

生 物 (120分)

(令和4年度 前期日程)

注 意 事 項

問 題 冊 子	解 答 用 紙
<ol style="list-style-type: none">1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけない。2. 問題冊子は全部で17ページである。表紙を開くと白紙があり、その裏が1ページ目である。不鮮明な印刷、ページの脱落到気付いたときは、試験監督者に申し出ること。3. 問題冊子は持ち帰ること。	<ol style="list-style-type: none">1. すべての解答用紙に受験番号、氏名を記入すること。記入を忘れたとき、あるいは誤った番号を記入したときは失格となることがある。2. 解答用紙の枚数は、5枚である。3. 解答は、指定された箇所に記入すること。

I 以下の文を読み、問1～問6に答えなさい。

(配点 45 点)

タンパク質は、(ア)種類のアミノ酸で構成される。アミノ酸の基本構造は、1つの炭素原子に、アミノ基、(イ)基、水素原子および側鎖が結合したものである。アミノ酸の性質は側鎖の違いによって決まる。側鎖には、水になじみにくい性質(疎水性)や水になじみやすい性質(親水性)があり、正や負の電荷をもつものもある。

ペプチドとは、2個以上のアミノ酸がペプチド結合した分子であり、多数のアミノ酸がつながったものをポリペプチドとよぶ。すなわち、タンパク質は、数十個から数千個ほどのアミノ酸がペプチド結合でつながったポリペプチドである。ペプチド結合は、2つのアミノ酸において、一方のアミノ酸のアミノ基ともう一方のアミノ酸の(イ)基から水分子がはずれることで生じる結合である。このアミノ酸の並び方をタンパク質の一次構造という。

タンパク質は、一次構造を基本に、複雑な立体構造をとり、それは二次構造、三次構造および四次構造に分類される。二次構造は、タンパク質において部分的に特徴のある構造で、ポリペプチドの折りたたみのパターンを指す。三次構造は、タンパク質の分子全体がとる固有の立体構造のことで、タンパク質を構成するアミノ酸どうしの相互作用により安定化される。タンパク質によっては、システインの側鎖間につくられる結合も構造の安定化に重要な役割をもつ。さらに、いくつかのポリペプチドが集合して複合体をつくり1つのタンパク質としてはたらくことがあり、このような複数のポリペプチドからなるタンパク質の立体構造を四次構造とよぶ。

タンパク質は生体内で多様なはたらきをもつが、このうち、さまざまな化学反応を触媒するものを酵素とよぶ。

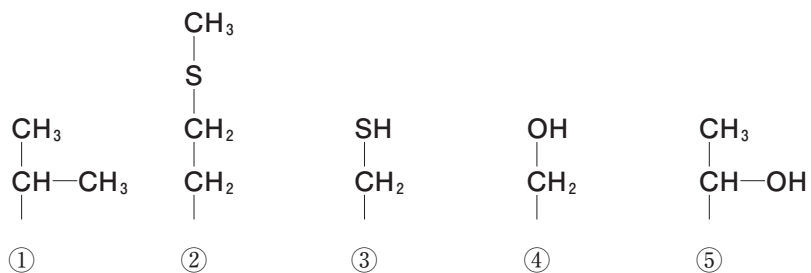
問1 (ア)および(イ)に入る最も適切な語句を答えなさい。

問2 下線部a)のアミノ酸のうち、成人のヒトが十分量合成できないため、食物として摂取する必要があるものを何とよぶか、答えなさい。

問3 下線部b)について、2つのアミノ酸の間に形成されるペプチド結合の構造を解答欄の点線内に示しなさい。ただし、水素、炭素、酸素、窒素は、それぞれH、C、O、Nで示し、各原子間の共有結合のうち単結合を一本線で、二重結合を二本線で書きなさい。

