

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、試験途中では持ち出してはいけない。

問 題 目 次

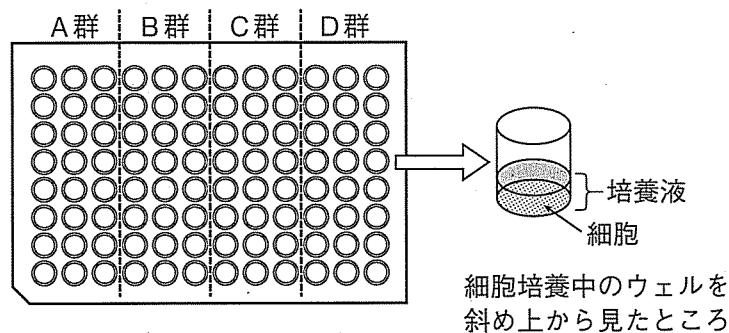
物 理	1	～	5	ページ
化 学	6	～	14	ページ
生 物	15	～	27	ページ

生 物

1. 代謝とエネルギーに関する各問いに答えよ。

I. 真核生物の細胞は、有機物を段階的に分解することでATPを生成する。たとえば、グルコース1分子を基質とした呼吸によって最大38分子のATPが生じる。この内、基質レベルのリン酸化によるものは 分子であり、残りは リン酸化によって生成される。また、呼吸の反応系は真核生物の祖先にあたる細胞に が取り込まれて したことで現在の構成に至ったと考えられている。このような真核細胞の代謝の状態を解析するため、次の実験を行った。

材料と方法 96個のウェルとよばれる独立した円形の培養領域(底面積 0.32 cm^2)を配置した培養プレート(下図)の各ウェルに 1×10^4 個のマウス筋細胞を含む培養液 0.1 mL を入れ、最適な環境で培養を始める。1日後には筋細胞はウェル底面に付着し、培養液中のグルコースを呼吸基質とした代謝も安定する。実験に備えて全ウェルをA～Dの4群に分ける。



細胞培養中のプレートを良好な培養環境をもつ専用測定装置に移す。この装置を用いて、「溶液の酸素濃度の低下によって蛍光強度が増加する」酸素感受性蛍光試薬および「溶液の酸性化によって蛍光強度が増加する」pH感受性蛍光試薬に由来する蛍光強度の変化を連続して測定する。さらに、得られたデータから、各ウェルの酸素消費速度(酸素消費量/分)と細胞外液の酸性化速度(酸性側へのpH変化量/分)を数分間の間隔で算出し、平均値をグラフ化する。なお、各試薬を用いた蛍光測定は呼吸を含む細胞の代謝に影響を与えないものとする。

実験 すべてのウェルを対象として上述の蛍光測定を開始する。20分後、A～C群のウェルには下記の物質a～cを各1種類注入し、さらに全ウェルの測定を継続する。

A群：ミトコンドリア内膜に侵入して「内膜と外膜の膜間腔」からマトリックスに向けたH⁺の輸送(ATP合成酵素を通らない輸送)を促進する物質a

B群：ミトコンドリア内膜のタンパク質間での電子の受け渡しを阻止する物質b

C群：ミトコンドリア内膜のATP合成酵素に結合してH⁺がこの酵素分子の中を通過できないようにする物質c

結果 実験開始から20分間、細胞は安定した速度で酸素を消費していたが、各物質の作用によってそれぞれの速度は大きく変化した(図1)。細胞外液が酸性化する速度も各物質の影響によって変化した(図2)。

