

日本生物学オリンピック 生物チャレンジ 2010

第22回国際生物学オリンピック(台湾大会)

代表選抜試験 第1部(記述式理論問題)

2011年3月26日(土) 10:30~12:30

注 意

1. 各問題文を読んで、題意に沿った解答を、文章(指定された場合は図、表)によって解答しなさい。
2. 解答は、問題ごとに指定された解答用紙に記入しなさい。字数制限は特にありません。
3. 学術用語は、日本語又は英語で正しく用いなさい。
4. 解答時間は、2時間とします。
5. 解答用紙の各ページの上に、問題番号、受験番号、氏名を記入しなさい。
6. 問題は全部で6問あり、その中には小問がいくつかあります。
問題は、7ページです。
7. 問題冊子は試験終了後持ち帰って下さい。

受験番号

氏 名

第1問 細胞生物学に関連する以下の問に答えよ。

問1 私たちは、体内に取り込んだ食物から異化反応によってエネルギーを取り出して生命活動に使っている。しかし、必要以上に食べた場合には、余剰のエネルギーを体内に脂肪の形で蓄えてしまう。たとえ、脂肪を含まない糖を大量に摂取しても、体内には脂肪が蓄積する。生体高分子の中で、特に脂肪が蓄積する理由を代謝の観点から説明せよ。

問2 光合成の反応は



と記述される。この時、光合成で発生する O_2 は、 CO_2 由来ではなく、 H_2O 由来であることが知られている。これが明らかになるきっかけとなったのは、どのような光合成反応が発見されたからだろうか、説明せよ。

また、光合成で CO_2 から糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)を合成する反応は、複雑な酵素反応である。酵素反応は可逆的で、どちらの方向にも進行することが可能であるが、光合成による糖の生産は、通常は、上の式のように右矢印、すなわち一方向にしか進行しないように記述されている。その理由はなぜだろうか、説明せよ。

問3 細胞がシグナルを受容し伝達する経路は、通常、受容段階、変換段階、応答段階の三つの段階からなっている。このうち、変換段階は、通常、さらに複数の段階で構成されていることが多い。その理由としてどのようなことが考えられるか、説明せよ。

(第1問終わり)

第2問 進化に関する以下の問に答えよ。

問1 以下の文章を読んで設問に答えよ。

生物の進化は、微視的には集団の遺伝子プールにおける遺伝子頻度の世代間の変化と定義することが可能である。仮想的な集団が^(A)ある条件を満たすとき、^(B)世代を重ねても遺伝子頻度が変化しない状態となり、すなわち集団の進化はおきない。

- (1) 下線部(A)のある条件とはどのようなものであるか、5つの条件を答えよ。
- (2) 下線部(B)の状態はなんと呼ばれるか。

問2 以下の文章を読んで設問に答えよ。

ある対立遺伝子において、ある対立遺伝子を他の対立遺伝子と比較した次世代の遺伝子プールへの寄与は(ア)と呼ばれる。集団を構成する個体間で表現型に(イ)があり、その結果、集団が置かれた環境下で(ア)が個体間で異なると次世代の遺伝子頻度が変化する。これは(ウ)による進化が生じたことになる。(ウ)による進化は、^(C)集団中のどんな表現型がより適応的であるかにより、対立遺伝子の頻度分布を変化させる3つの異なる様式が知られている。

(ウ)は不利な遺伝子型を淘汰することによって 遺伝的変異を減少させる。その一方で^(D)遺伝的変異を維持し増大させるメカニズムも存在する。

- (1) ア～ウに適切な言葉を入れよ。
- (2) 下線部(C)の3つの様式について、それぞれ名称と、その結果起きる集団内の表現型頻度の変化を答えよ。
- (3) 下線部(D)のメカニズムについて、例をあげて説明せよ(突然変異と遺伝子流動以外を答えよ)。

(第2問終わり)