問4 下線部c)について、ポリペプチドがらせん状の構造をとる二次構造を何とよぶか、答えなさい。

問 5 下線部 d) について、アミノ酸側鎖の構造のうち、システインの側鎖を以下の①～⑤の中から1つ選び、番号で答えなさい。



問 6 下線部 e) に関連する以下の設問(1)～(3)に答えなさい。

- (1) 酵素が触媒する化学反応は、反応液中の基質の濃度によって変化する。図1は、酵素反応によって一定の時間に生じる反応生成物の量(反応速度)と基質濃度の関係を示したものである。酵素濃度が一定のとき、反応速度と基質濃度の関係は図中の曲線のようになった。基質濃度が増加しても反応速度が一定以上にならない理由について、説明しなさい。また、この反応の酵素濃度を2倍にすると反応速度と基質濃度の関係はどのように変化するか、解答欄の図中に書きなさい。

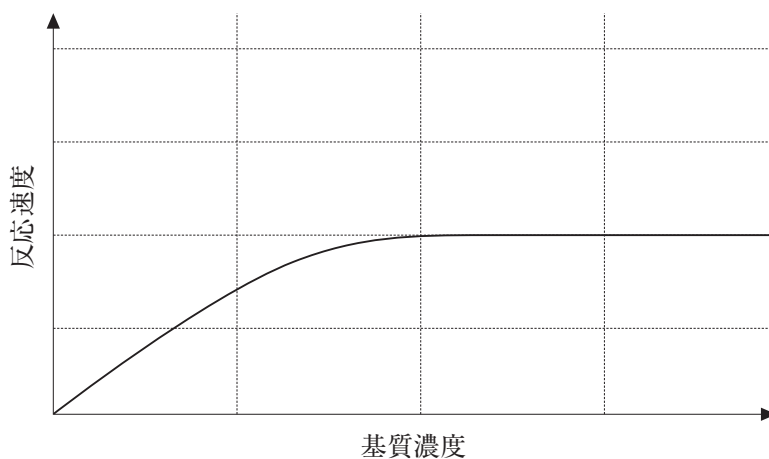


図1

- (2) 図2は、ある種のタンパク質分解酵素の反応速度と反応液のpHの関係を示したものである。図中の曲線a～dのうち、ペプシンとトリプシンのものはどれか、それぞれ記号で答えなさい。また、そのように選んだ理由について、各酵素がはたらく臓器名とともに説明しなさい。

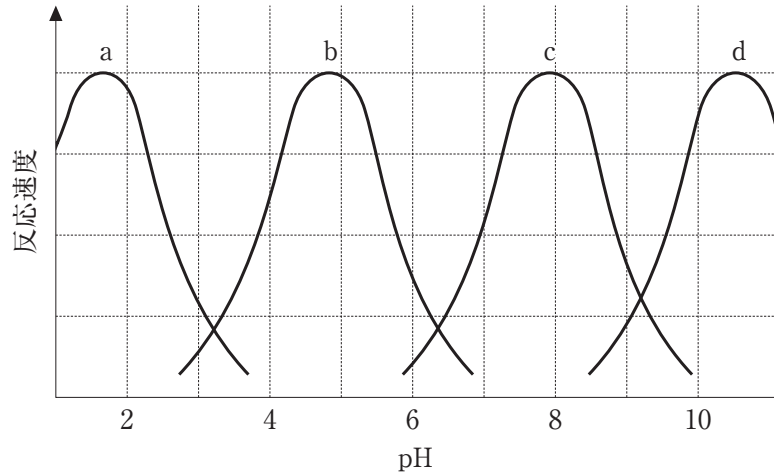


図2

- (3) 図3の実線は、大腸菌のDNA合成酵素の反応速度と反応温度の関係を示したものである。図中の点線e～hのうち、PCRに用いられるDNA合成酵素のものはどれか、1つ選び記号で答えなさい。また、この酵素はある特徴的な環境に生息する細菌から得られるが、この環境の特徴を説明しなさい。

