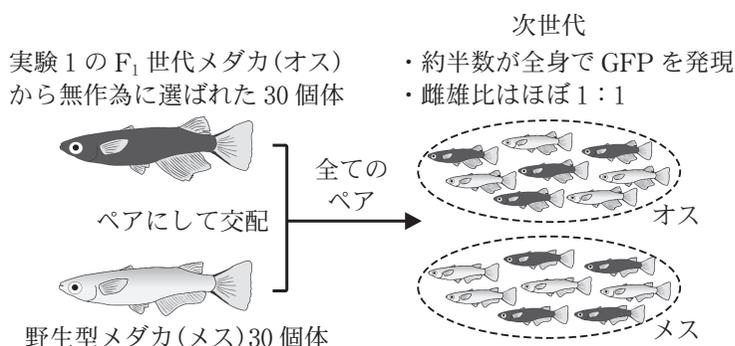


図 2

[実験 3] GFP メダカのお精巣から精原細胞を取り出し、メスの三倍体メダカ稚魚の腹腔内に移植した。その結果、メスの三倍体メダカは成熟し、産卵するようになった。続いて、このメスの三倍体メダカとお士の野生型メダカをペアにして交配した。その結果、F₁ 世代のメダカは全て全身で GFP を発現していた(図 3)。また、F₁ 世代のメダカにおける雌雄比はほぼ 1 : 3 となった(図 3)。

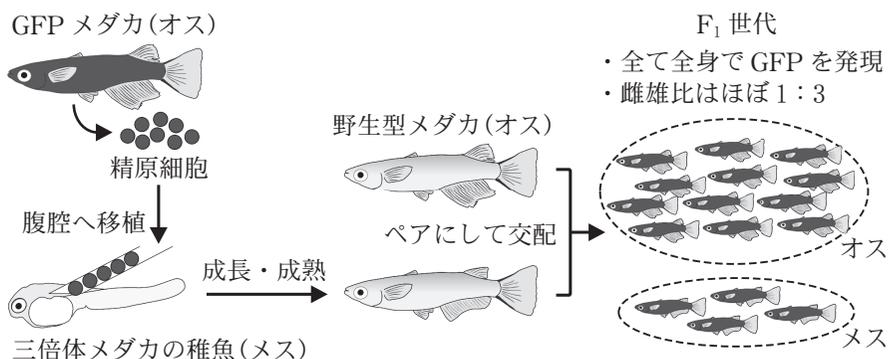


図 3

[実験4] 実験3で得られたF₁世代のメダカのおスを無作為に30個体選び、メスの野生型メダカ30個体とペアにしてそれぞれ交配した。その結果、30組のペアから得られた次世代のメダカは、いずれの組合せにおいても、約半数が全身でGFPを発現していた(図4)。また、30組のペアのうち、20組から得られた次世代のメダカの雌雄比はほぼ1:1であった(図4)。これに対して、残る10組から得られた次世代のメダカは全てオスであった(図4)。

