

理 科

〈監督者の指示があるまで開いてはいけない〉

1. 出願時に選択した2科目について、解答を別紙の解答用紙に記入しなさい。
2. 選択していない科目の解答用紙は問題配布後に回収します。
3. 試験開始後、まず解答用紙に自分の受験番号と氏名を正しく記入しなさい。
4. 試験開始後、速やかに問題冊子に落丁や乱丁がないか確認しなさい。
落丁や乱丁があった場合は、手を挙げなさい。
5. 下書きや計算は問題冊子の余白を利用しなさい。
6. 記入中でない解答用紙は必ず裏返しにしておきなさい。
7. 問題冊子は試験終了後、持ち帰ってもよい。
ただし、試験途中には持ち出してはいけない。

問 題 目 次

物 理	1	～	5	ページ
化 学	6	～	14	ページ
生 物	15	～	24	ページ

生 物

1. 遺伝情報に関する各問いに答えよ。

I. 体細胞の分裂では、娘細胞に同じ遺伝情報をもたせるため、事前の DNA 複製が必要である。

真核細胞における複製では、DNA ア によって二重らせんが開かれ、それぞれのヌクレオチド鎖を鋳型にして相補的な新しいヌクレオチド鎖(新生鎖)が合成される。この半保存的複製において、新生鎖の合成は DNA ポリメラーゼが担う。DNA ポリメラーゼは5'→3'方向にヌクレオチド鎖を伸ばす働きをもつが、何もない状態から DNA を合成することはできない。そのため、最初は別の酵素によりプライマーという短い RNA が合成され、その後、プライマーの3'末端^①を起点にして、新生鎖が合成される。鋳型鎖は二重らせんが開かれていく方向に1本は3'→5'の向き、もう1本は5'→3'の向きとなる。3'→5'の向きのヌクレオチド鎖を鋳型とする場合は、連続した新生鎖を5'→3'方向に合成する。この新生鎖を イ 鎖とよぶ。一方、5'→3'の向きのヌクレオチド鎖を鋳型とする場合は、岡崎フラグメントとよばれる短い DNA 断片をいくつも合成する。こちら側の新生鎖を ウ 鎖とよぶ。複製直後に分断されている新生鎖は、DNA エ によって結合されて1本のヌクレオチド鎖となる。

DNA ポリメラーゼは鋳型に相補的でない間違った塩基を取り込む場合があり、これを複製エラーという。DNA ポリメラーゼには間違った塩基を取り除く機能があり、複製エラーは速やかに修正される。これを校正機構とよぶ。この校正機構をすり抜けた複製エラーは不適合な塩基対(ミスマッチ)を形成する。このミスマッチも複製直後に見つけられ、そのほとんどが修復される。このように複製時の間違いが残存する割合は非常に低く抑えられるが、複製エラーがすべて修復されるわけではない。また、DNA は特定の化学物質や放射線のような変異原によって絶えず損傷している。細胞はそのような損傷を修復する機構ももつが、修復されずに残る場合もある。修復できなかった複製エラーや損傷は突然変異としてゲノムの塩基配列を変えるが、ヒトゲノムではタンパク質に翻訳される塩基配列は全配列の数%程度なので、突然変異の多くは細胞の機能に影響を与えない。^②^③

問 1. ア～エの に入る適切な語句を次の a～h から選び、記号で答えよ。

- a. センス
- b. ラギング
- c. リガーゼ
- d. カタラーゼ
- e. ヘリカーゼ
- f. アンチセンス
- g. オキシダーゼ
- h. リーディング

問 2. 下線部①のプライマーは DNA プライマーゼによって合成される。DNA プライマーゼは校正機構をもたず、DNA ポリメラーゼよりもエラーを起こしやすい。しかし、このプライマー配列中の間違った塩基は細胞の機能には影響を与えない。その理由を説明せよ。

問 3. 下線部②に関して、ヒトの DNA ポリメラーゼは、1 万塩基あたり 1 塩基の割合で相補的でない間違った塩基を取り込むが、校正機構によって 99 % が修復され、さらに残ったミスマッチもその 99.9 % がその後に修復されとする。この割合をもとに、ヒトゲノムの大きさを 30 億塩基対として、ヒトの体細胞分裂で生じる娘細胞 1 つに含まれるエラーの総数を答えよ。