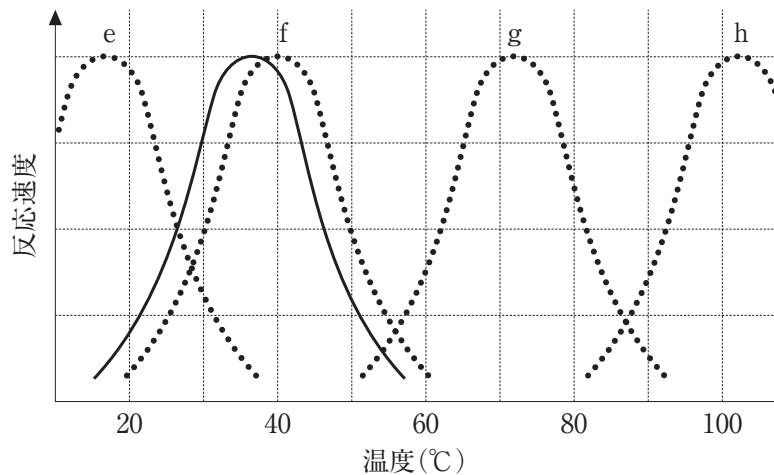


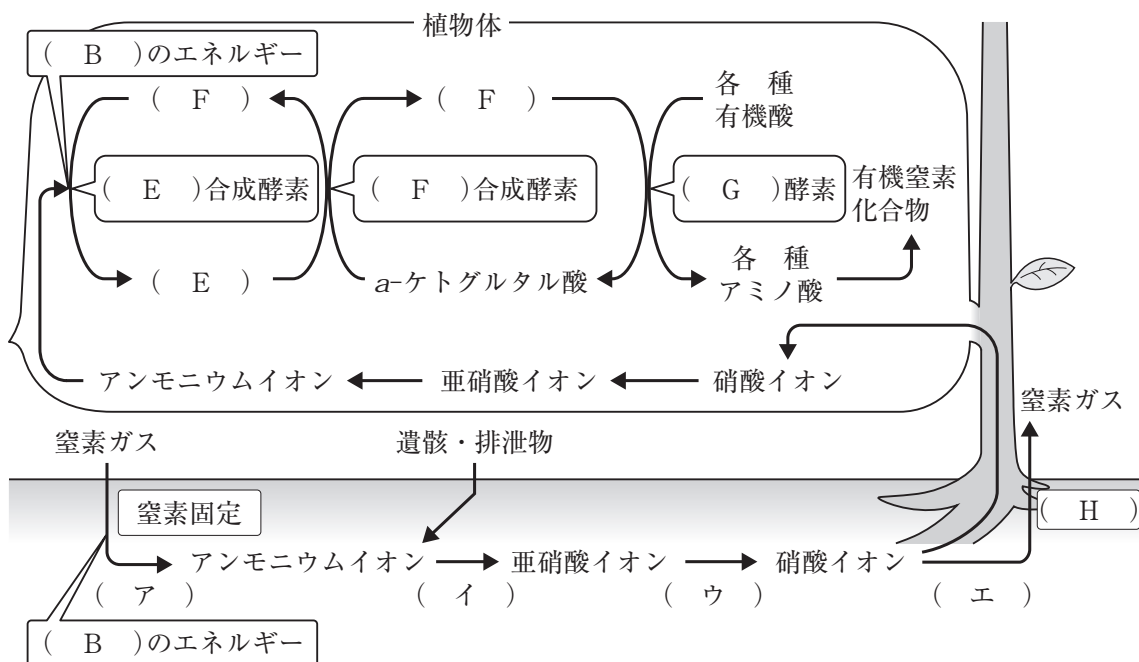
図3

II 以下の文を読み、問1～問4に答えなさい。

(配点 50 点)

生産者が有機物を合成することを(A)という。生産者である植物は、光エネルギーを利用して無機物から有機物を合成する独立栄養生物である。動物は、餌となる生物に由来する有機物をエネルギー源とする従属栄養生物である。(A)は、生態系の物質循環やエネルギーの流れの基盤となっている。生産者によりつくられた有機物は、食物網を通して生態系の高次の栄養段階の消費者に受け渡される。

窒素は、タンパク質や核酸などに含まれる生命活動にとって重要な元素であり、生態系の中を循環している。下図は窒素の循環を模式的に示したものである。窒素ガスは、大気中で約 80 % を占めているが、多くの生物は大気中の窒素ガスを直接利用できない。しかし、一部のシアノバクテリアや根粒菌、^{a)}土壤中に生息する(ア)は、窒素ガスを(B)のエネルギーによりアンモニウムイオンに(C)することができる。これを窒素固定という。



