

試験問題(記述式)——理 科(生物)

(注意) 解答はすべて別紙解答用紙の定められた欄に書くこと。

1 次の文章を読んで以下の設問に答えよ。

生物の生殖には無性生殖と有性生殖とがあるが、有性生殖を行う生物の方がはるかに多い。では、なぜ進化の過程で多くの生物が有性生殖を選んだのだろうか？

ヒトの性は、X 染色体が 1 対存在すると女性になり、X 染色体と Y 染色体が存在すると男性となる。このような性決定様式は XY 型と呼ばれる。これに対し、トンボや(ア)は XX 染色体だと雌に、X 染色体 1 つだけだと雄になる。この性決定様式は(イ)と呼ばれる。これら以外にも生物によって性決定様式は異なる。この染色体の違いが性の分化にどのように繋がるのだろうか。ヒトの場合、Y 染色体上に存在する(ウ)遺伝子が発生 8 週齢頃に性腺原基を精巣形成へと誘導する。この遺伝子が無ければ、8 週齢頃には変化がなく 12 週齢頃に自動的に性腺原基は卵巣形成へと分化する。性腺原基は(ウ)遺伝子がなければすべて卵巣に誘導されると考えられている。性腺が決まると、それぞれの性腺から男性ホルモンまたは女性ホルモンが分泌され、内性器や外性器が男性型か女性型へ誘導される。近年、ヒトを含めた高等生物では、雄様行動をとるか、雌様行動をとるか、を決める脳にも男性脳と女性脳のあることが解ってきた。ヒトでは発生 20 週齢頃から、男性ホルモンがあれば男性脳へ、無ければ女性脳へと分化すると考えられているが、未だわからないことも多い。

ここまでは新生児の性分化に過ぎず、このままではまだ生殖機能は作動できない。思春期前頃になると、脳下垂体前葉から(エ)が、副腎皮質からホルモン DHEA* が、それぞれ分泌量を増加し生殖機能を育成・発達させる。女兒では 12 歳前後に初潮が、男児では 14 歳前後に精子成熟がなされ、生物学的には一応生殖可能となる。それでもまだ、社会学的には未熟である。

生物学的段階だけでも、生殖機能が成熟するまでにこれだけ多くの過程が必要であり、これら細部のどこか一つでも不成功におわると正常な生殖機能は果たせない。これほど複雑になってまでも、進化の過程で有性生殖が選ばれてきたのは、次の 2 つの生物学的に重要な使命を果たすためであると考えられている。1 つは、(オ)分裂時に(カ)を起し、配偶子遺伝子に多様性を持たせること、また、2 つ目は、個体一生の間に放射線やフリーラジカルなどによる障害を受けた DNA を(オ)分裂によって棄却し、DNA の若返りを果たすことである。ここに、「有性」の生物学的意義が認められ、進化の過程で優勢に至った理由がある。

(注：*DHEA: Dehydroepiandrosterone、デヒドロエピアンドロステロン)

問 1 文中の下線部(a)の「無性生殖」にはどのようなものがあるか、3 つ答えよ。

問 2 文中の空欄(ア)内に入る生物を下記より 1 つ選択せよ。

(あ) カイコガ (い) ショウジョウバエ (う) バッタ (え) メダカ (お) ヘビ

問 3 文中の空欄(イ)～(カ)内に適切な語句を記入せよ。

問 4 文中の下線部(b)について、女性の器官名を 2 つ挙げよ。

問 5 文中の下線部(c)について、男性の器官名を 2 つ挙げよ。

問 6 文中の下線部(d)は、女性配偶子の場合、どの段階でこの分裂を完了するのか述べよ。

問 7 文中の下線部(e)に示された「多様性」について、(カ)を起こさないとすると母サイドで作られる配偶子の染色体の組み合わせはヒトの場合理論上何通りあるか。

2 次の文章を読んで以下の設問に答えよ。

駅で停車中の電車に乗り、窓から向かいの電車を見ていると、向かいの電車が発車したのに、自分の乗っている電車が逆方向に発車したと感じ、ハッとするときがある。これは視覚に関する錯覚である。飛行機の離陸時に飛行機自体の離陸角度より高い角度で離陸したとを感じる。これは離陸時の加速度による錯覚である。戦闘機パイロットが戦闘訓練中、いろいろな方向へ機体の旋回を繰り返すと、旋回運動で生じる加速度が加わり、空間におけるパイロット自身の位置・方向・姿勢を正確に認識できないときがある。ヒトの空間における位置・方向・姿勢を司る感覚に視覚、平衡感覚、(ア)等が存在する。