第3問 減数分裂に関する以下の文を読み、問1～3に答えよ。

有性生殖に先立ってみられる減数分裂を通常の体細胞分裂と比較したとき、両者に共通の現象もみられる一方で、減数分裂に特有の現象もいくつかみられる。例えば、分裂期に入る前に染色体(DNA)の複製が起こることは共通であるが、減数分裂では分裂期(第一分裂の前期)に(A)相同染色体の対合がみられ、さらにその二価染色体の(B)相同染色体間で交叉(乗換え)が起こる。また、第一分裂の後期では、通常の体細胞分裂の場合のように複製した染色体(染色分体)が分離するのではなく、相同染色体が分離する。従って、体細胞分裂のように(C)染色分体を分離するために、続く第二分裂が必要となる。その結果、染色体数が $2n$ から n に半減された細胞が形成されるとともに、半数性(n)細胞間での遺伝子型も多様化する。

問1 下線部(A)について、次の(1)～(3)の事象を基に、考えられる機構を述べよ。

- (1) 対合した相同染色体間に存在するタンパク質(対合を開始し、安定化するタンパク質)は、生物種ごとに異なるが、同一種ではどの染色体も同じである。
- (2) 異種間の受精で生じる雑種では、減数分裂時に対合がみられず、不稔(子孫ができない)になる。
- (3) 3倍体($3n$)の減数分裂では、3つの相同染色体が対合した三価染色体がみられる。

問2 下線部(B)について、次の(1)～(3)の事象を基に、考えられる機構とその意義を述べよ。

- (1) 交叉に必要な遺伝子は、酵母菌、イネ、ユリ、マウス、ヒトの間で非常によく似ている。
- (2) 交叉に必要な遺伝子がつくるタンパク質の多くは、DNAの分解や結合に関する酵素である。
- (3) 交叉した点(キアズマ)は、染色体ごとに複数個存在する。

問3 下線部(C)について、次の(1)～(3)の事象を基に、減数分裂での考えられる機構を述べよ。

- (1) 減数分裂の第一分裂で、対合や交叉が起こらなかった染色体(一価染色体)は、後期で染色分体を分離できない。
- (2) 半数体(n)の減数第一分裂では、染色分体を分離しない。
- (3) 通常の体細胞分裂中期では、それぞれの染色体に2個の動原体が形成され、後期に一斉に分離するとともに、染色分体間の接着も解かれる。

(第3問終わり)

第4問 細胞膜の構造と機能に関する以下の文を読み、問1～3に答えよ。

細胞膜は脂質とタンパク質からできている。脂質は、1つの分子の中に親水性と疎水性の部分をもつ両親媒性分子である。脂質だけからなる膜は疎水性の層があるためにイオンなどの荷電した分子は通しにくい。しかし、膜を貫通する形で存在するタンパク質が、特定のイオンの選択的な透過や、イオンの濃度勾配に逆らう輸送などに働いている。多くの細胞では膜を介して内と外に電位差(静止電位)が生じており、神経細胞などでは刺激を受けると活動電位が生じる。膜タンパク質によるイオンの選択的透過と輸送はこれらの現象の基礎となっている。

問1 脂質を水にたらし、分子が親水性の部分を水の側に、疎水性の部分を空中に向けて水面に並ぶ。分子が向きをそろえて一層に並んだこの膜を単分子膜という。1925年にゴーターとグレンデルは、一定数の赤血球から脂質を残らず取り出してつくった単分子膜の面積と、赤血球の形と数から割り出した細胞の総表面積を比較した。これら2つの面積のおよその比はどのようになったか。また、そう考える理由を、細胞膜の構造と関連させて説明せよ。ただし、膜内のタンパク質の存在は考えないこととする。

問2 文中の下線で示した、特定のイオンを選択的に透過させる膜タンパク質、イオンを輸送するタンパク質をそれぞれ何というか。また、膜を介して濃度勾配に逆らう輸送を何というか。