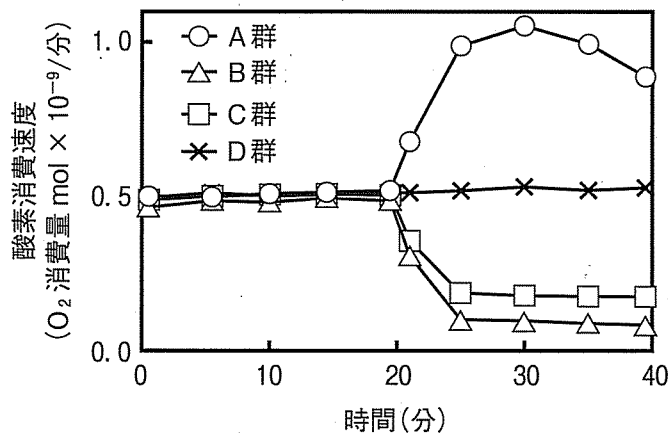


図1

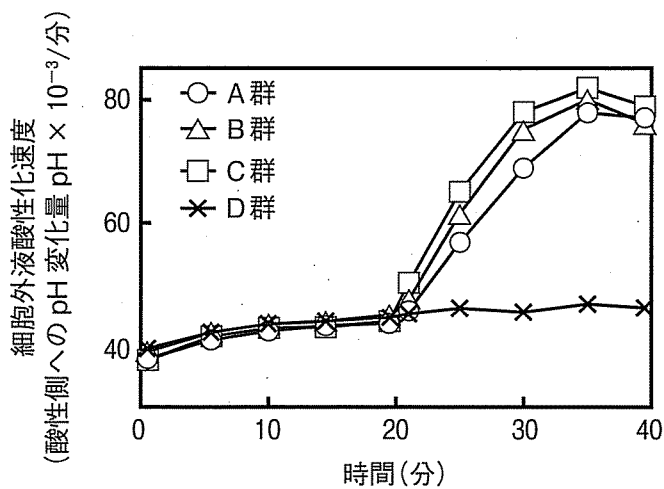


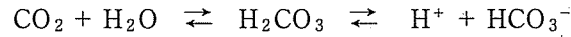
図2

問 1. ア～エの に適切な数字または語句を答えよ。

問 2. 物質 b, 物質 c によって細胞の酸素消費速度が低下した理由を述べよ。

問 3. 物質 a は細胞の酸素消費速度を増加させた。この物質の作用によって呼吸は細胞にどのような種類のエネルギーをもたらすようになるか答えよ。

問 4. 図 2 において実験開始から 20 分間, 細胞外液の酸性化速度がほぼ安定していたのは, 一定の割合で二酸化炭素が放出され, 次の式の反応が進行していたためである。



その後, 物質 a, b, c によって酸性化速度が増加した理由をそれぞれ答えよ。

II. 生物は有機物を分解することで生命維持に必要なエネルギーを獲得する。真核生物では通常, 炭水化物, 脂肪, タンパク質の 3 種類の有機物を呼吸基質とすることでエネルギーを得るが, 実際にどの物質が利用されるかは様々であり, 動物の場合, 食性や個体の状態に依存する。ある生物が呼吸基質としてどのような有機物を代謝しているか推測する手段として呼吸商が役立つが, 脂肪やタンパク質の呼吸商は分子の種類で多少異なる。たとえば, オリーブ油に含まれるトリオレイン($\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$)と牛脂に含まれるトリステアリン($\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6$)の呼吸商は完全には一致しない。

問 5. 動物の呼吸商を調べることでその食性を推定することができる。成体の食性にもとづいて次の 3 種類の動物を呼吸商が大きい順に並べて記号で答えよ。

A. イノシシ B. ネコ C. ウマ

問 6. 下線の例としてクマがあげられる。北半球に生息するアメリカグマやツキノワグマは, 一般に春から秋までの活動期を経て翌年の春まで冬眠する。このようなクマの夏季と厳冬期の呼吸商を推定し, 各々の値とその値にした理由を答えよ。

問 7. トリオレインの呼吸商を小数第 4 位まで求めて答えよ。

問 8. 太郎君がウォーキングなどの有酸素運動を呼吸商 0.9 の状態で数時間続けたところ, 水分補給後の体重が 200 g 減少していた。これを呼吸で消費された有機物の重さと見なすと体内脂肪は何 g 減少したか, 小数第 2 位を四捨五入して答えよ。ただし, 呼吸基質としてグルコースと体内脂肪の $\text{C}_{51}\text{H}_{96}\text{O}_6$ だけが利用されたと仮定し, 原子量は $\text{C} = 12, \text{H} = 1, \text{O} = 16$ とする。