平衡感覚は内耳に存在する前庭と(イ)で司る。前庭は平衡感覚のうち体の傾きを感じる機能を持ち、(イ)の基部の膨らんだ部分に位置し、内部には感覚毛を持った有毛細胞の上に(ウ)でできた平衡石(耳石)が乗っている。体が傾き始めると、平衡石が動き、続いて感覚毛が動いて有毛細胞を刺激する。一方、(イ)は前庭につながる半円状の管で、3個の(イ)が直交する面に配置されている。(イ)は前庭と異なる平衡感覚を持ち、半円状の管の中で(エ)が流れることにより有毛細胞が刺激され、体の回転を感知する。

この2つの平衡感覚器から出された情報は眼球の動きと連動することがよく知られている。例えば、ヒトが椅子に座った状態で不意に頭を水平方向に回転させられる(椅子を回転させる)と、内耳の(イ)がその回転を感知し、情報が脳幹の神経系に伝達され、眼球は頭の回転と逆方向に回転し、視線の方向を対象物体に対して一定に保つ。これを図1のごとくに詳しく示すと、頭が左へ水平回転する(水平面上で反時計回り)と、左内耳に存在する3個の(イ)のうちの1つである水平方向の回転を感知する(イ)の有毛細胞が反応し、(オ)ニューロンが興奮する。(オ)ニューロンはAニューロン(図1-A)に興奮性に結合し、ニューロン活動を(カ)させる。Aニューロンには興奮性と抑制性のものがあり、(キ)性のAニューロンは反対側(右側)のBニューロン[図1-B、眼球を外側に動かすC筋(図1-C)を支配する]に結合し、ニューロン活動を(ク)させる。また、(ケ)性のAニューロンは同側(左側)のBニューロンに結合し、ニューロン活動を(コ)させる。さらに反対側(右側)の(キ)性Bニューロンは同側(左側)のDニューロン[図1-D、眼球を内側に動かすE筋(図1-E)を支配する]に結合し、ニューロン活動を(サ)させる。同側(左側)の(ケ)性Bニューロンは反対側(右側)のDニューロンに結合し、ニューロン活動を(シ)させる。右内耳の(イ)の刺激による各々のニューロン反応と協調して、両眼球はともに右に回転する。

上記はもっとも単純化された平衡感覚と眼球運動の連動であるが、現実には様々な要素が混在し複雑である。近年、油井宇宙飛行士が国際宇宙ステーションに長期滞在するなどしたおりには地上では有り得ない環境のため、空間における位置・方向・姿勢の平衡障害が生じている。

問1 文中の(ア)～(シ)に適切な語句を記入せよ。ただし、(カ)(ク)(コ)(サ)(シ)には増加あるいは減少の語句が入る。

問2 文中の下線部(a)はなぜ起こるのか、その理由を答えよ。(20字以内)

問3 文中の下線部(b)の1つである骨格筋内に存在し、ヒトの体の姿勢に関連する受容器の名称は何か。また、このような受容器を何受容器と呼ぶか。(各々5字以内)

問4 文中の下線部(c)に関して3つの問いに答えよ。

(1) 次の文中の空欄(ス)～(ツ)に適切な語句を記入せよ。(イ)(エ)(オ)は本文中のものと一致する。

図2は有毛細胞と(オ)ニューロンの活動電位について示し、有毛細胞と(オ)ニューロンの神経終末との間の伝達はシナプス伝達である。(イ)内の(エ)の移動により感覚毛の生えている面に水平な力で不動毛から動毛の方向に感覚毛が屈曲されるとき、(エ)内に存在する(ス)イオンの有毛細胞内流入によって有毛細胞に(セ)が起こり、有毛細胞は(ソ)を起こす。この(ソ)によって(タ)イオンが有毛細胞内に流入し、細胞内に存在する(チ)から神経伝達物質が放出される。逆向きの屈曲では(ツ)をきたす。このようにして(オ)ニューロンに活動電位が生じる。