問3

- (1) 微小電極を神経細胞に挿入して静止電位を測定すると、電位差は数十mVになる。細胞外電位をゼロにしたとき、細胞内電位はプラス・マイナスどちらの値になるか。
- (2) 細胞が静止状態にあるとき、膜は K^+ を通しやすいことがわかっている。細胞外液の K^+ 濃度を徐々に上昇させると、膜の電位差はどのように変化するか。以下の中から1つ選び、その理由を説明せよ。

- a. 大きくなる b. 変わらない c. 小さくなる

(第4問終わり)

第5問 脊索と神経管の分化に関する以下の文を読み、問1～3に答えよ(図は次のページ)。

両生類胚の神経胚に相当するニワトリ胚は図1で表される。神経管の直下に脊索がある。神経管の中には、種々のニューロン(神経細胞)が分化するが、その領域は大体決まっている。例えば、運動ニューロンは神経管の脊索に接した部分から少し離れた領域に分化する(図ではⓂと表されている)。その仕組みを調べるために以下の実験が行われた。

- (1) 脊索を除去した胚では運動ニューロンは分化しなかった。
- (2) 脊索を神経管の背側に移植したところ、運動ニューロンは神経管の背側にも分化した(図2)。
- (3) 脊索を神経管の腹側から少し背側の所に移植すると、運動ニューロンは図3に示した領域に分化した。
- (4) 脊索ではある遺伝子(Sとする)が発現している。同じ遺伝子は神経管の脊索と接している領域でも強く発現している。S遺伝子の産物であるSタンパク質は、分泌性のタンパク質である。
- (5) 脊索を除去した胚では、神経管におけるS遺伝子の発現も消失した。
- (6) Sタンパク質を染みこませた小さいスポンジを、図2や3の移植された脊索と同じ位置に移植すると、接した部分でS遺伝子が発現し、脊索の移植と同様の領域に運動ニューロンが分化した。

問1 脊椎動物以外に脊索をもつ動物の名前を2つあげよ。ただし、完全な種名でなくても、一般名でもよい。

問2 脊椎動物の脊索は、発生が進むとどうなるか、以下のA～Eから一つ選び解答せよ。

- A. 椎骨(脊椎骨、背骨)に分化する。
- B. 体節に分化する。
- C. 神経管と合体して中枢神経系を構成する。
- D. 細胞が分散して体中に移動し、種々の細胞に分化する。
- E. 多くの場合退化する。

問3 実験(1)～(6)に基づいて、運動ニューロンが神経管の特定の領域に分化する仕組みはどのように説明できるか、考えを述べよ。

(第5問終わり)

