

# 理科問題紙

令和4年2月25日

自 14:20

至 16:20

## 答案作成上の注意

1. 理科の問題紙は1から31までの31ページである。
2. 解答用紙は、生物⑦、⑧、⑨、化学⑩、⑪、⑫、⑬、物理⑭、⑮、⑯の10枚である。
3. 生物、化学、物理のうち2科目を選択すること。
4. 解答はすべて解答用紙の指定された箇所に書くこと。
5. 試験開始後30分以内に選択する科目を決定すること。
6. 折りこまれている白紙(2枚)は草案紙として使用すること。
7. 問題紙と草案紙は持ち帰ること。





## 生 物

1

(1) サットン<sup>ア</sup>はバッタの減数分裂の観察から、配偶子形成過程における染色体の挙動がメンデルの法則に従うことを見だし、1902年に遺伝子が染色体にあるという染色体説を提唱した。その後、1910年から1920年頃にかけてモーガンらは、ショウジョウバエの突然変異体を用いた交配実験の結果から、遺伝子と染色体の関連性を明確に示す結果を得て染色体説を実証した。

モーガンの実験を要約すると次のようになる。まず、野生型暗赤茶色眼の純系の雌と突然変異体の白眼の雄を交配させると、次世代では雌雄ともに野生型の眼色になった。これは野生型の眼色遺伝子が白眼遺伝子に対して優性であるためである。ここで得られた次世代の雄と雌を交配すると、その次の世代では雌は全てが野生型眼色だったが、雄では野生型眼色と白眼が半分ずつとなった。ショウジョウバエの性染色体は雄ヘテロ型<sup>①</sup>で、雌が2本のX染色体を持つのに対し雄は1本しか持たないので、白眼遺伝子がX染色体上に存在する<sup>②</sup>と考えるとこの現象をうまく説明できた。

さらにモーガンらは、ショウジョウバエを使った遺伝の研究を進める中で、交配実験の結果がメンデルの法則から大きく外れる場合があることに気づいた。この現象は、<sup>イ</sup> 1 間で染色体乗換えが起こることによって染色体上に存在する遺伝子の組み合わせが変化したと考えるとうまく説明できた。また、モーガン研究室の学生だったスタートヴァントはこの染色体乗換えの起こりやすさが遺伝子間の距離に依存することに気づき、2つの遺伝子が組換えをおこす割合、すなわち組換え価を計算することで遺伝子間の相対的な距離を推定する方法を開発した。モーガンらは多くの遺伝子についてこの方法で調査して 2 を完成させ、ショウジョウバエの遺伝子が大きく4つのグループ<sup>③</sup>に分かれることを示した。

問 1 下線部アおよびイはそれぞれ、メンデルの独立の法則、優性の法則、分離の法則のうち主にどの法則を意味するか、答えなさい。

問 2 下線部①について、雄ヘテロ型には雄が Y 染色体を持つ XY 型と雄が Y 染色体を持たない XO 型の 2 つがあり、雌ヘテロ型には雌が W 染色体を持つ ZW 型と雌が W 染色体を持たない ZO 型の 2 つがある。ZW 型の生物を 1 つ挙げなさい。

問 3 下線部②で、性染色体に存在する遺伝子の遺伝様式を特に何というか、答えなさい。

問 4  と  に入る語を書きなさい。

問 5 下線部③で、同じグループに属する遺伝子の関係を何というか、答えなさい。また、遺伝子が 4 つのグループに分かれた理由を簡単に説明しなさい。

(2) ショウジョウバエの X 染色体には、白眼遺伝子の他に剛毛の先端がカールするちぢれ毛遺伝子と翅の横脈が欠失する横脈欠失翅遺伝子が存在する。なお、これらの遺伝子は、それぞれの野生型対立遺伝子に対して劣性である。眼色、剛毛の形状、翅脈の 3 つの形質がすべて野生型の純系の雌と、白眼・ちぢれ毛・横脈欠失翅の雄を交配して F1 を得た。この F1 の雌に白眼・ちぢれ毛・横脈欠失翅の雄を交配したところ、次世代の表現型は表 1 に示す結果となった。

表 1

眼 色	剛毛の形状	翅 脈	個体数
野生型眼色	野生型剛毛	野生型翅	405
野生型眼色	野生型剛毛	横脈欠失翅	5
野生型眼色	ちぢれ毛	野生型翅	31
野生型眼色	ちぢれ毛	横脈欠失翅	52
白 眼	野生型剛毛	野生型翅	61
白 眼	野生型剛毛	横脈欠失翅	33
白 眼	ちぢれ毛	野生型翅	4
白 眼	ちぢれ毛	横脈欠失翅	409