(2) (1)の文章を参考にして、図2のFとG部の破線内に活動電位を書き込み、(オ)ニューロンの活動電位図を完成させよ。

(3) (2)のような情報の変換を何と呼ぶか。

問5 文中の下線部(d)に関して2つの問いに答えよ。

(1) 右内耳の(イ)の刺激によるBニューロン(図1-B)の反応について、左・右側のBニューロン活動、左側のDニューロン(図1-D)と右側のC筋(図1-C)に対する作用を答えよ。(各々10字以内)

(2) 右内耳の(イ)が障害を受け、機能しないヒトでは、椅子に座った状態で不意に頭を左へ水平回転させると、両眼球の動きはどのようになるか。(10字以内) また、理由を答えよ。(20字以内)

問6 文中の下線部(e)に関して左側の(イ)の反応から得られるニューロン活動は両眼球を右回転させるためにどのように作用しているか。(20字以内)

問7 文中の下線部(f)の回転を一定時間持続した後、回転を急に止めると、体の回転が持続している様に感じる。その理由を述べよ。(20字以内)

問8 文中の下線部(g)に関して「油井宇宙飛行士」が国際宇宙ステーションに到着した直後の平衡感覚に及ぼす影響について推測せよ。(20字以内)

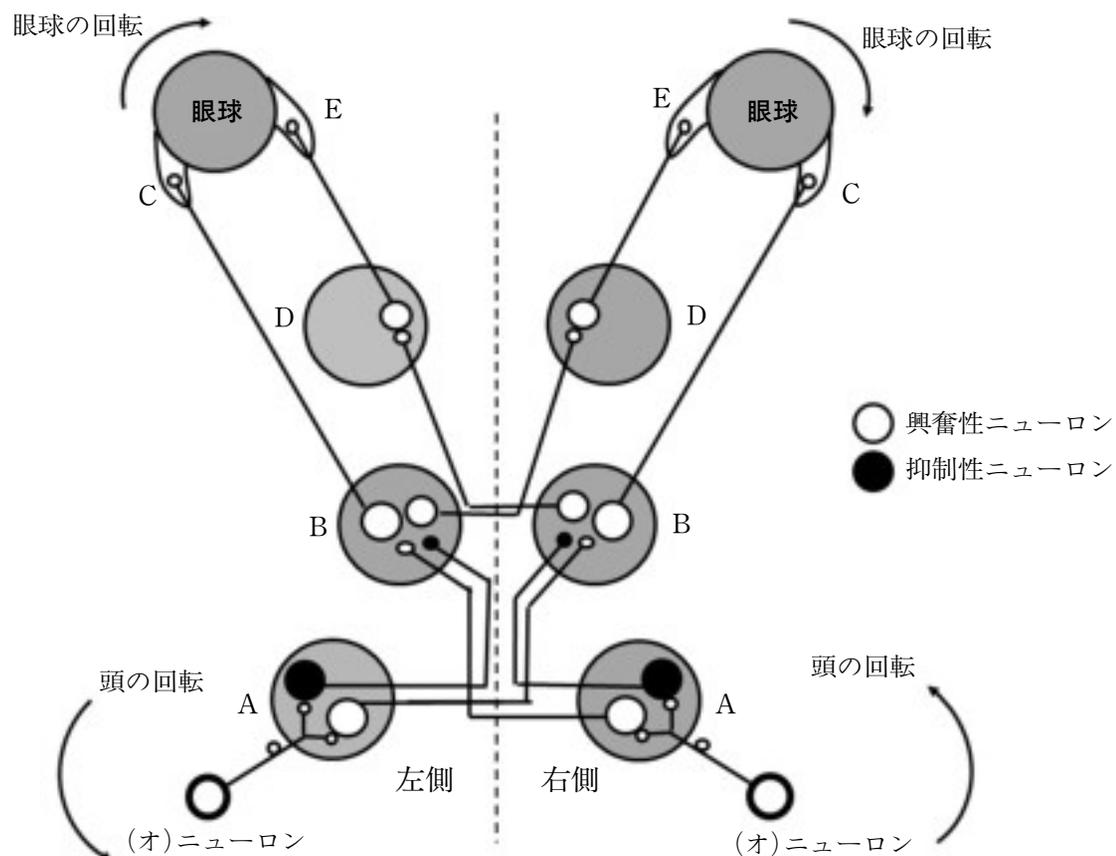


図1 頭が左へ水平回転するときのニューロン反応と眼球の動き (上からみた図)