土壌中には、無機窒素化合物が含まれており、植物は、これを吸収して有機窒素化合物を合成する。このはたらきを(D)という。植物が根から硝酸イオンを吸収すると、アンモニウムイオンにまで(C)される。アンモニウムイオンは、(B)のエネルギーにより(E)合成酵素のはたらきによって(F)と結合し、(E)がつくられる。(E)のアミノ基の1つは(F)合成酵素のはたらきによってα-ケトグルタル酸に渡された後、(G)酵素のはたらきによって別の有機酸に渡され、さまざまなアミノ酸がつくられていく。

生物の遺骸や排泄物の分解によって有機窒素化合物が無機化されて、アンモニウムイオンが生じる。アンモニウムイオンは、^{b)}土壌中の(イ)や(ウ)のはたらきによって酸素の存在下で

硝酸イオンに変えられ、一部は植物によって吸収される。また、土壌中の無機窒素化合物は、(エ)によって窒素ガスとなり、大気中に放出される。この作用を(H)という。

一方、この窒素の循環の中で、農業により窒素が土壌中に大量に供給されたり、人間活動の増大によって生じた余剰の有機・無機窒素化合物が河川に流れ込んだりすると、内湾の富栄養化^{c)}を引き起こし、赤潮や貧酸素水塊が形成されることもある。そのために、下水処理場などでは、上記の(H)のはたらきを用いて、排水中の窒素分を減少させることもある。そのほかに、化石燃料の燃焼などに伴って、大気中の窒素と酸素から(I)が生じることがある。(I)は、大気中で強い酸に変化し、雨・霧・雪などに溶け込むことによって酸性雨の原因ともなる。

問 1 文中の(A)～(I)に入る最も適切な語句を答えなさい。

問 2 文中の(ア)～(エ)に入る生物の最も適切な組み合わせを下記の①～⑤から1つ選び、番号で答えなさい。

ア	イ	ウ	エ
① アゾトバクター	亜硝酸菌	硝酸菌	脱窒素細菌
② クロストリジウム	硝酸菌	亜硝酸菌	硫黄酸化細菌
③ ネンジュモ	亜硝酸菌	脱窒素細菌	鉄細菌
④ ゲンゲ	クロストリジウム	アゾトバクター	脱窒素細菌
⑤ 緑色硫黄細菌	亜硝酸菌	硝酸菌	紅色硫黄細菌

問 3 下線部 a) に関連する以下の設問(1)と(2)に答えなさい。

(1) マメ科植物とその根に共生する根粒菌との間には、相利共生の関係がある。これらの生物は互いにどのような利益を得ているか、説明しなさい。

(2) 異種の生物間相互作用には、根粒菌とマメ科植物の間に見られる相利共生のほかに、片利共生、寄生、中立などがある。以下の①～⑤に示す二者について、相利共生が成立していると考えられる組み合わせをすべて選び、番号で答えなさい。

- ① アリとアブラムシ
- ② キリンとシマウマ
- ③ サメとコバンザメ
- ④ ヤドリギとブナ
- ⑤ ハオリムシと硫黄細菌

問 4 下線部 b) および c) に関連する以下の設問(1)~(4)に答えなさい。

- (1) (イ)や(ウ)の多くは、植物と同様に独立栄養生物であるが、光エネルギーの代わりに化学エネルギーを用いる。光合成とは異なる、化学エネルギーを用いる炭酸同化を何とよぶか、答えなさい。
- (2) アンモニウムイオンから亜硝酸イオンがつくられるときの化学反応式を答えなさい。
- (3) 富栄養化した内湾の海底近くでは、十分なアンモニウムイオンが存在していても、硝酸イオンの蓄積がみられないことがある。上の設問(2)で答えた反応式を参考に、その理由について考えられることを 60 字以内で説明しなさい。
- (4) 窒素化合物以外の栄養塩類も富栄養化の原因物質として重要である。その栄養塩類を答えなさい。