問 4. 下線部③に関して、タンパク質に翻訳されない塩基配列の突然変異でも細胞の機能に影響を与える場合がある。どのような場合か一例を述べよ。

II. 生物の遺伝暗号は3つの塩基の並び(コドン)で形成されている。コドンが指定するアミノ酸は、ニーレンバーグとコラーナのそれぞれの研究グループによって1960年代に解読された。彼らは、大腸菌の破碎液にエネルギー源、tRNA、アミノ酸を加えたタンパク質合成系を用い、これに単純な繰り返し配列をもつ人工RNAを加えてペプチド鎖を合成させ、そこに取り込まれたアミノ酸を解析することで遺伝暗号を解明した。

この大腸菌破碎液のタンパク質合成系を再現し、そこに以下のような人工RNAを加えた実験1～3を行った。これらの実験では、同位体標識したアミノ酸と非標識のアミノ酸を組み合わせた混合液(アミノ酸混合液)を用いて、どのアミノ酸が合成されたペプチド鎖に取り込まれるかを調べた。アミノ酸混合液には、指定がない限りタンパク質を構成する20種類のアミノ酸がすべて入っている。今回の実験では、3個以上のアミノ酸がつながったペプチド鎖が解析可能であり、ペプチド鎖中にアミノ酸がどのような順番で並んでいるかはわからない。なお、破碎液の事前処理により、大腸菌由来の「DNA, mRNA, アミノ酸」は、完全に除かれている。また、 Mg^{2+} 濃度の調整によって、ペプチド鎖の合成には開始コドンが必要としない。

RNA配列のAはアデニン、Gはグアニン、Cはシトシン、Uはウラシルを示し、左を5'末端、右を3'末端とする。

実験1

Aだけからなる人工RNAによって合成されるペプチド鎖には、リシンのみを取り込まれていた。

実験2

ACの繰り返しからなる人工RNAによって合成されるペプチド鎖には、ヒスチジンとトレオニンの取り込みがみられた。タンパク質合成系に加えるアミノ酸混合液からヒスチジンを除いた場合、もしくはトレオニンを除いた場合は、ともにペプチド鎖は合成されなかった。

実験3

AACの繰り返しからなる人工RNAによって合成されるペプチド鎖には、トレオニンとアスパラギンとグルタミンの取り込みがみられた。タンパク質合成系に加えるアミノ酸混合液から、アスパラギンとグルタミンの両方を除いてもペプチド鎖は合成された。また、トレオニンとグルタミンの両方を除いた場合やトレオニンとアスパラギンの両方を除いた場合においてもペプチド鎖は合成された。

問 5. 実験 1～3 の結果から、次の(1)と(2)のコドンが指定するアミノ酸を答えよ。

(1) ACA

(2) CAC

問 6. 実験 1～3 の結果だけでは、AAC と CAA が指定するアミノ酸が分からない。そこで新たに 10 個のヌクレオチドからなる 6 種類の人工 RNA を用意して実験を追加した。条件は実験 1～3 と同じであるが、アミノ酸混合液から特定のアミノ酸を除くことはできない。用意した次の a～f の人工 RNAの中から、AAC または CAA が指定するアミノ酸の同定に有効なものをすべて選び、記号で答えよ。

a. AAACAAAAAA

b. AACAAACAAA

c. AAAAAACACA

d. CACAAAAAAA

e. ACACACAAAA

f. ACAACAACAA

問 7. 1 種類の遺伝暗号は 1 種類のアミノ酸しか指定できないという前提で考えると、1 つの塩基(1 文字暗号)もしくは 2 つの塩基の順列(2 文字暗号)の数では 20 種類のアミノ酸の指定に足りないが、3 つの塩基の順列(3 文字暗号)は $4^3 = 64$ で 20 種類を満たすことができる。同様に 4 つの塩基の順列(4 文字暗号)も $4^4 = 256$ のため、アミノ酸を指定する数としては十分である。実験 1～3 のそれぞれの結果は、4 文字暗号の可能性を否定するものであるだろうか。理由とともに答えよ。