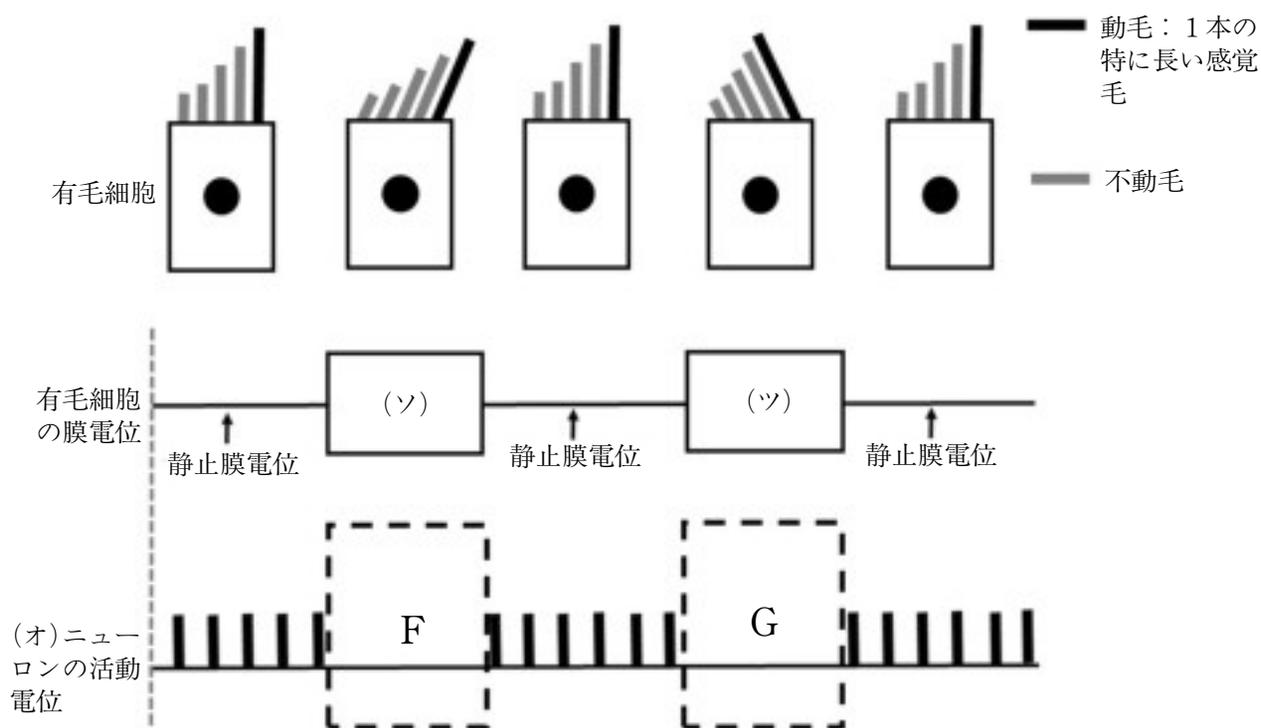


図2 有毛細胞と(オ)ニューロンの活動電位

3 次の文章を読んで以下の設問に答えよ。

被子植物では、種子の発芽により新しい芽が発生し、新たに光合成を始めるまで、栄養と環境の両面から胚発生を支える様々な工夫が見られる。重複受精により胚を栄養する細胞が作られ、また種子や果実の形成が胚発生と同時に進行する。図1に示すように、被子植物の胚珠内の^(a)(ア)は不等分裂を行い、大きさの異なる基部細胞と頂端細胞になる。大きな基部細胞は一方方向の分裂を繰り返して胚柄となり、母体植物から胚に栄養を運ぶ通路を作る。また基部細胞由来の細胞のうち、胚に接する部位の細胞のみが胚の一部に取り込まれ、将来根端の^(b)静止中心や平衡細胞(コルメラ細胞)となり、根端の伸長に重要な役割を果たす。一方、小さな頂端細胞は、盛んに分裂して胚の大部分を形成するようになる。胚発生では、茎頂と根端を結ぶ上下の方向性(頂端-基部軸)が決定し、成長のための茎頂分裂組織と根端分裂組織が形成される。胚形成が進む間、重複受精で(ア)とともに生じた(イ)細胞は分裂し栄養を蓄えた(イ)を形成する。胚珠の珠皮は種子を覆う堅い(ウ)となり種子の中味を保護する。また果実を作る植物種では、胚珠を囲んでいた子房壁は果実の(エ)となる。種子成熟の最後に栄養に囲まれた胚は休眠に入り、次世代の植物体を育む準備が整う。