2. ニューロンの興奮の機序と性質に関する各問いに答えよ。

I. あるニューロンの活動電位を含む膜電位の変化をグラフにした(図1)。グラフの上部には、膜電位の変化に沿って区分した①～⑥の時期を示している。

以下の設問にもっともあてはまる時期の組み合わせを下表で指定したa～gの中から選び、その記号で答えよ。

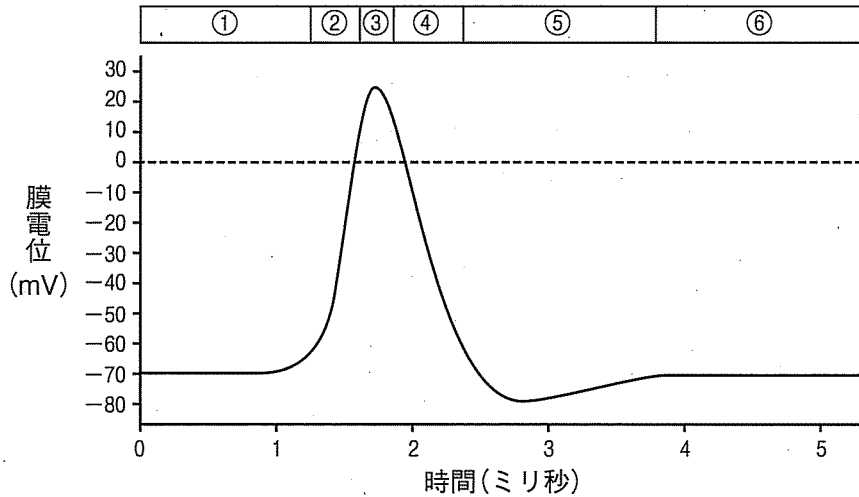


図1

記号	時期の組み合わせ
a	① ⑥
b	② ③
c	⑤ ⑥
d	② ③ ④
e	③ ④ ⑤
f	④ ⑤ ⑥
g	① ② ③ ④ ⑤ ⑥

- 問 1. ナトリウムポンプがはたらいている時期はどれか。
 問 2. 電位依存性ナトリウムチャネルが開いている時期はどれか。
 問 3. 電位依存性カリウムチャネルが開いている時期はどれか。
 問 4. 電位依存性ではない一部のカリウムチャネルが開いている時期はどれか。
 問 5. このニューロンを強く刺激しても刺激に応じた活動電位が発生しない時期はどれか。

II. 単一の運動ニューロンとそれに接続する神経(図2 A)において、以下の実験を行って結果を得た。

ニューロンの樹状突起とシナプスを形成する a, b, c の神経の軸索(図2 A)への電気刺激を一定の強さで行った。a, b, c を別々に1回刺激した場合、点Pで活動電位を記録できなかったが、a, b, c を同時に刺激すると、1ミリ秒後に点Pで活動電位が記録できた。また、a, b, c の同時刺激の2.5ミリ秒後に点Pから60 mm離れた点Qでも活動電位が記録できた。ところが、aとbまたはbとcの組み合わせで同時に刺激しても、点Pから活動電位は記録できなかった。さらにa, b, cの同時刺激に加えて、別の樹状突起とシナプスを形成するdの神経の軸索を同時に刺激すると、点Pから活動電位が記録できなくなった。

a, b, c の同時刺激で発生したシナプス後細胞の膜内の電位変化の最大値の推移を、樹状突起の末端部(ア)から軸索の起始部(ウ)手前まで(図2 A)、横軸をアからウまでの距離としたグラフで示した(図2 B太い破線)。膜内の電位変化はシナプスからの距離が大きくなるにつれて低下したが、a, b, c の同時刺激によって最初に活動電位が発生した部位は、図のアやイではなくウであった。