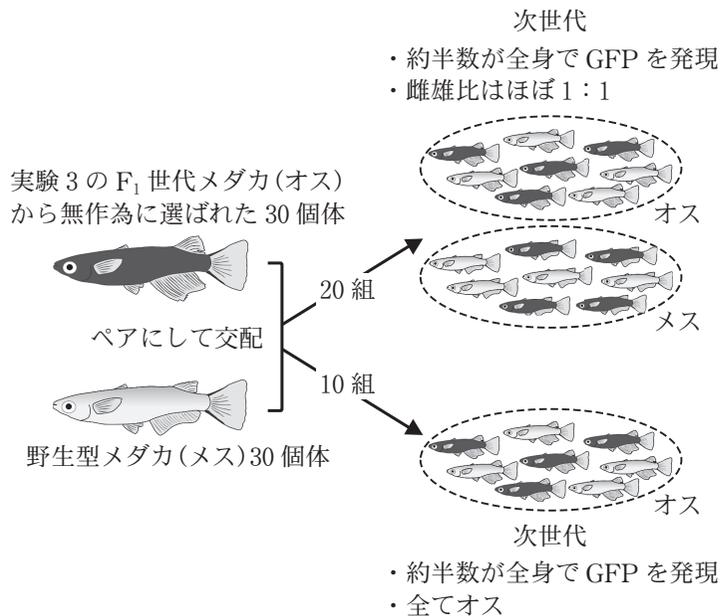


図4

- (1) 下線部(a)について、受精の際に高温処理することで三倍体化したメダカの染色体を調べたところ、父親由来の染色体を1組と母親由来の染色体を2組もっていた。この結果に基づいて、高温処理によって染色体が3組になった理由として考えられることを45字以内で答えよ。

- (2) 実験 3 において、 F_1 世代のメダカの雌雄比が実験 1 のようにほぼ 1 : 1 とならなかったのはなぜか、配偶子形成と個体発生の二つの観点から考えられる理由を 50 字以内で答えよ。
- (3) 実験 4 において、調べた 30 組のペアのうち、10 組から得られた次世代のメダカが全てオスであったのはなぜか、理由を 50 字以内で答えよ。

〔Ⅲ〕 生命の起源と光合成細菌に関する、問1と問2に答えよ。答えは解答欄に記入せよ。

問1 次の文章を読み、(1)～(6)の問いに答えよ。

約40億年前の原始海洋は、深海の熱水噴出孔のように、メタンや硫化水素、アンモニアなどが豊富に存在する環境であり、比較的分子量の小さな有機物が生成された。そして、これらの有機物を材料として、タンパク質や核酸のような分子量の大きな生体高分子が生成された。このように、無機物から単純な有機物を経て、複雑な有機物が生成した過程のことを、とよぶ。この過程によって蓄積した有機物が、さらに長い年月をかけて徐々に秩序だった構造体を形成するようになり、初期生命が誕生した。

初期生命の一部は、海に溶け込んでいた有機物を取り込み、代謝することでエネルギーを獲得し、生命活動を営んでいた。しかし、当時、海水中に存在する有機物の量はあまり多くなかったため、太陽の光エネルギーや無機物から得られるエネルギーを利用してを還元し、有機物を合成する生物も出現していた。これらの生物のなかで、最初に出現した光合成を行う細菌は、硫化水素などから電子を得て有機物を合成し、酸素を発生しないものであった。

これらの非酸素発生型の光合成細菌に対し、約27億年前に出現した藍藻(シアノバクテリア)はを分解して、酸素を発生する酸素発生型の光合成を行った。この藍藻の出現は、地球環境に極めて大きな影響を与えた。当時の地球上では酸素を利用しない嫌気性生物が支配的であり、これらの生物にとって酸素は有害な物質であった。しかし、一部の生物は酸素を利用して有機物をにまで完全に酸化する、という代謝様式を進化させた。

酸素を利用したによる有機物の代謝は、酸素を利用しない代謝よりも多くのアデノシン三リン酸(ATP)を作り出すことを可能にし、後の真核生物の出現につながった。

(1) 文章中の～に当てはまる最も適切な語句を答えよ。

(2) 生体高分子を構成するための主要元素には、下線部(a)の分子に含まれる元素と酸素以外に必須の元素がもう一つある。その元素名を答えよ。

(3) 下線部(b)について、生命が誕生するためには、「i. 自己複製を行うこと」、「ii. 代謝を行うこと」、「iii. 膜により外界と区別されること」の三つの条件を満たす必要があると考えられている。以下の文章は、i～iiiに関連する内容の文章である。それぞれの文章の下線部①～③について、誤りがあれば正しい語句を解答欄に記入せよ。誤りがなければ、解答欄に○を記入せよ。

i. RNAの中には酵素のような触媒作用をもつものがあり、RNAワールドでは、RNAが初期生命の遺伝情報を担うとともに、複製にも関与していたと考えられている。

ii. 代謝には、単純な物質から複雑な物質を合成する同化と、複雑な物質を単純な物質に分解する異化がある。根粒菌が大気中の窒素をアンモニウムイオンに変え、これをアミノ酸の成分として利用する反応は異化反応である。

iii. 脂質二重層からなる生体膜は、細胞の構造維持に必要であるだけでなく、電子伝達系を介したプロトン(H⁺)濃度勾配の形成にも必要である。この濃度勾配は、基質レベルのリン酸化によるATP合成の推進力になる。