2. ウニ・カエル・ショウジョウバエの発生を比較した以下の文章に関する各問いに答えよ。

受精卵の分裂を ア とよぶ。ショウジョウバエの ア の時期には核分裂のみが連続して起こるのに対して、ウニやカエルの ア の時期には核・細胞質を含めた細胞分裂が^①起こる。ショウジョウバエの発生では胞胚腔が形成されないが、ウニやカエルの発生では胞胚腔が形成される。ウニの場合、植物極側の細胞の一部が胞胚腔の内部へと遊離していくことで イ を形成する。また、残った植物極側の細胞は ウ を陥入位置とする原腸を形成して、エ 由来の消化管上皮となる。一方でカエル胚の イ は原腸が陥入する際に ウ よりも動物極側にある細胞集団が巻き込まれるようにして形成されていく。この細胞集団はタンパク質Xを分泌し、裏打ちされた外胚葉は神経へと分化する。カエルでは消化管よりも背側に中枢神経が分化するが(図1)、これはタンパク質Xの濃度が胚の腹側よりも背側で高いことに影響されている。タンパク質Xを分泌する細胞自身は脊索に分化し、さらに周囲の細胞を体節などの組織へと分化させる オ としてはたらく。ショウジョウバエ胚においては、^③タンパク質Xにアミノ酸配列の似たタンパク質Yが存在し、どちらも細胞外に分泌されて別のタンパク質に結合し、機能を発揮する。タンパク質Yの濃度が高いのは胚の腹側であり、胸部や腹部では消化管よりも腹側に神経が分化する(図2)。

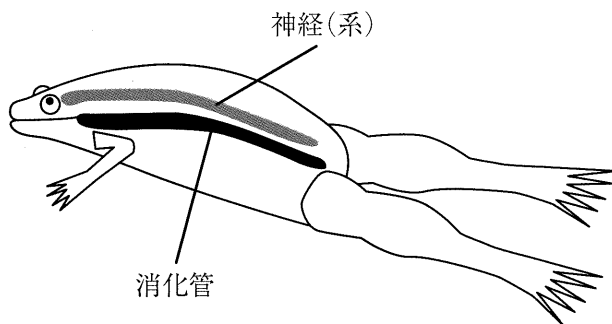


図1 カエルの体制(一部)

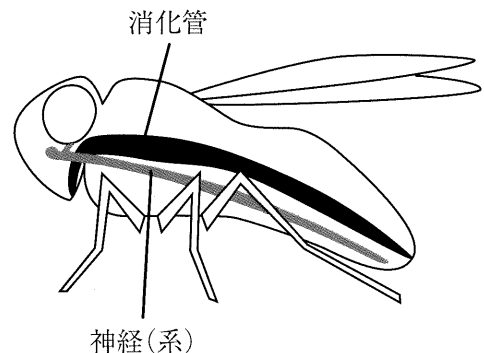


図2 ショウジョウバエの体制(一部)

問 1. ア～オの に入る適切な語句を答えよ。

問 2. 下線部①について、受精卵から 8 細胞期までの特徴として正しいものを次の a～e からすべて選び、記号で答えよ。

- a. 部分割である。
- b. 相同染色体どうしの対合が起こる。
- c. 動物極・植物極がまだ決まっていない。
- d. 通常の体細胞分裂よりも細胞周期が短い。
- e. 1 細胞あたりの細胞の体積は分裂するたびに減少する。

問 3. ウニとカエルの発生では、 ア のしかたが異なっている。何が異なるか述べよ。また、何に影響されてその違いが生じるかを簡潔に説明せよ。

問 4. 下線部②について、 エ の組織からの働きかけが イ の形成に重要であることが分かっている。このことを示すには、胞胚中期の両生類胚を用いたどのような培養実験を組み立てればよいか。簡潔に述べよ。

問 5. 下線部③について、タンパク質 X と Y とが機能的に似ているかどうかを検証する実験を行った。ショウジョウバエのタンパク質 Y をコードする遺伝子の mRNA を人工的に合成し、カエル胚の腹側割球に注入したところ、その後、二次胚が観察された。どのようなしくみで二次胚が形成されたと考えられるか述べよ。

問 6. タンパク質 X と Y に共通する特徴のひとつは、多数のシステインがポリペプチドの N 末端側と C 末端側に偏って存在する点である。システインの数や分布は X と Y の両ポリペプチドでほとんど完全一致しているが、他のアミノ酸にはこうした特徴が無い。これらのタンパク質でシステインが果たす役割について述べよ。