Ⅲ 以下の文を読み、問1～問6に答えなさい。

(配点 50 点)

カエルの変態は、(ア)などの甲状腺ホルモンによって引き起こされることが知られている。哺乳類においては、このホルモンは副腎髄質から分泌される(イ)などとともに体温の調節を行っている。変態過程で幼生がもつ尾は退縮するが、この初期の過程では遺伝子によってあらかじめ仕組まれた(ウ)細胞死が重要な役割を果たす。実際にオタマジャクシの尾が退縮する初期の過程では、(ウ)細胞死によって細胞の核が崩壊しDNAが断片化する(エ)が多く観察される。一方、尾が退縮する過程の後半では、尾の細胞の貪食も重要である。この過程は貪食に特化した細胞である(オ)が担っている。変態の過程では赤血球も幼生型から成体型へと転換するが、この過程でも幼生型の赤血球は(オ)によって貪食される。

問1 文中の(ア)～(オ)に入る最も適切な語句を答えなさい。

問2 一般にオタマジャクシは長いコイル状の腸をもち、その中には多くの腸内細菌(微生物)が共生している。一方、変態後のカエルは短い腸をもちことが知られている。この腸の変化は、変態前後の食性の変化を反映したものである。この食性の変化を簡潔に説明しなさい。

問3 腸内細菌は、オタマジャクシの時期には特に重要な役割を果たしている。この役割をオタマジャクシが食べる餌の細胞学的特性とともに説明しなさい。

問4 オタマジャクシが変態を行う時期には、シトルリンからアルギニンを合成する際に必要な酵素の活性が上昇する。これは、尿として排泄する主要な物質の変化を促すためである。この反応は、どこの臓器で行われるか。また、オタマジャクシとカエルの尿中の主要な窒素化合物は何か、それぞれ答えなさい。

問5 このような尿中の窒素化合物の変化は、オタマジャクシとカエルの生態を考慮すると必須である。この変化が重要である理由を説明しなさい。

問 6 ヒラメの変態に関連する以下の設問(1)~(3)に答えなさい。

(1) ヒラメは、幼生期には眼が体の両側に備わり、通常の魚と同様に背側を上に向けて生活しているが、変態により眼が片方の体側へと移動し、着底生活を開始する。この変態にも甲状腺ホルモンが重要な役割を果たしていることを証明するために、必須の実験を以下の①~⑫からすべて選び、番号で答えなさい。なお、①~⑧の実験では、それぞれ投与した物質の溶媒のみを投与した対照区を、⑨と⑩の実験では水温を変化させない対照区を同時に行うこととする。

- ① 変態前の幼生に甲状腺刺激ホルモンを投与する。
- ② 成体に甲状腺刺激ホルモンを投与する。
- ③ 変態前の幼生に甲状腺ホルモンを投与する。
- ④ 成体に甲状腺ホルモンを投与する。
- ⑤ 変態前の幼生に甲状腺ホルモン合成阻害剤を投与する。
- ⑥ 成体に甲状腺ホルモン合成阻害剤を投与する。
- ⑦ 変態前の幼生に翻訳阻害剤を投与する。
- ⑧ 変態前の幼生に転写阻害剤を投与する。
- ⑨ 変態前の幼生の体温を上昇させるため水温を上昇させる。
- ⑩ 変態前の幼生の体温を低下させるため水温を低下させる。
- ⑪ 変態期前後の個体における血中の甲状腺刺激ホルモンを経時的に測定する。
- ⑫ 変態期前後の個体における血中の甲状腺ホルモンを経時的に測定する。

(2) 設問(1)の①~⑩の中からあなたが選んだ実験の結果生じると予想される魚として、以下のa~fから適切なものを番号ごとに選び、解答例に従って、記号で答えなさい。なお、眼が体の両側に備わり、通常の魚と同様に背側を上にしてしているものを幼生型、眼が片方の体側へと移動し、着底生活をしているものを成体型とよぶこととする。解答例：①—a