(4) 下線部(c)について、このように外部から得られる有機物に依存して増殖する生物のことを何とよぶか答えよ。

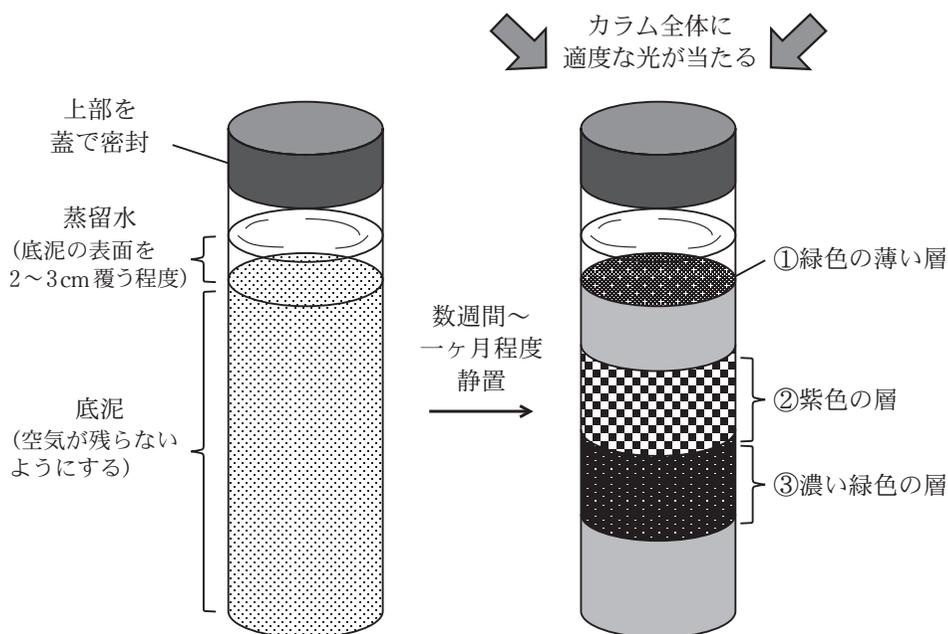
(5) 下線部(d)について、藍藻が行う光合成は当時の地球環境にどのような影響を与えたか、40字以内で答えよ。

(6) 下線部(e)について、酸素が無い条件で有機物を分解し、エネルギーを獲得する代謝様式を何とよぶか答えよ。また、この代謝様式の代表例として、解糖系で生じた中間代謝物を、ある物質「A」で還元して、エタノールや乳酸を生じるものがある。この物質「A」の名称を答えよ。

問 2 次の実験に関する文章を読み、(1)~(3)の問いに答えよ。

ある池から採取した底泥を、植物残渣等を取り除いて均一に混合し、密封可能な筒状のガラス容器(カラム)に7~8割ほど充填した(図)。次に、カラム内の泥の表面を2~3 cm 覆う程度の蒸留水を入れ、土壤中に含まれていた空気(気泡)が残っていないことを確認した。その後、外部との空気の交換が起こらないようにカラムの上部を蓋で密封し、全体に適度な光が当たる室温環境で静置した。

数週間から一ヶ月ほど経過した後、カラム内の土壤には、いくつかの層状の色調変化が確認された(図)。まず、土壤の表面付近に、緑色の薄い層(①)が生じ、そこから5~10 cm ほど下に紫色の層(②)が、そしてさらにその下に、①よりも濃い緑色の層(③)が形成された。それぞれの層に含まれる微生物の種類を調べたところ、①からは藍藻が、②からは紅色硫黄細菌が、③からは緑色硫黄細菌が主に検出された。