3. 運動に関する各問いに答えよ。

骨格筋は動物の筋組織に属し、おもに腱を介して骨とつながり、収縮・弛緩によって骨格を動かす。骨格筋は筋繊維とよばれる細長い多核の細胞が束状に集まって形成される。筋繊維の中には多数の筋原繊維が束になって集まっている。筋原繊維の成分としてアクチンフィラメントとミオシンフィラメントがある。筋原繊維を顕微鏡で観察するとしま模様が認められるため、横紋筋ともよばれる。横紋筋には骨格筋と がある。

運動ニューロンの神経終末と筋繊維は を形成しており、運動ニューロンの興奮は を介して筋繊維へ伝わる。筋繊維の細胞膜の興奮は、筋繊維の細胞膜が落ち込んだ構造物である を通じて、細胞内の筋原繊維を包んでいる に伝わる。この興奮の到達によって の膜に存在するカルシウムチャネルが開口し、 Ca^{2+} が細胞質に放出される。放出された Ca^{2+} がアクチンフィラメント上にある と結合すると、アクチンとミオシン頭部が結合できるようになり、その後、アクチンフィラメントが滑走して筋繊維が収縮する。

筋繊維内の ATP は、数秒間の筋収縮でなくなる程度の量しかない。それにもかかわらず、骨格筋組織が運動におけるエネルギー要求に素早く応答できるのは、骨格筋組織では という形でエネルギーを貯蔵しているからである。マラソンのような長時間の運動になると、貯蔵エネルギーでも不足し、呼吸によるエネルギー産生が必要となる。また、その際、筋組織のグルコースや酸素が不足しないように自律神経系と内分泌系による調節が重要な役割を担う。例えば、血中のグルコースが消費されて血糖値が低下すると、 にある血糖調節中枢が刺激されて複数のホルモンの分泌が促される。酸素の消費で血中の二酸化炭素濃度が高まると、心拍数が増加し、血流を介した筋組織への酸素供給が増える。この心拍数の増加は 神経の作用による。

夏場などに激しい運動をすると、高体温になることがある。近年、熱中症予防のための指標として、 気温(乾球温度)よりも湿球黒球温度(WBGT)の活用が推奨されている。WBGT(℃)は屋外の場合、「 $0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$ 」の式から導かれる。湿球温度は湿度を反映した温度、黒球温度は輻射熱(電磁波によって伝わる熱)を反映した温度である。日本スポーツ協会は、WBGT が 31℃以上の場合、熱中症予防の観点から運動を原則中止すべきとしている。

問 1. ア〜クにおいて に入る適切な語句を答えよ。

問 2. 下線部①に関して、筋収縮で筋原繊維が短縮しても長さが変わらないものはどれか。次の a〜e の中からすべて選び、記号で答えよ。

- a. 明帯の幅
- b. 暗帯の幅
- c. サルコメアの幅
- d. アクチンフィラメントの長さ
- e. ミオシンフィラメントの長さ

問 3. 下線部②に関して、ミオシン頭部とアクチンの間で滑り力が発生するのはどのタイミングか。次の a〜e の中から 1 つ選び、記号で答えよ。

- a. ミオシン頭部に ATP が結合する時
- b. ミオシン頭部とアクチンが解離する時
- c. ミオシン頭部とアクチンが結合する時
- d. ミオシン頭部の ATP が加水分解される時
- e. ミオシン頭部からリン酸と ADP が解離する時

問 4. 下線部③で分泌される 3 種類のホルモンを A, B, C とする。A〜C の解答欄に、

- (1) ホルモンの名称,
 - (2) (1)を分泌する組織の名称(分泌する細胞が明確な場合は細胞の名称),
 - (3) (2)に直接作用して(1)の分泌を促す神経またはホルモンの名称,
- をそれぞれ答えよ。