- a. 通常の変態直後と同じ大きさの成体型のヒラメ
- b. 通常の変態直後より小さな成体型のヒラメ
- c. 通常の変態直後より大きな成体型のヒラメ
- d. 通常の変態直前と同じ大きさの幼生型のヒラメ
- e. 通常の変態直前より小さな幼生型のヒラメ
- f. 通常の変態直前より大きな幼生型のヒラメ

(3) 設問(1)の①~⑩の中からあなたが選んだ実験によって導かれる結果を確実なものにするために、①~⑩の実験のうち、2つの実験を組み合わせることが有効である。その組み合わせを番号で答えなさい。また、組み合わせ実験が必要な理由を説明しなさい。

IV 以下の文を読み、問1～問6に答えなさい。

(配点 50 点)

ある生物の特定の遺伝子を含む DNA 断片を別の DNA に人工的に組み込む技術は、遺伝子組換え技術とよばれる。この技術の発展に伴って、遺伝子の構造や機能の理解が進み、生物の性質の改変も可能となった。遺伝子組換え技術は、農業や医療にも応用されている。例えば、日本で糖尿病治療に使われる(ア)の多くには、以前はウシなどの(ア)が利用されていたが、治療の際にアレルギーを引き起こす危険があったため、現在は遺伝子組換え技術によってつくられたヒトの(ア)が用いられている。^{a)}

特定の遺伝子を研究、利用するためには、生物のゲノムから目的の DNA 断片を単離・増幅させる必要があり、この操作はクローニングとよばれる。遺伝子をクローニングする方法には、大腸菌や酵母などを利用するものと、PCR を利用するものがある。大腸菌を使った一般的なクローニングは次の通りである。^{b)} まず、目的の DNA 断片とプラスミドなどの(イ)を適切な制限酵素で切断し、両者の切断末端同士を DNA リガーゼで連結する。このとき、制限酵素で切断したままのプラスミドが自己連結するのを防ぐため、アルカリフォスファターゼ処理によりプラスミドの 5' 末端のリン酸基を取り除いておく。次に、この連結反応液で大腸菌を形質転換し、適切な構造をもつプラスミドを選択する。この実験に使用したプラスミドは、アンピシリンという抗生物質を分解する酵素を合成する遺伝子を含んでいるため、形質転換した大腸菌は、アンピシリンを添加した寒天培地で生育し、コロニーを形成する。

問 1 文中の(ア)および(イ)に入る適切な語句を答えなさい。

問 2 下線部 a) について、ヒトの遺伝子を大腸菌に組み込んで目的とするタンパク質を合成する場合、実際にはヒトの遺伝子のゲノム DNA をそのまま使うのではなく、逆転写酵素により目的とする遺伝子の mRNA から逆転写した cDNA を使うことが多い。遺伝子のゲノム DNA ではなく cDNA を使う理由を 60 字以内で説明しなさい。

問 3 大学生の A さんが下線部 b)以下の手順でクローニング実験を行ったところ、コロニーが形成されなかった。そこで、次の①～④で大腸菌を形質転換したところ、表のような結果が得られた。ここからどのようなことが考えられるか、最も適切なものを以下の a～eの中から1つ選び、記号で答えなさい。

表 各 DNA による大腸菌の形質転換

	コロニーの有無
① 制限酵素処理をしていないプラスミド	あり
② 制限酵素処理をしたプラスミド	なし
③ ②のプラスミドを、アルカリフォスファターゼ処理をした後、DNA リガーゼで処理したもの	なし
④ ②のプラスミドを、アルカリフォスファターゼ処理をせず、DNA リガーゼで処理したもの	なし

- a. 制限酵素による切断がうまくいかなかった。
- b. 切断したプラスミドのアルカリフォスファターゼ処理がうまくいかなかった。
- c. DNA リガーゼが失活していた。
- d. 形質転換に失敗した。
- e. 制限酵素による切断から形質転換までは正しく行われたが、目的の DNA 断片の調製に失敗した。