問 1 下線部アについて、F1 の表現型はどうなるか、正しい選択肢を選び記号で答えなさい。

- ① 全ての個体が野生型眼色・野生型剛毛・野生型翅になる。
- ② 全ての個体が白眼・ちぢれ毛・横脈欠失翅になる。
- ③ 雄は全て野生型眼色・野生型剛毛・野生型翅で、雌は全て白眼・ちぢれ毛・横脈欠失翅になる。
- ④ 雌は全て野生型眼色・野生型剛毛・野生型翅で、雄は全て白眼・ちぢれ毛・横脈欠失翅になる。
- ⑤ 雄は全て野生型眼色・野生型剛毛・野生型翅で、雌は半分が野生型もう半分が白眼・ちぢれ毛・横脈欠失翅になる。
- ⑥ 雌は全て野生型眼色・野生型剛毛・野生型翅で、雄は半分が野生型もう半分が白眼・ちぢれ毛・横脈欠失翅になる。

問 2 下線部イについて、F1 の雌に白眼・ちぢれ毛・横脈欠失翅の雄を交配するかわりに F1 どうしを掛け合わせると F2 の表現型はどうか、正しい選択肢を選び記号で答えなさい。

- ① 雌雄ともに野生型眼色・野生型剛毛・野生型翅になる。
- ② 雌雄ともに白眼・ちぢれ毛・横脈欠失翅になる。
- ③ 雌雄ともに表 1 と同様の結果になる。
- ④ 雄は全て野生型眼色・野生型剛毛・野生型翅になるが、雌は表 1 と同様の結果になる。
- ⑤ 雌は全て野生型眼色・野生型剛毛・野生型翅になるが、雄は表 1 と同様の結果になる。

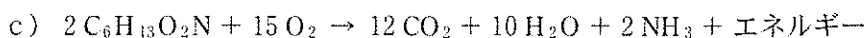
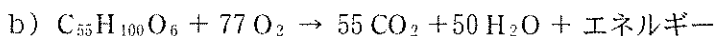
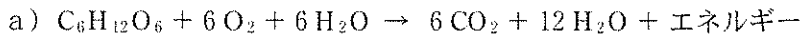
問 3 白眼遺伝子とちぢれ毛遺伝子、および、横脈欠失翅遺伝子の 3 つの遺伝子座で中央に位置するのはどれか、答えなさい。また、これら 3 つの遺伝子が存在する染色体領域において染色体乗換えが 2 回起こる確率(%)を計算し、小数第二位を四捨五入した数値を答えなさい。ただし、この染色体領域内で染色体乗換えが 3 回以上起こることはないものとする。

問 4 白眼遺伝子と横脈欠失翅遺伝子の組換え価(%)を計算しなさい。また、白眼遺伝子とちぢれ毛遺伝子間の距離は組換え価で何%相当になるか計算しなさい。なお、いずれも小数第二位を四捨五入した数値を書きなさい。

2

生物の代謝反応のひとつである [ 1 ] では、複雑な物質が単純な物質まで分解され、エネルギーが放出される。この反応の具体例として呼吸が挙げられる。呼吸には、解糖系、クエン酸回路、電子伝達系の3つの過程があり、解糖系は [ 2 ] で、クエン酸回路と電子伝達系はミトコンドリア内で反応が起こる。呼吸で生じるエネルギーはATPとして細胞内に保持されるが、呼吸によって1分子のグルコースから最大で [ 3 ] 分子のATPが作られる。ATPは [ 4 ] にリン酸が3つ結合した構造をしており、これらのリン酸同士の結合を [ 5 ] と呼ぶ。ATPのこの結合が分解されるときにエネルギーが放出され、細胞内で利用される。

このように、呼吸では食べ物として体内に取り込んだ物質を分解してエネルギーを取り出しており、呼吸で分解される物質を呼吸基質と呼ぶ。呼吸基質には炭水化物、脂肪、タンパク質があり、エネルギー生成効率や呼吸商が異なっている。下のa) b) c) はそれぞれ、炭水化物の構成要素であるグルコース、脂肪であるトリアシルグリセロールの一種、タンパク質の構成要素であるアミノ酸(ロイシン)を呼吸基質とした場合の反応式である。



炭水化物はATP合成の主要な呼吸基質であり、タンパク質は生体の主要な構成要素ともなっている。また、過剰なエネルギーは脂肪として体内で蓄積され、飢餓などで呼吸基質が不足した時のエネルギー源となっている。