問 5. 下線部④のように運動時には高体温になりやすい。その理由を答えよ。

問 6. 熱中症予防の指標として、乾球温度よりも WBGT の方が推奨される(下線部⑤)のはなぜか。その理由をヒトの体温調節の視点から述べよ。

4. 気孔に関する各問いに答えよ。

I. 約4億年前、陸上に進出した植物は、防水性の 層で体表面をおおうことで過酷な環境から植物体を守るとともに、ガス交換のための気孔を表皮に発達させた。気孔の開き具合(開度)は、環境刺激に応答して調節されており、おもな環境刺激には光、CO₂濃度、乾燥ストレスなどが挙げられる。気孔は太陽光下で開口してCO₂の取り込みを促進し、葉から を行うことで根からの水や無機養分の取り込みを促す。気孔が光に反応して開くことは1898年に発見され、その後、青色光が気孔の開口に有効であることが明らかとなった。孔辺細胞に青色光があたると、H⁺の輸送により孔辺細胞の内部の電位が低下し、それに応答してカリウムチャネルが開く。孔辺細胞にK⁺が蓄積すると、 圧が上昇して水が取り込まれ、気孔が開口する。孔辺細胞の細胞壁は内側(気孔側)が , 外側が ため、孔辺細胞に水が流入すると細胞全体がわん曲することで気孔が開く。

気孔の開閉はCO₂濃度によっても調節を受ける。CO₂が の反応で消費されると、気孔が開く。一方、植物は乾燥ストレスにさらされると、植物ホルモンである に応答して気孔を閉鎖し、植物体からの水分損失を防ぐ。

問 1. ア～キの に入る適切な語句を答えよ。

問 2. 次のa～fのうち、気孔を持たないものをすべて選び、記号で答えよ。

- a. イネ
- b. ワカメ
- c. ワラビ
- d. クロマツ
- e. シャジクモ
- f. シロイヌナズナ

問 3. 下線部において、孔辺細胞に存在する青色光受容体を次のa～fより選び、解答欄Ⅰに記号で答えよ。また、同じ受容体に関与する植物の気孔開閉以外の反応を解答欄Ⅱに1つ答えよ。

- a. カロテン
- b. ロドプシン
- c. クロロフィル
- d. フィトクロム
- e. フォトリポシン
- f. クリプトクロム

Ⅱ. 青色光による気孔開口を分析するため、気孔が閉じた状態のソラマメの葉を用いて次の実験 1～3 を行った。

実験 1

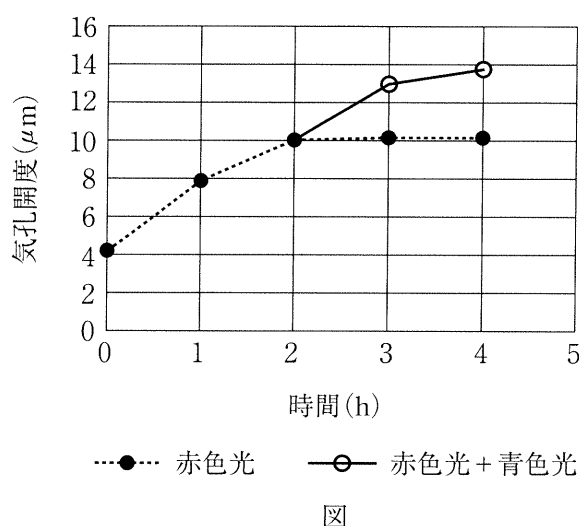
葉から表皮を剥離した。この表皮に強光度の赤色光を継続して照射し、気孔開度の経時的な変化を調べた。実験結果は図の破線である。なお、気孔開度が大きいほど、気孔が開いていることを示している。

実験 2

実験 1 と同じ条件で剥離した表皮に強光度の赤色光を継続して照射し、照射 2 時間後から青色光を重ねて照射して気孔開度の経時的な変化を調べた。実験結果は図の実線である。比較のため、強光度の赤色光の照射 2 時間後から赤色光の強度をさらに高める実験を行ったところ、実験 1 の 2 時間以降と同じ結果を得た。

実験 3

孔辺細胞の細胞壁を酵素処理によって取り除くことで、孔辺細胞プロトプラストを作成した。暗所から取り出したプロトプラスト懸濁液に赤色光を連続照射すると、懸濁液の pH が ク になったが、しばらくするとその値は一定化した。その懸濁液に青色光を重ねて照射すると懸濁液の pH は ケ になった。



問 4. 実験 1 と 2 の材料として、葉全体ではなく剥離した表皮を使った理由を述べよ。

問 5. 実験 1 において、高強度の赤色光を継続して照射した理由を述べよ。

問 6. 実験 2 の結果からどのようなことがわかるか、考察せよ。

問 7. 実験 3 の文章のクとケの に入る適切な語句を解答欄Ⅰに、その理由を解答欄Ⅱにそれぞれ答えよ。