問 4 目的の遺伝子を含む DNA 断片を制限酵素 BamHI と BglII で切断し(図 1), 制限酵素 BamHI と BglII の切断部位が存在するプラスミド(図 2)に連結した。このとき, 図 1 の DNA 断片は, 制限酵素 BamHI と BglII のどちらで切断したプラスミドとも連結できる。その理由を 35 字以内で説明しなさい。

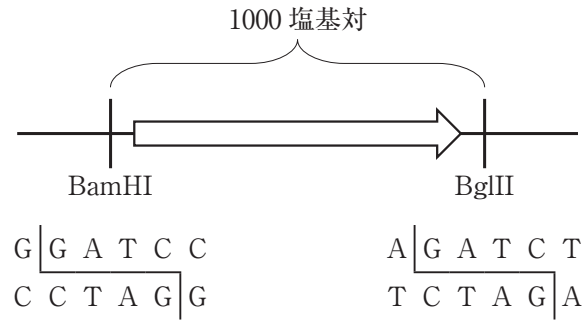


図 1 目的の遺伝子を含む DNA 断片。矢印は転写方向を示す。

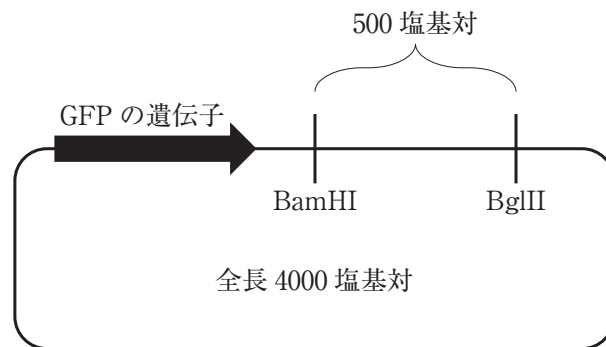


図 2 GFP の遺伝子と制限酵素 BamHI と BglII の切断部位が存在するプラスミド。矢印は転写方向を示す。

問 5 図 2 の全長 4000 塩基対のプラスミド上で, 制限酵素 BamHI と BglII の両切断部位は 500 塩基対離れている。BglII で完全切断しアルカリフォスファターゼ処理を十分に行ったプラスミドに図 1 の 1000 塩基対の DNA 断片を連結した場合, 目的の遺伝子の転写方向が, ①隣接する GFP の遺伝子と同じ向きに入る場合と, ②逆向きに入る場合の両方がある。①, ②のプラスミドを制限酵素 BamHI と BglII で切断し, アガロースゲル電気泳動を行った際に検出される DNA 断片はどのようなものか, 解答欄の点線の枠内を黒くぬりつぶして答えなさい。

問 6 近年, コムギ胚芽の抽出液を用いて, 既製のプラスミドから目的のタンパク質を試験管内で合成する技術が開発された。この方法は「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律(通称: カルタヘナ法)」の対象外の実験である。その理由を 30 字以内で説明しなさい。

V 以下の文を読み、問1～問4に答えなさい。

(配点 55 点)

種は、自然界の生物を分類する基本単位である。分類学の祖といわれるリンネは、18世紀の中ごろ、種の名前のつけ方について、統一的な基準として(ア)による学名を確立した。1つの種の学名は、(イ)と(ウ)を並べて表す。

交配して生殖能力のある子孫ができるかどうかを同種か別種かの基準にして定義される種を^{a)}(エ)とよび、ある地域に生息する同じ種の集団がもつ遺伝子の全体を(オ)という。^{b)}(オ)は、その集団内の個体がもつすべての遺伝子座の対立遺伝子で構成される。集団内の1つの遺伝子座の対立遺伝子の頻度(割合)を遺伝子頻度とよび、それが世代を経ても変化しないことを、ハーディ・ワインベルグの法則という。^{c)}