問 1  ~  に入る語を書きなさい。ただし、 には数値を入れること。

問 2 a) の反応式で表される呼吸の一連の反応の中で、二酸化炭素が生じる反応はどれか、以下からすべて選び、記号を書きなさい。

- ① 解糖系でピルビン酸(C<sub>3</sub>)を生じるまでの反応
- ② ピルビン酸からアセチル CoA を経てクエン酸(C<sub>6</sub>)になるまでの反応
- ③ α-ケトグルタル酸(C<sub>5</sub>)からコハク酸(C<sub>4</sub>)を生じる反応
- ④ リンゴ酸(C<sub>4</sub>)からオキサロ酢酸(C<sub>4</sub>)を生じる反応
- ⑤ 酸素が還元されて水を生じる反応

問 3 下線部について、活動電位の発生においても ATP が利用される。どのように利用されるか簡単に説明しなさい。

問 4 ネズミに標準的な飼料を与えて人工照明下で飼育し、呼吸商を測定したところ下図に示すグラフが得られた。暗期と明期の呼吸商の変化がなぜ生じたか、呼吸基質に着目して説明しなさい。なお、ネズミは暗期によくエサを食べ、明期にはエサをほとんど食べない。

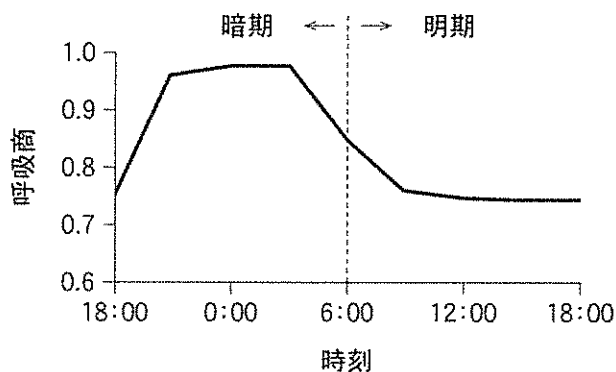


図 ネズミの呼吸商の日内変化



日本沿岸の浅海域における生態系には、環境に適応した植物や藻類が生産者として生育している。海草や海藻が繁茂する沿岸域を藻場<sup>もば</sup>という。藻場に繁殖するアマモは、海から陸上へ進化した植物が新たなニッチを求めて再び海へと生活の場を戻した海草である。アマモの葉体には、多数の細菌が付着しており、そのうちの数十%は単細胞で活動する特定の藻類に対して殺藻作用をもつ。海藻のうち、紅藻類にはアサクサノリやマクサが含まれる。アサクサノリは、黄色、青色、紅紫色を呈する補助光合成色素を高濃度にもち、体色は黒に近い緑色を帯びている。一方、マクサは紅紫色を呈する色素以外の補助光合成色素をほとんどもたないため、紅色を帯びる。紅藻類がもつ紅紫色を呈する色素は、緑色光を吸収できる。近年、各地の浅海域で磯焼け<sup>イ</sup>という藻場の衰退現象がみられるようになってきた。磯焼けは、生物多様性の低下につながるだけでなく、水質の悪化<sup>ウ</sup>にも関連すると考えられている。

問 1 下線部アについて、藻場の生態系に影響を与える人工的な環境負荷の例を2つ書きなさい。

問 2 図1を参考に、アサクサノリとマクサのニッチを75字以内で説明しなさい。

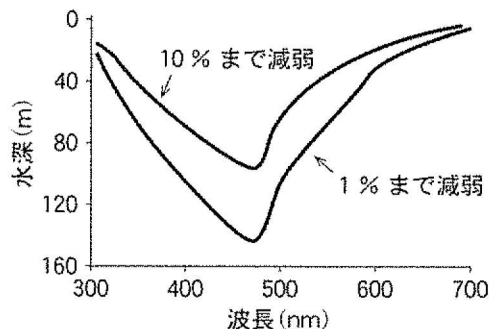


図1 各波長の光が10%、または1%まで減弱する水深

問 3 藻場に繁殖する褐藻類のうち、ホソメコンブは寒流の流れる沿岸部の代表的な昆布である。北海道では近年、下線部イによる昆布の消失が深刻な問題となっている。その原因の1つとして、水温上昇に伴うウニなどの藻食動物の異常繁殖が考えられている。それを確かめるために、ホソメコンブの生育場所に区画を設け、春にウニを完全にまたは一定数だけ除去した後に、ホソメコンブの繁茂の状況を観察する実験を6年間行った。得られた結果を集計し、ウニの生息密度とホソメコンブの繁茂量との関係を表すグラフを作成した。以下の情報と観察記録を参考にして、これらの関係を表すグラフを図2の①~③から1つ選び、記号で答えなさい。ただし、グラフの縦軸は秋まで生存したホソメコンブ量について、単位区画あたりに生育可能な最大繁茂量に対する繁茂割合を被覆度(%)として表したものであり、横軸は夏のウニ密度を示す。