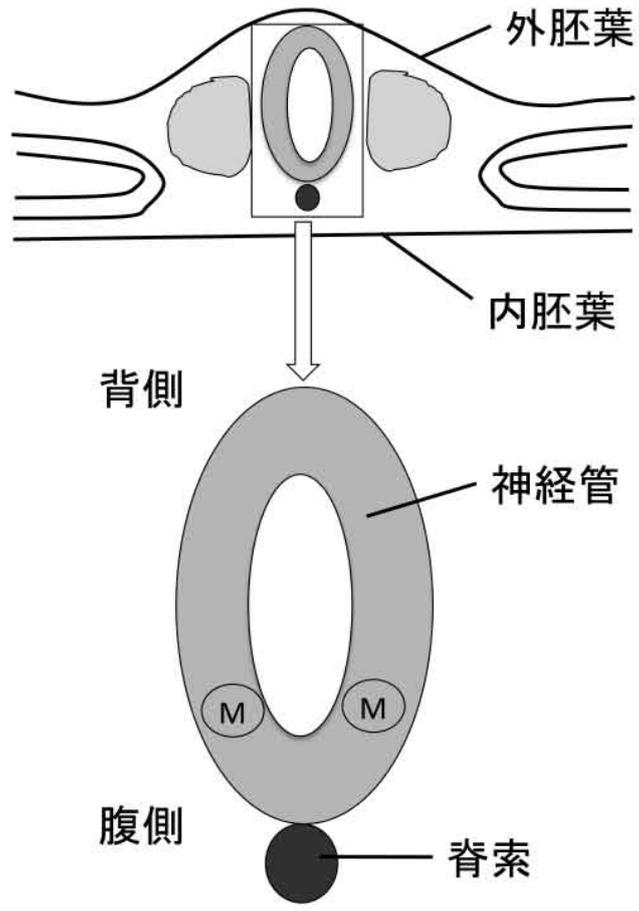


图 1

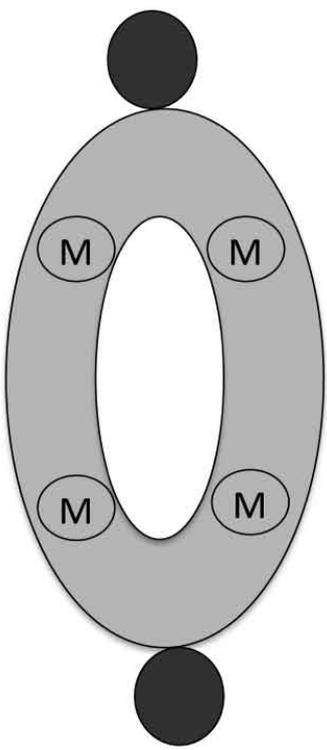


图 2

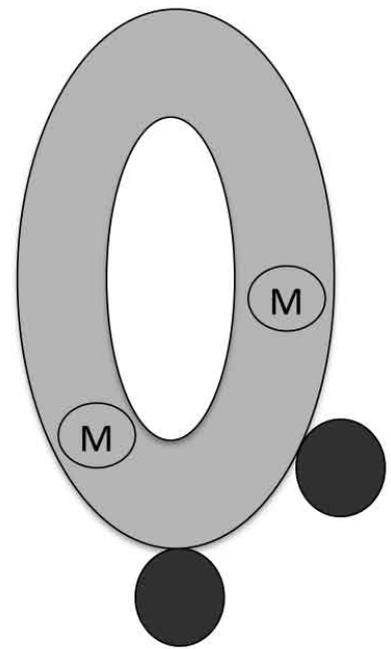


图 3

第6問 海洋の生態系に関する以下の文を読み、問1～3に答えよ。

近年の研究によると、地球上の植物による純一次生産量の半分近くは、海洋において行われている。植物プランクトンの増殖には、炭素の他に、生物体を構成する種々の有機物を合成するために窒素やリンなどの栄養素が必要となるが、(A)海水中の栄養素の濃度は、一般に光合成が行われる浅い層の海水中においては低く、逆に深い層では高い。このため浅い層に存在する栄養素の量が、植物プランクトンの増殖の制限要因となっている場合が多い。海域による植物プランクトンの現存量や生産量の差は、主として深い層に存在する栄養素の浅い層への輸送されやすさの違いと関係している。(B)熱帯や亜熱帯のような浅い層の海水温度が高い海域では、植物プランクトンの現存量や生産量は、他の海域に比較して低い。

海流などの影響により、深い層から浅い層に向かって海水の流れが生じている湧昇域ゆうしょうと呼ばれる海域では、植物プランクトンの現存量や生産量は多い。また、湧昇域では大型の植物プランクトンが主な生産者であり、小型の植物プランクトンが主な生産者である非湧昇域とは対照的である。(C)このような湧昇域では、魚類の現存量も多く、良い漁場として知られている。

問1 下線部(A)について、栄養素がこのような濃度変化を示す理由について説明せよ。

問2 下線部(B)について、熱帯・亜熱帯での植物プランクトンの現存量・生産量が低い原因について説明せよ。

問3 下線部(C)の原因として、湧昇域では植物プランクトンの生産量が高いことに加えて、植物プランクトンが大型であることがあげられる。植物プランクトンの大きさの違いが、魚類の現存量に影響する理由について、栄養段階の数の面から説明せよ。

(第6問終わり)