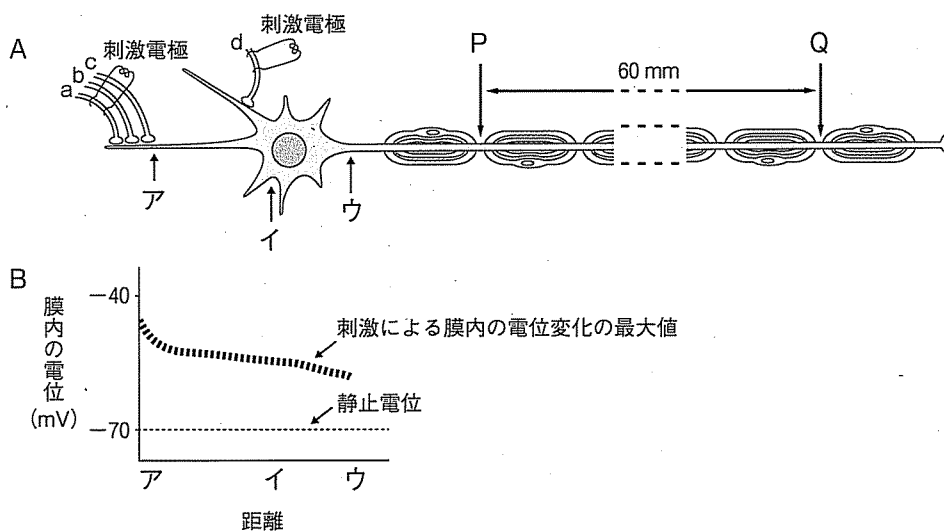


図2

ボロン, プールペープ 生理学 (西村書店 2011) 308 頁, 図 11-7 より改変。

- 問 6. 下線①のような現象を何というか、答えよ。
- 問 7. dの神経の終末が形成するシナプスにおいて、dの神経刺激時にシナプス後細胞内に流入すると考えられるイオンの名称を答えよ。
- 問 8. このニューロンの軸索の伝導速度を計算し、単位をつけて答えよ。
- 問 9. a, b, cの同時刺激と同時に軸索上の点Qを刺激して活動電位を発生させた。a, b, cの同時刺激により発生し、ニューロンの終末側へ向かう活動電位と、点Qから細胞体側へ向かう活動電位は、刺激後、何ミリ秒後に衝突するか、小数第2位まで求めて解答欄Iに答えよ。また、それは点Qから細胞体側へ何mmの部位か、解答欄IIに答えよ。ただし、髄鞘の影響は無視すること。
- 問10. 問9に記載した2つの活動電位は衝突後にどうなるか、その結果と理由を簡潔に述べよ。
- 問11. 図2において、シナプス後細胞の膜内の電位がシナプスからの距離が大きくなるにつれて低下するにもかかわらず、最初に活動電位が発生した部位が、シナプスから離れたウであったのはなぜか、その理由を説明せよ。

3. 動物の発生に関する各問いに答えよ。

I. ショウジョウバエの未受精卵は細長い紡錘形で、その中ではビコイド mRNA, ナノス mRNA, ハンチバック mRNA などの母性因子(母性効果遺伝子)が頭尾軸に沿って規則正しく配置されている。これらの母性因子は母バエの卵巣内で体細胞の哺育細胞によって転写され、その後未受精卵に移行したものである。受精卵の中ではビコイドタンパク質やナノスタンパク質の濃度勾配にしたがって3つのグループからなる 遺伝子が段階的に発現し、やがて体節が形成される。その後、複数のホメオティック遺伝子がそれぞれの体節からどの器官がつけられるのかを決定する。多くのホメオティック遺伝子は、ホメオボックスとよばれる 180 塩基対の塩基配列を含む。ホメオボックスが翻訳されてできる領域はホメオドメインとよばれ、ホメオドメインをもつタンパク質は タンパク質としての機能をもつ。