この海域におけるウニと昆布に関する情報

- ・ウニはホソメコンブを主食にする。
- ・ウニは発芽期のホソメコンブも摂食する。
- ・ウニには餌がなくなるまで食べ続ける習性がある。
- ・ウニは飢餓に強く、ホソメコンブなしでも生存できる。
- ・ホソメコンブは単年藻で、春に発芽し、夏に最大となる。
- ・ホソメコンブは秋の終わりに胞子を放出し、その後枯れる。

観察記録

- ・ウニを完全に除去すると、藻場は数年で回復した。
- ・春にウニが一定数(グラフの密度 A 以上)存在すると、夏までにホソメコンブは消失した。
- ・春にウニをある程度(グラフの密度 A 未満)除去すれば、夏にウニが一定数(密度 B)存在してもホソメコンブは秋まで生存した。
- ・ホソメコンブが繁茂していても、夏までにウニが増殖して密度 C に達すると、ホソメコンブは秋の初めには消失した。
- ・一旦磯焼けになると、ウニ密度を密度 A よりも下げないと、翌年以降も藻場は回復しなかった。

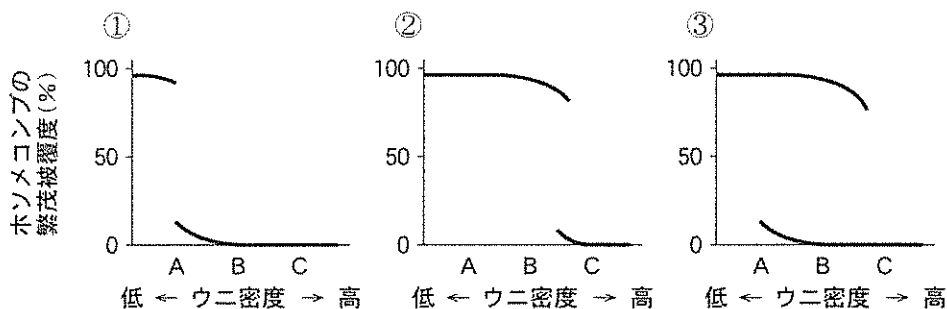


図2 夏のウニの生息密度と秋のホソメコンブの繁茂量

問4 下線部ウについて、静穏な藻場からアマモが消失したときに発生する可能性のある水質環境の悪化現象を1つ書きなさい。

問5 藻場を管理して維持・拡大することは、地球環境の保全につながる事が明らかになっている。現在の地球環境を考える時、藻場にはどのような役割が期待されているか。表1を参考にして、100字以内で説明しなさい。なお、生態系において、枯死した海藻や海草の20%前後は海洋中深層で数千年程度堆積することが知られている。

表1 生産者の純生産量と現存量

生態系	純生産量 kg/(m <sup>2</sup> ・年) (平均値, 乾燥重量)	現存量 kg/m <sup>2</sup> (平均値, 乾燥重量)	面積 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>
熱帯雨林	2.2	45	17
温帯林	2.5	65	12
藻場	2.5	2	0.6



4

(1) 次の文を読み、以下の問に答えなさい。

ウイルスは生物には分類されない。コロナウイルスは、遺伝情報を担う<sup>ア</sup>RNAが脂質でできたエンベロープ(膜)でおおわれ、表面にスパイクタンパク質が突き出した構造をしている。コロナウイルスがヒトの細胞に感染すると、ウイルスの構造や機能を維持するためのウイルス特異的なタンパク質が合成される。このタンパク質を検知して感染の有無を確定診断する方法を抗原検査という。そのほかの診断方法として遺伝子検査も用いられており、その代表的な検査法はPCR法である。

<sup>イ</sup>コロナウイルスに感染すると、体内の樹状細胞がそれを感知し、リンパ球の一種である  細胞や  細胞に情報を伝えて細胞を活性化する。その結果、 細胞は、ウイルスに感染した細胞を破壊する。 細胞は、さらに  細胞を活性化し分化させて抗体を作らせる。その抗体はウイルスに結合し、ウイルスを不活性化する。破壊された細胞や不活性化されたウイルスは  により除去される。世界中でコロナウイルスに対するワクチンや治療薬の研究が進んでいる。  
<sup>ウ</sup>