土中に蒔かれたエンドウなどの双子葉植物の種子は、吸水により膨張し(ウ)が破れ、休眠により停止していた代謝が活性化して成長が再開される。発芽で最初に種子から出てくる(オ)は重力屈性により地中を下向きに伸長し、横方向にも枝分かれを作って芽生えのための力の支えとなる。続いて大きな(カ)の着いた、芽生えの先端である(キ)を物理的障害から保護しつつ土中から持ち上げるため、図2のように胚軸部分が鉤状に屈曲した形(フック)が形成され、まずフックが土を押し分けて地上に出現する。成長とフックの巧みな組み合わせにより大きな(カ)が地上へ引き上げられると、^(c)光の刺激によりフックはまっすぐになり、2枚の(カ)が上を向いて開いて(キ)が現れる。本葉が形成され光合成が開始されると、^(d)ここまでの発芽と成長を栄養し支えてきた(カ)はしなびてしまう。こうして新しい世代の植物体の本格的な成長が始まる。

問1 文中の(ア)~(オ)に適切な語句を記入せよ。

問2 文中の(イ)(ウ)(カ)の組織の核相を n 、 $2n$ 、 $3n$ のいずれかで答えよ。またこの中で重複受精の花粉に由来する染色体を含む組織を全て選び、記号で答えよ。

問3 下線部(a)について、図1はシロイヌナズナの胚発生の模式図である。ただし、()内の記号は本文中のものと一致する。図中の部位(イ)(オ)(カ)(キ)の説明として適切なものを以下の(あ)~(え)より選び記号で答えよ。

- (あ) 茎頂分裂組織を含む。
- (い) 根端分裂組織を含む。
- (う) 発芽から光合成の開始までの間に使われる栄養を蓄えている。
- (え) 胚発生に使われる栄養を蓄えているが、発芽前に急激に消費され縮小する。

問4 下線部(b)の「静止中心」の組織の特徴と根端伸長における働きを簡潔に答えよ。(40字以内)

問5 下線部(c)について、マメ科の植物の発芽で(カ)と(キ)が地上に出るメカニズムを明らかにするための実験を行った。地上に現れた胚軸の表皮組織に小さな目印 x (■)を固定した。(カ)と胚軸(白い部分)の境界線を m (矢印)、フックの曲部中央の位置を c (★)とした。芽の成長に伴う、 x 、 m と c の位置関係の変化を、同じ時間間隔の時点 t_1 、 t_2 、 t_3 で追跡すると、図2のような結果となった。

- (1) x ~ m 間の距離の時間変化より判明することを簡潔に答えよ。(20字以内)
- (2) x と c_1 、 c_2 、 c_3 の位置関係を見ると、フックの位置は(カ)(キ)の近傍に保たれ、実際に屈曲している組織は芽の成長と共に徐々に変化していることが示された。もし屈曲する組織が t_1 から変化しなかった場合、 t_3 での芽の状態を予想し模式図を描け。そのとき x 、 m_3 と c_3 の位置を明確に描き入れること。
- (3) (2)の予想を踏まえ、芽生えを地上に出す上で、フックの位置を(カ)(キ)の近傍に保つ利点を説明せよ。(100字以内)