図

- (1) 紅色硫黄細菌と綠色硫黄細菌がともにもつ光合成色素の名称を答えよ。

- (2) この実験では、時間の経過とともに、主にカラムの最深部から硫化水素が徐々に発生するようになる。綠色硫黄細菌は、なぜ紅色硫黄細菌よりも下層に出現したと考えられるか。45字以内で答えよ。

- (3) 細菌には、光エネルギーではなく無機化合物を酸化する際に得られる化学エネルギーを用いて炭酸同化を行うものがある。このような炭酸同化を何とよぶか答えよ。

〔IV〕 細菌の細胞間コミュニケーションに関する次の文章を読み、問1～問7に答えよ。

答えは解答欄に記入せよ。

動物は自身の体内で作られた化学物質^(a)の分泌を介して、同種他個体に対して特有の行動を引き起こすことが知られている。細菌においても、細胞自身が生産する化学物質の放出と取り込みを介して、同種の細胞同士でコミュニケーションをとる機構の存在が知られている。この機構はクオラムセンシングとよばれ、*Vibrio fischeri* (以下、*V. fischeri*) という細菌における生物発光の例が有名である。*V. fischeri* では、細胞間コミュニケーションに関わる化学物質(自己誘導因子)が細胞内で生産され、細胞外へ放出される。細胞外へ放出された自己誘導因子は拡散によって再び細胞内へ入ることが知られており、細胞内の自己誘導因子の濃度は、細胞周囲の自己誘導因子の濃度に比例する。自己誘導因子の濃度がある一定以上になると、自己誘導因子が転写因子 LuxR に結合することで *lux* オペロンの転写^(b)を活性化させる。このようにして翻訳^(c)された Lux タンパク質群が、生物発光を引き起こす。細胞周囲の自己誘導因子の濃度は *V. fischeri* の細胞数と相関するため、生物発光は細胞密度依存的に起こるととらえることができる。実際に、*V. fischeri* における生物発光を引き起こすためには、ある程度の細胞集団が必要であり、クオラムセンシングとは同調した集団行動を引き起こすしくみであるといえる。クオラムセンシングの分子機構については、1980年代から関連遺伝子群のクローニング^(d)と機能解析が行われ、その詳細が明らかになった。

問1 下線部(a)について、この化学物質の総称を答えよ。

問2 下線部(b)に関連する次の文①～④のうち、適切なものを二つ選び、番号で答えよ。

- ① RNAポリメラーゼは鋳型となるDNA鎖に沿って5′から3′方向へと移動し、mRNAを合成する。
- ② RNAポリメラーゼは鋳型となるDNA鎖に沿って3′から5′方向へと移動し、mRNAを合成する。
- ③ 鋳型となるDNA鎖は、センス鎖とよばれる。
- ④ 鋳型となるDNA鎖は、アンチセンス鎖とよばれる。

問 3 下線部(c)に関連する次の文章を読み、問いに答えよ。

開始コドンから終止コドンまでの DNA の長さが 714 塩基対の遺伝子があると
する。一つのアミノ酸を運搬してペプチド鎖を伸長させるために必要な時間は、
どのコドンについても一定で 0.1 秒と仮定する。開始コドンに対応したアミノ酸
の運搬に必要な時間についても、同じく 0.1 秒と仮定する。この 714 塩基対の遺
伝子の mRNA と、翻訳に必要な酵素やアミノ酸などはすでに存在するとする。
この mRNA の翻訳において、開始コドンに対応したアミノ酸の運搬からペプチ
ド鎖の最後のアミノ酸の付加が完了するまでに必要な時間を、小数点以下一桁ま
で記せ。

問 4 下線部(d)に関連して、現在、遺伝子のクローニングには DNA 断片を増幅させ
る PCR 法がよく使用される。PCR 法に関する次の(1)と(2)に答えよ。