問 1 下線部アについて、ウイルスの非生物的な特徴を2つ挙げて簡単に説明しなさい。

問 2 下線部イについて、PCR法でコロナウイルスの感染の有無を検出する原理を、簡単に説明しなさい。

問 3  ~  に入る適切な語を書きなさい。

問 4 下線部ウについて、ワクチンによってウイルス感染あるいはその重症化を予防できる理由を、75字以内で説明しなさい。

(2) 次の文を読み、問に答えなさい。

DNA は、突然変異によってその構造に変化が起こることがあり、生物の形質に影響を及ぼす場合がある。鎌状赤血球貧血症は、ヘモグロビン遺伝子の1カ所でAがTに置換することで指定されるアミノ酸が変わりタンパク質の構造が変化した結果、赤血球の形が鎌状となり貧血症状を起こす遺伝病である。変異型対立遺伝子のホモ接合体では重症の貧血を起こすが、ヘテロ接合体では症状は軽く、日常生活に支障がない。鎌状赤血球貧血症の原因となる変異型対立遺伝子を持つ人は、マラリアの発症率が高いアフリカに多いことが知られている。

問 1 下線部アについて、突然変異を引き起こす原因を2つ答えなさい。

問 2 突然変異のうち、塩基が挿入されたり、失われたりする場合、タンパク質の機能に重大な影響を及ぼすことがある。このような変化を何というか、名称を書きなさい。また、なぜ重大な影響を及ぼすか、説明しなさい。

問 3 鎌状赤血球貧血症の原因となる変異遺伝子を持たない正常型のヒトとヘテロ接合体のヒトのそれぞれのDNAを鋳型として、正常型に特異的なプライマーW、または変異型に特異的なプライマーMを用いてPCRを行った。反応後のサンプルをアガロースゲル電気泳動により分離した。正しい結果を図1のa～hからひとつ選び、答えなさい。



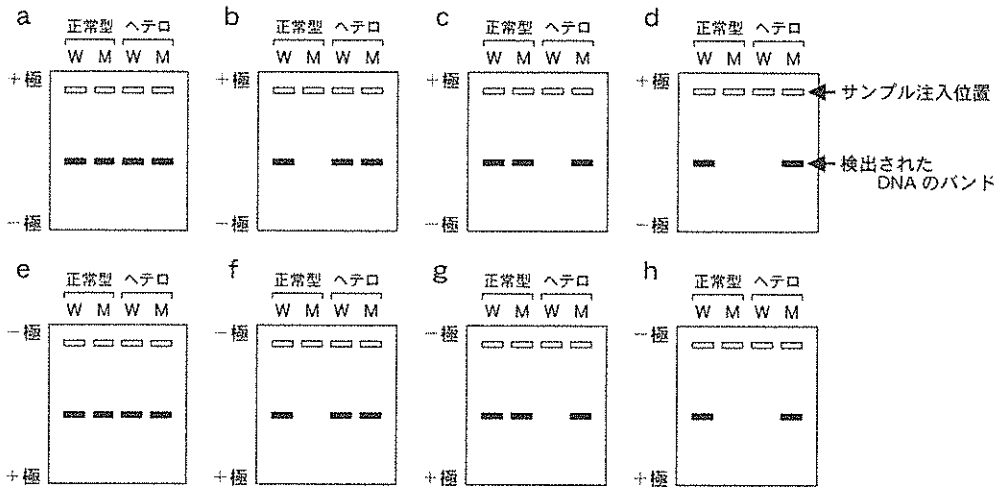


図1 ヘモグロビン遺伝子のPCR サンプルを電気泳動した結果

問4 下線部イについて、この突然変異はコドンがGAGからGUGに変化しグルタミン酸からバリンへのアミノ酸の置換をもたらす。グルタミン酸をコードするコドン(GAA または GAG)に1塩基の置換が起こった場合に、他のアミノ酸に置き換わる確率と、バリンに置き換わる確率をそれぞれ分数で答えなさい。ただし、コドンについては下の遺伝暗号表を用いなさい。

		2番目の塩基				
		U	C	A	G	
1番目の塩基	U	フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	3番目の塩基
		フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	
		ロイシン	セリン	停止コドン	停止コドン	
		ロイシン	セリン	停止コドン	トリプトファン	
	C	ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	
		ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	
		ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	
		ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	
	A	イソロイシン	トレオニン	アスパラギン	セリン	
		イソロイシン	トレオニン	アスパラギン	セリン	
		イソロイシン	トレオニン	リシン	アルギニン	
		メチオニン	トレオニン	リシン	アルギニン	
	G	バリン	アラニン	アスパラギン酸	グリシン	
		バリン	アラニン	アスパラギン酸	グリシン	
		バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	
		バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	

問5 下線部ウについて、考えられる理由を答えなさい。