問 1. アとイの に入る適切な語句を答えよ。

問 2. ショウジョウバエの卵の種類と卵割の様式の組み合わせとして適切なものを選び、記号で答えよ。

- ア. 端黄卵・盤割
- イ. 端黄卵・表割
- ウ. 心黄卵・盤割
- エ. 心黄卵・表割
- オ. 等黄卵・等割
- カ. 等黄卵・表割

問 3. ショウジョウバエの初期胚には、脊椎動物の初期胚とは異なる構造的な特徴があり、それによって胚内のすべての核が下線部①の現象の影響を受ける。この特徴とは何か、答えよ。

問 4. ショウジョウバエの卵では頭尾軸に沿って微小管が配向しており、その向きは頭部側がマイナス端で尾部側がプラス端である。ビコイド mRNA の卵内での位置は微小管とモータータンパク質によって保たれている。ビコイド mRNA の位置を保つ役割を担うモータータンパク質の名称を答えよ。

問 5. 下線部②について, 3つの遺伝子の発現順序として適切なものを選び, 記号で答えよ。

- ア. ペアルール遺伝子 → ギャップ遺伝子 → セグメントポラリティ遺伝子
- イ. ペアルール遺伝子 → セグメントポラリティ遺伝子 → ギャップ遺伝子
- ウ. ギャップ遺伝子 → セグメントポラリティ遺伝子 → ペアルール遺伝子
- エ. ギャップ遺伝子 → ペアルール遺伝子 → セグメントポラリティ遺伝子
- オ. セグメントポラリティ遺伝子 → ペアルール遺伝子 → ギャップ遺伝子
- カ. セグメントポラリティ遺伝子 → ギャップ遺伝子 → ペアルール遺伝子

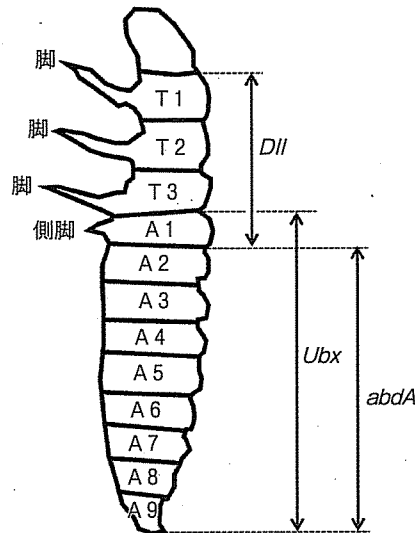
問 6. ビコイド遺伝子が機能を失うと異常個体(頭部と胸部が欠損した致死性の個体)が生じることが知られている。正常なビコイド遺伝子を B, 機能を失ったビコイド遺伝子を b とする。ただし, 遺伝子 B は遺伝子 b に対して優性とする。次の 1~5 のうち, 生じる可能性のない個体を選び番号で答えよ。

- 1. 遺伝子型が bb の正常個体
- 2. 遺伝子型が BB の異常個体
- 3. 遺伝子型が Bb の異常個体
- 4. 遺伝子型が b の卵の受精による正常個体
- 5. 正常個体のかけあわせによる異常個体

問 7. ビコイド遺伝子について, ともに Bb の遺伝子型の雄と雌を交配し第一世代を得た。次に第一世代の雌を BB の雄と交配し第二世代を得た。次の 1~3 の問いに答えよ。

- 1. 第一世代の遺伝子型の種類とその分離比を答えよ。
- 2. 第一世代のうち正常個体の割合(%)を答えよ。
- 3. 第二世代の正常個体と異常個体の分離比を答えよ。

II. 下図は、甲虫の一種(幼虫)の模式図と3種類の本メオティック遺伝子(*Dll*, *Ubx*, *abdA*)の胚の時期における発現領域を示している。この甲虫の体節は頭部、胸部(T1~T3)、腹部(A1~A9)の13個に分かれている。野生型ではT1~T3に3対の脚、A1に1対の小型の側脚を生じる。野生型の胚では、*Dll*がT1~T3とA1に、*Ubx*がA1~A9に、*abdA*がA2~A9に発現していた。