問6 下線部(d)について、発芽したマメ科の植物に光を当てずに育て続けるモヤシで予想される形態的特徴を2つ述べよ。

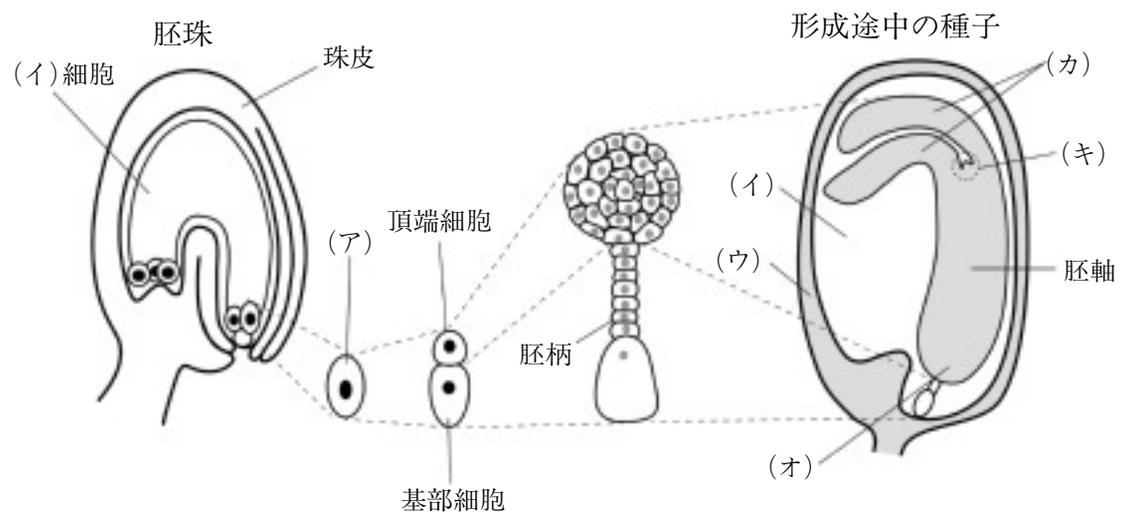


図1 シロイヌナズナの胚発生

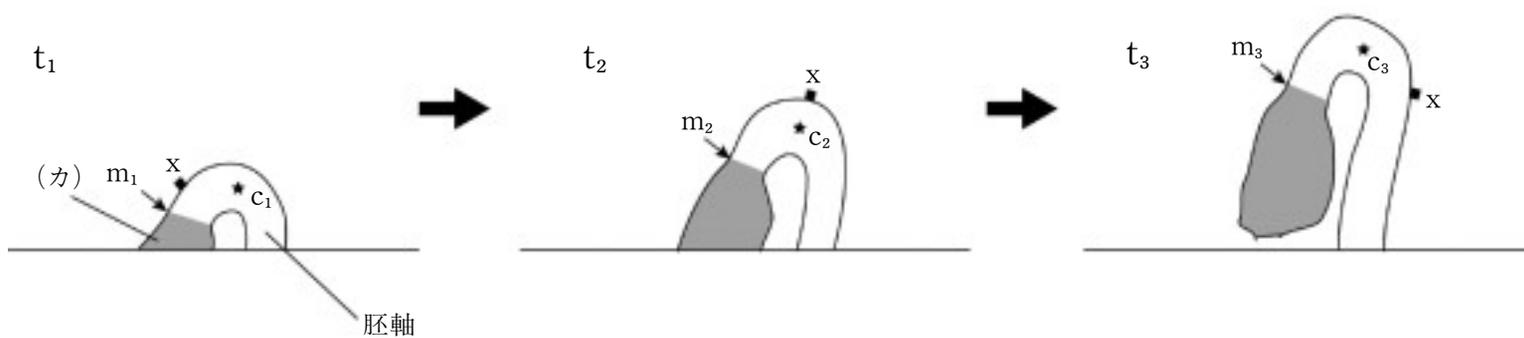


図2 双子葉植物（マメ科）の発芽の経時観察

4 次の文章を読んで以下の各設問に答えよ。

生物の遺伝的な変異は、突然変異によって生ずる。突然変異には、DNA の塩基配列に変化が生ずるものと、染色体の数や構造に変化が生ずるものがある。生殖細胞の染色体や DNA に突然変異が生ずると、それが受精を通して次世代に伝えられる。生物の集団の遺伝を考えるとき、その遺伝子頻度に関する考え方は、以下に示す3つがよく知られている。

通常、遺伝子に突然変異が起きた個体(変異型)は生存していくのが不利になることが多く、ほとんどの場合、子どもを産む年齢に達する前に死んでしまうか、子どもを産んでもその系統は数世代のうちに絶えてしまう。しかし、まれに変異型が生き残り、野生型よりも子どもを多く残すことがある。このような状況では、変異型が集団全体に拡がることになる。その結果、これまでは野生型で占められていた集団が、変異型で占められるようになる。このように、生存や繁殖に及ぼす影響が対立遺伝子間で異なる場合、相対的に生存に不利な対立遺伝子が消えていったり、相対的に有利な対立遺伝子が集団内に広まったりすることを(ア)という。このような考え方は、チャールズ・ダーウィンによって提唱された。