(1) PCR が理論的に進み、かつ鋳型となる DNA が全て PCR に使用されると仮
定する。この条件下で 2 pg の DNA 断片を PCR の鋳型として使用し、その全
長を PCR で増幅する。このとき、1 μg の DNA を得るために必要な PCR の
最小サイクル数を答えよ。なお、p は 10^{-12} 、 μ は 10^{-6} を表す接頭辞であり、
PCR に必要な材料は枯渇しないものとする。

(2) PCR では高温でも活性を保つ DNA ポリメラーゼが使用される。その理由
を 80 字以内で答えよ。

問 5 *V. fischeri* の染色体上から LuxR の遺伝子を欠損させると、どのような表現型になると考えられるか。以下の選択肢①～④から最も適切なものを一つ選び、番号で答えよ。

- ① 細胞密度にかかわらず、細胞は発光する。
- ② 細胞密度にかかわらず、細胞は発光しない。
- ③ 細胞密度が高くなると、細胞は発光を開始する。
- ④ 細胞密度が高くなると、細胞は発光を停止する。

問 6 *V. fischeri* はある種のイカと共生しており、*V. fischeri* の生物発光はイカの生存に有利にはたらくと考えられている。一方で、*V. fischeri* はイカの体内という生存するために有利な安定した環境や、栄養をイカから得ている。このような関係性を何とよぶか、漢字 4 文字で答えよ。

問 7 *V. fischeri* が共生するある種のイカは、*V. fischeri* を利用して夜間に強い発光を示す。また、このイカは、朝に大部分の *V. fischeri* を体内から排出することが知られている。この排出により、イカ体内での *V. fischeri* の発光はどのように変化すると考えられるか。起こりうる変化とそのしくみを、細胞密度と発光制御の関係を踏まえて 85 字以内で説明せよ。なお、解答欄には *V. fischeri* のことを発光性細菌と表記しても構わない。

このページは白紙です。

〔V〕 動物の発生に関する次の文章を読み、以下の問1～問5に答えよ。答えは解答欄に記入せよ。

動物の発生では、上皮細胞から構成されるシート構造が変形することにより、複雑な三次元構造が形成される。

例えばカエルの発生では、原腸が形成された胚における背側の外胚葉性の上皮の一部から **ア** が形成される。その後、**ア** の中央が正中線に沿ってへこみ、さらに両端がひだ状に隆起して繋がることで、正中線に沿って筒状の **イ** が形成される。**イ** の前方部分^(a)は脳になり、脳の一部は左右に膨らんで **ウ** になる。左右に伸長してきた **ウ** と接した表皮は、プラコードとよばれる肥厚した上皮構造になる。プラコードが誘導された後、**ウ** は中央がへこんで **エ** になり、プラコードは **エ** と共に胚の内部に陥入する。その後、**エ** は網膜に分化し、プラコードは表皮から分離して **オ** に分化する。^(b)

また、ショウジョウバエの発生では、胞胚における腹側の上皮が正中線に沿って胚の内部に陥入することにより、中胚葉が形成される。この将来中胚葉になる上皮の陥入^(c)に関わる遺伝子として、遺伝子Aが同定されている。^(d)

問1 文章中の **ア** ～ **オ** に当てはまる最も適切な語句を答えよ。

問2 下線部(a)に関して、ヒトの脳のうち、間脳、中脳、延髄の機能として最も適切なものを次の①～⑤から一つずつ選び、番号で答えよ。また、間脳、中脳、延髄を含む脳の領域の名称を漢字2文字で答えよ。

- ① 体の平衡を保つ中枢
- ② 自律神経系の中枢
- ③ 呼吸運動、血液循環の中枢
- ④ 感覚や随意運動の中枢
- ⑤ 眼球運動の制御の中枢

問 3 下線部(b)に関して、プラコードを構成する細胞(プラコード構成細胞)では、プラコードが胚の内部への陥入を始める前から、遺伝子 *B* と遺伝子 *C* が発現している。遺伝子 *B* からはタンパク質 *D* が、遺伝子 *C* からはタンパク質 *E* が合成される。以下の実験 1 と実験 2 の結果に基づき、遺伝子 *B* と遺伝子 *C* の機能として考えられることを 70 字以内で答えよ。また、実験 1 でタンパク質 *E* とともに収縮領域に集積していた細胞骨格として最も適切なものの名称を答えよ。