この甲虫を用いて *Ubx* のみを発現しない *Ubx* 変異体と *abdA* のみを発現しない *abdA* 変異体を実験的に得た。その結果、*Ubx* 変異体の幼虫は、T1~A1に4対の脚が生じ、*Dll* と *abdA* の発現領域は野生型と同様であった。また *abdA* 変異体ではT1~T3に3対の脚が、A1~A9に9対の側脚が生じ、*Dll* はT1~A9に発現し *Ubx* の発現領域は野生型と同様であった。

問 8. *abdA* が発現してつくられるタンパク質のはたらきとして適切なものを1~5より選び、番号で答えよ。

1. *Dll* の発現を抑制する。
2. *Ubx* の発現を促進する。
3. 側脚を脚にする。
4. 側脚の発生を促進する。
5. 胸部の体節数を増やす。

問 9. *Ubx* と *abdA* の両方の発現を抑制すると、T1~A9の各体節における脚や側脚などの表現型はどのようになると予想されるか。解答欄に脚は○、側脚は△、どちらも形成されない場合は×を記入せよ。

4. 生物の進化と突然変異に関する各問いに答えよ。

I. 突然変異の一つに①遺伝子突然変異があり、それは塩基配列の変化として塩基の置換のほか、塩基の欠失や挿入が含まれる。たとえば、ヘモグロビンを構成するβ鎖の遺伝子で、アミノ酸を指定する17番目の塩基T(チミン)がA(アデニン)に置換した突然変異をもつヒトがいる。この遺伝子から転写される伝令RNAでは 番目のコドンがGAGからG Gへ変わるために、翻訳されるポリペプチドの 番目のアミノ酸がグルタミン酸からバリンに変わる(異常ヘモグロビン)。この異常遺伝子をホモにもつヒト(ホモ接合体)は、赤血球がかま状に変形し、重症の貧血症を起こす(鎌状赤血球症)。一方、この遺伝子をヘテロにもつヒト(ヘテロ接合体)は、通常^②の日常生活は営めるが、低酸素状態では鎌状赤血球の割合が増加して貧血症になる。

問 1. 文中のアとイの に入る適切な数字と文字を答えよ。

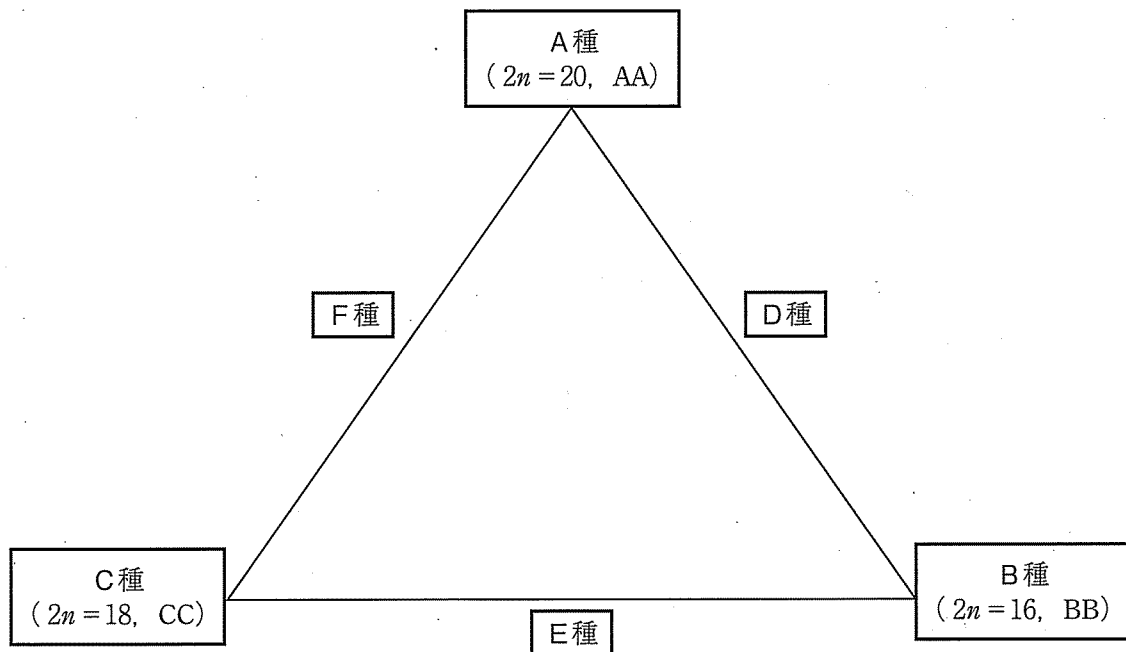
問 2. 下線部①に関して、次のA～Eの記述から誤っているものをすべて選び、記号で答えよ。