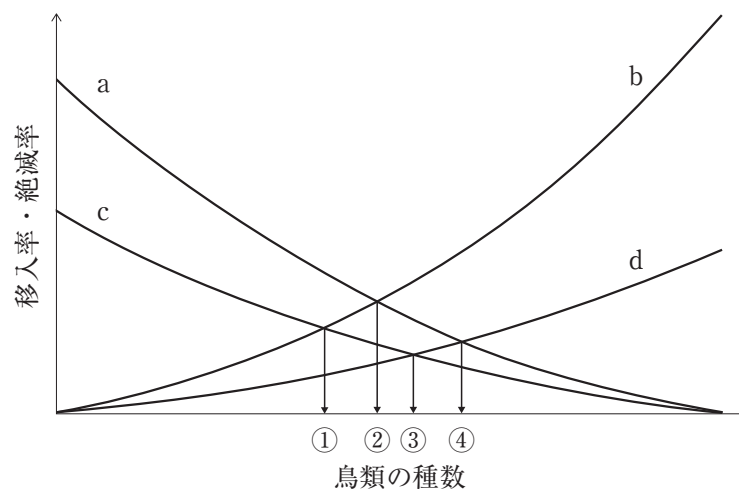
問1 文中の(ア)～(オ)に入る最も適切な語句を答えなさい。

問2 下線部a)の種概念を適用できない場合がある。どのような場合か、1つ答えなさい。

問3 下線部b)に関連する以下の文を読み、設問(1)と(2)に答えなさい。

ある地域に生息する種の集団を個体群とよび、個体群の集まりを生物群集という。島に生息する鳥類群集の種数は、大陸から新しい種が移入してくる確率(移入率)とすでにいる種が絶滅する確率(絶滅率)のバランスによって決まると考えられている。

下図は、大陸から近い島と遠い島における鳥類の移入率と種数の関係および小さい島と大きい島における鳥類の絶滅率と種数の関係を模式的に示したものである。



- (1) 図中の a～dのうち、小さい島における鳥類の絶滅率と種数の関係はどれか、1つ選び、記号で答えなさい。また、なぜそのように考えられるのか、理由を説明しなさい。
- (2) 図中の移入率と絶滅率の交点①～④は、4つの異なるタイプの島々における鳥類の種数となる。それぞれ、どのような島か、大陸からの距離(近い・遠い)と島の面積(小さい・大きい)の2つの組み合わせで答えなさい。

問 4 下線部 c)に関連する以下の文を読み、設問(1)～(3)に答えなさい。

下表は、ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つための5つの条件とそれぞれの条件が成り立たなくなった場合の集団への影響を分類したものである。

ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つための条件	左の条件が成り立たなくなった場合の集団への影響
自然選択がはたらかない	遺伝子頻度を一定の方向に変化させる
突然変異が起こらない (カ)	
(キ)	遺伝子頻度を変化させるが、その方向性は偶然によって左右される
(ク)	遺伝子型頻度を変化させるが、遺伝子頻度には影響しない

実際の生物集団では、ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つことはない。ここで、対立遺伝子 A , a (A は a に対して顕性(優性)) について、第 n 世代の誕生直後の A , a の遺伝子頻度をそれぞれ p_n , q_n ($p_n + q_n = 1$) とする。いま、ハーディ・ワインベルグの法則が成り立っている集団において、環境が変化して A や a の現す形質に自然選択がはたらくようになったと仮定する。遺伝子型 AA や Aa の個体はこれまでと同じように次世代を残すことができるが、 aa の個体は生殖可能になる前に一定の割合で死亡するものとする。 aa の個体が生殖可能になる前に死亡する割合を s ($0 < s \leq 1$) とすると、 AA や Aa の個体が次世代を残す確率は(ケ), aa の個体が次世代を残す確率は(コ)となり、さらに第 n 世代の自然選択後(生殖可能になる時点)の遺伝子型頻度は、 AA が(サ), Aa が(シ), aa が(ス)のように表すことができる。

- (1) (カ)～(ク)の各条件を10字程度で答えなさい。

(2) (ケ)～(ス)に入る最も適切な数値あるいは式を答えなさい。

(3) 第1世代の A, a の遺伝子頻度をそれぞれ $p_1 = 0.2, q_1 = 0.8$, また $s = 0.8$ とした場合, 第2世代誕生直後の a の遺伝子頻度を計算し答えなさい。計算の過程も解答欄に書きなさい。答えは, 小数第3位を四捨五入して小数第2位まで書きなさい。