[実験 1] 陥入過程にあるプラコードにおいて、タンパク質 *D* とタンパク質 *E* の細胞内での分布、およびプラコード構成細胞の形態を調べた。その結果、タンパク質 *D* は核内に集積していた。一方で、タンパク質 *E* は、ある細胞骨格とともに、プラコード構成細胞の胚の表面側に集積していた(図 1)。また、プラコード構成細胞の胚の表面側は、陥入前よりも収縮していた。

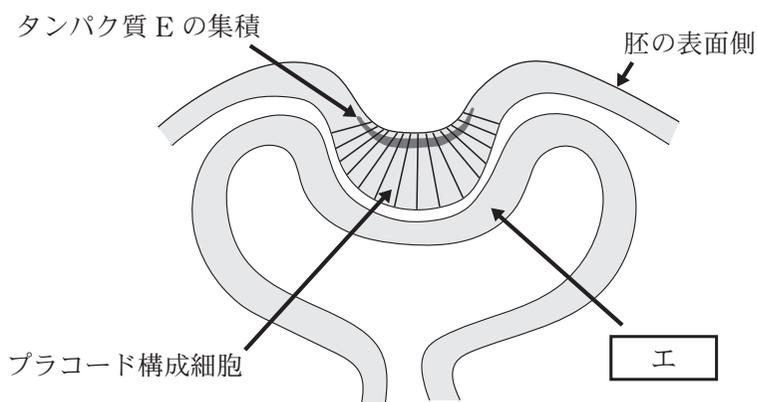


図 1

[実験 2] プラコードで組織特異的に遺伝子 *B* を欠損させたところ、プラコードの陥入が著しく阻害された。このとき、プラコード構成細胞では、野生型のプラコード構成細胞と比較して、胚の表面側は収縮していなかった。また、遺伝子 *B* を欠損させたプラコード構成細胞では、遺伝子 *C* からの転写産物が検出されなかった。

問 4 下線部(c)に関して、ショウジョウバエの発生における遺伝子の発現調節について正しく述べた文章を次の①～⑤から全て選び、番号で答えよ。

- ① ショウジョウバエの未受精卵では、前半分にビコイド mRNA が、後ろ半分にナノス mRNA が母性因子として均一に分布している。これらの mRNA から翻訳されたタンパク質が前後軸に沿って濃度勾配を作ることで、分節遺伝子の発現が調節される。
- ② 分節遺伝子の発現は、母性因子による調節に始まり、ギャップ遺伝子群、ペアルール遺伝子群、セグメントポラリティ遺伝子群の順に段階的に調節される。
- ③ 体節ごとに特有の器官の形成は、ホメオティック遺伝子群により調節される。
- ④ ホメオティック遺伝子群から翻訳されたタンパク質はホメオボックスとよばれる互いによく似たアミノ酸配列をもっており、このホメオボックスと他の調節タンパク質が複合体を形成することにより機能する。
- ⑤ ホメオティック遺伝子群のうち、アンテナペディア遺伝子群は頭部と腹部の特徴づけに関与し、パイソラックス遺伝子群は胸部の特徴づけに関与する。