ある地域に生息する同種の集団内に存在するすべての対立遺伝子を(イ)と呼ぶ。(ア)とは無関係に、個体にとって有利でも不利でもない突然変異が(イ)のなかで起こることがある。同じ生物集団内で特定の対立遺伝子の遺伝子頻度が、偶然性に左右されて変動する現象を(ウ)というが、この(ウ)の現象によって、有利でも不利でもない突然変異の形質が集団内に定着することがある。このような考え方は(エ)として木村資生によって提唱された。

ところで、いま集団内に A と a の2つの対立遺伝子があるとしよう。このとき、対立遺伝子 A の遺伝子頻度を p 、対立遺伝子 a の遺伝子頻度を q とすると、 $p+q=1$ である。この集団が作る次世代の個体群では $(pA+qa)^2 = p^2AA+2pqAa+q^2aa$ となり、遺伝子型の割合は $AA:Aa:aa=p^2:2pq:q^2$ となる。この世代の対立遺伝子 A の頻度は $p^2+pq = p(p+q) = p$ 、対立遺伝子 a の頻度は $pq+q^2 = q(p+q) = q$ となり、遺伝子頻度の割合は $A:a = p:q$ なので前世代と同じになる。対立遺伝子の遺伝子頻度が世代を経ても変化しない集団は遺伝子平衡の状態にある。これは、ハーディー・ワインベルグの法則として知られている。

問1 空欄(ア)~(エ)に当てはまる適切な語句を記せ。

問2 突然変異のうち、下線部(a)に示された「DNA の塩基配列に変化が生ずるもの」の名称を3つ記せ。

問3 突然変異のうち、下線部(b)に示された「染色体の数や構造に変化が生ずるもの」の名称を3つ記せ。

問4 下線部(c)に示された(ア)の例として、オオシモフリエグシャクの工業暗化が知られている。どのような要因が働いて工業暗化が起きたか。(1)環境変化、および(2)捕食者との関係の変化について説明せよ。(各50字以内)

問5 下線部(d)に示された(ウ)の具体的な事例として、アメリカ先住民の血液型はO型が多いことが知られている。これは、約2万5千年前から約1万年前の氷期に陸続きであったベーリング海峡を渡ってユーラシア大陸からアメリカ大陸に移動した祖先の小集団で、O型のヒトの割合が多くなったためと考えられている。このように、移動などによって大きな集団から少数の個体が離れて新しい集団を形成する場合、その過程で新しい集団の遺伝子頻度は元の集団のものと大きく異なったものになることがある。この現象を何と呼ぶか。

問6 下に示すように、あるタンパク質を構成するアミノ酸の1個を指定する mRNA の塩基配列の一部(四角囲み)が、DNA の突然変異によって変化することがある。下線部(e)の木村資生によって提唱された(エ)によれば、このような突然変異は形質に現れないので、生存にとって有利にも不利にも働かない。その理由は何か。表1の遺伝暗号表を参考にして、関連するアミノ酸の名称を含めて答えよ。(30字以内)

mRNA の塩基配列の一部



野生型

変異型

問7 下線部(f)に示したハーディー・ワインベルグの法則が、ある生物集団において成り立つ条件はいくつかある。そのうちの2つを記せ。

| | | 2 番目の塩基 | | | | | |
|---------|---|--|--|---|--|------------------|---------|
| | | U | C | A | G | | |
| 1 番目の塩基 | U | UUU } フェニル UUC } アラニン UUA } ロイシン UUG } | UCU } UCC } セリン UCA } UCG } | UAU } チロシン UAC } UAA } (終止コドン) UAG } | UGU } システイン UGC } UGA (終止コドン) UGG トリプトファン | U C A G | 3 番目の塩基 |
| | C | CUU } CUC } ロイシン CUA } CUG } | CCU } CCC } プロリン CCA } CCG } | CAU } ヒスチジン CAC } CAA } グルタミン CAG } | CGU } CGC } アルギニン CGA } CGG } | U C A G | |
| | A | AUU } AUC } イソロイシン AUA } AUG } メチオニン (開始コドン) | ACU } ACC } ACA } ACG } トレオニン | AAU } アスパラギン AAC } AAA } リシン AAG } | AGU } セリン AGC } AGA } アルギニン AGG } | U C A G | |
| | G | GUU } GUC } バリン GUA } GUG } | GCU } GCC } GCA } GCG } アラニン | GAU } アスパラギン酸 GAC } GAA } グルタミン酸 GAG } | GGU } GGC } グリシン GGA } GGG } | U C A G | |

表1 遺伝暗号表