- A. 遺伝子突然変異は4つの塩基のうちT(チミン)で起こりやすい。
- B. 遺伝子突然変異は紫外線や放射線によって誘発される。
- C. 遺伝子突然変異を誘発する化学物質が存在する。
- D. 遺伝子突然変異は細胞周期の間期よりも分裂期に起こりやすい。
- E. 形質の変化をもたらさない遺伝子突然変異も存在する。

問 3. アフリカの西部などでは、異常遺伝子の頻度が他の地域と比べて高く、おおよそ0.1に維持されている。この地域では、下線部②のヒトが理論上何%存在することになるか、答えよ。

問 4. ホモ接合体が致死的であるにもかかわらず、この異常遺伝子がアフリカで保持されているのは、下線部②のヒトがマラリアに抵抗性を有するからだと考えられている。ヘモグロビンの異常とマラリア抵抗性にはどのような関係があるか、考えられることを100字以内で述べよ。

II. もう一つの突然変異は染色体突然変異であり、それには染色体数が変化するものがある。種とは「共通した形態的・生理的な特徴をもつ個体の集まりで、同種内では自然状態での交配が可能であり、生殖能力をもつ子孫をつくることができる」と定義され、同種の染色体数は一定である。アブラナ科植物では、3種(A種、B種、C種)の二倍体とそれら二倍体どうしの異種間交雑^④に由来して誕生したと考えられる3種(D種、E種、F種)の異質倍数体が存在し、それらは下図のようにトライアングルの関係になっている。そのうち、A種(ハクサイなど)は $2n=20$ で、ゲノム(染色体)構成はAAで示される。一方、B種(クロガラシなど)は $2n=16$ でゲノム構成はBBで示される。また、C種(キャベツなど)は $2n=18$ でゲノム構成はCCである。A種とB種の異種間交雑で生じたと考えられるD種(カラシナなど)は $2n=$ でゲノム構成は となっている。同様に、B種とC種間からはE種(アビシニアガラシなど)がA種とC種間からはF種(セイヨウアブラナなど)が種分化したと推察されている。染色体突然変異には、倍数体の他に、染色体数が $2n \pm 1$ や $2n \pm 2$ のように変化する も存在する。



問 5. 文中のウ～オの に入る適切な語句などを答えよ。

問 6. 下線部③に関して、次の A～E の記述から誤っているものを選び、記号で答えよ。

- A. 染色体突然変異には欠失や重複などがある。
- B. 染色体突然変異を誘発する薬剤(化学物質)が存在する。
- C. 染色体突然変異は細胞周期の間期よりも分裂期に起こりやすい。
- D. 種なしブドウは染色体突然変異の一例である。
- E. ダウン症は染色体突然変異の一例である。

問 7. 下線部④の異種間交雑によって生じた雑種が新種として成立するか否かに関する次の記述

A～E からもっとも適当なものを選び、記号で答えよ。

- A. 異種間交雑はどんな異種間でも可能である。
- B. 異種間交雑による受精卵は体細胞分裂ができない。
- C. 雑種は染色体数が偶数ならそのまま新種として成立する。
- D. 雑種はそのままのゲノム構成では生殖能力はない。
- E. 現在栽培されているパンコムギ(普通系コムギ)は異質四倍体である。

問 8. 下線部④の異種間交雑によって D 種、E 種、F 種が誕生したにもかかわらず、それらがその両親種(A 種、B 種、C 種)との異種間交雑によってさらなる新種が誕生しないのはなぜか。E 種と B 種の場合を例に、100 字以内で説明せよ。