このページは白紙です。

問 5 下線部(d)に関する次の文章を読み、(1)と(2)の問いに答えよ。

ショウジョウバエ胚の腹側領域では、遺伝子 *A* の転写は、2 種類のエンハンサー(遺伝子の転写活性を高める DNA 上の調節領域)である *X* と *Y* によって調節される。これらのうち、エンハンサー *X* の方が *Y* よりも強い転写促進作用をもつことが知られている。発生過程における各エンハンサーの機能を調べる目的で、エンハンサー *X* または *Y* を遺伝子 *A* のプロモーター *P* と連結させた DNA 断片を作製した。そして、そのいずれかを導入し、トランスジェニックショウジョウバエを作製した。組み込んだ DNA 配列では、プロモーター *P* の下流にレポーター遺伝子 *R* が挿入されており、このレポーター遺伝子 *R* からの mRNA 産生量の時間の経過に伴う変化は、単一細胞レベルで測定可能である(図 2)。また、プロモーター *P* によるレポーター遺伝子 *R* の転写の調節は、プロモーター *P* による遺伝子 *A* の転写の調節を再現することが知られている。以下の(1)と(2)の実験では、トランスジェニックショウジョウバエ胚の腹側領域におけるレポーター遺伝子 *R* からの mRNA の産生量を測定した。

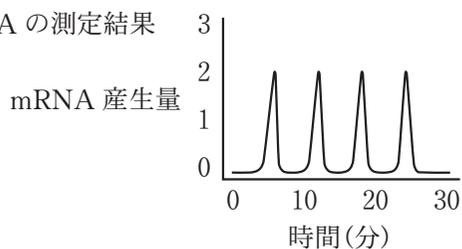
(1) 図 2 の実験 A と実験 B では、エンハンサー *X* または *Y* をプロモーター *P* から約 7,500 塩基対離れた位置に連結させた場合のレポーター遺伝子 *R* からの mRNA の転写量を測定した。その結果は、それぞれ図 2 の実験 A と実験 B の測定結果に示されている。さらに、両実験の測定結果から mRNA の総産生量を算出したところ、図 3 に示す結果が得られた。一方で、エンハンサーを欠損した DNA 断片を組み込んだトランスジェニックショウジョウバエでは、レポーター遺伝子 *R* からの転写は起こらなかった。これらの結果から、エンハンサー *X* と *Y* がどのように遺伝子 *A* からの転写を促進するのか、ならびにエンハンサー *X* の方がエンハンサー *Y* より強い転写促進作用を示すしくみについて、考えられることを次の【 】内に示した語句を全て用いて 6 行以内で答えよ。

【持続時間, 頻度】

実験 A



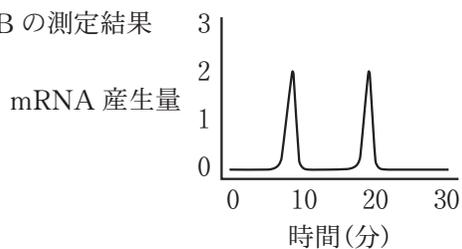
実験 A の測定結果



実験 B



実験 B の測定結果



実験 C



実験 C の測定結果

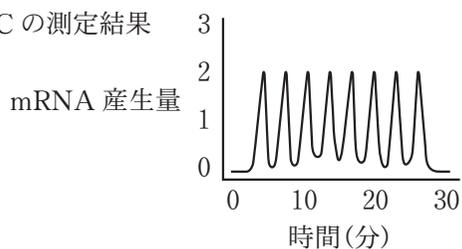


図 2

mRNA 産生量の
総和(相対値)

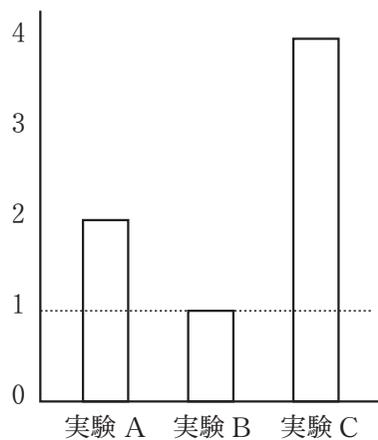


図 3

(2) 図2の実験Cでは、エンハンサーXをプロモーターPから約1,000塩基対離れた位置に連結させた場合のレポーター遺伝子RからのmRNAの転写量を測定した。その結果は、図2の実験Cの測定結果と図3に示されている。これらの結果から、エンハンサーXとプロモーターPとの距離は、エンハンサーXによる転写調節にどのような影響を及ぼすと考えられるか、実験Aと実験Bの結果を踏まえて、60字以内で答えよ。

このページは白紙です。

このページは白紙です。