

平成 30 年度 次世代の科学技術を担う人材育成事業



高校生科学技術コンテスト ファーストステージ

生物

注意事項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れなどに気付いた場合は、挙手をして監督者に知らせなさい。ただし、問題内容にかかわる質問は、受け付けません。
- 3 解答用紙には、解答欄以外に次の記入欄があるので、監督者の指示に従って正しく記入しなさい。
 - (1) 受験番号欄…受験票に記入されている受験番号を記入しなさい。
 - (2) 氏名欄…氏名を楷書で記入しなさい。
 - (3) 所属校名欄…受験票に記入されている所属校名を記入しなさい。
- 4 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離してはいけません。

受験番号	
氏名	
所属校名	

第1問

次の各問いに答えよ。

問1 次の文を読み、下の(1)、(2)の問いに答えよ。

細胞膜は、リン脂質とモザイク状に配置されたタンパク質からなり、細胞質を外界から隔てる役割を担っている。細胞膜に含まれるリン脂質分子は、**ア**性の部分が外側に向き、**イ**性の部分が内側に向いて、リン脂質の二重層を形成している。細胞の内部と外部の間を移動する水溶性の分子やイオンは、リン脂質の二重層を通過しにくいため、膜を貫通して存在するイオン**ウ**やイオン**エ**などの輸送タンパク質を通して移動する。イオン**エ**は、物質の濃度勾配に逆らって物質を輸送する。このように輸送タンパク質を通して行われる物質の輸送を能動輸送という。次の資料1は、能動輸送に関連した説明である。

資料1

細胞内外では、能動輸送によってナトリウムイオン (Na^+) とカリウムイオン (K^+) の濃度差が維持されている。このような Na^+ と K^+ の能動輸送は、細胞膜に組み込まれたナトリウム-カリウム ATP アーゼという酵素が行っている。

ナトリウム-カリウム ATP アーゼは、1分子の ATP を分解することによって取り出されるエネルギーを用いて、細胞内から細胞外へ**オ**を排出し、細胞外から細胞内へ**カ**を取り込む。このとき、細胞内の**オ**の濃度は細胞外よりも**キ**になっている。このようにして、細胞内外の Na^+ と K^+ の濃度勾配が恒常的に維持される。

(1) 文中の空欄**ア**～**エ**にあてはまる語句を記せ。

(2) 文中の空欄**オ**～**キ**にあてはまる語句の組合せとして最も適当なものはどれか。次のうちから1つ選べ。

- | | オ | カ | キ |
|---|---------------|---------------|----|
| ① | K^+ | Na^+ | 高く |
| ② | K^+ | Na^+ | 低く |
| ③ | Na^+ | K^+ | 高く |
| ④ | Na^+ | K^+ | 低く |

問2 次の文を読み、下の(1)、(2)の問いに答えよ。

ヒトの獲得免疫ではたらく抗体は、免疫グロブリンというタンパク質でできている。免疫グロブリンは、4本のポリペプチド鎖(H鎖とL鎖の組が2組ある)が結合したものである。どの抗体も基本的に同様な構造をとるが、抗体の種類により、アミノ酸配列が異なっている部分がある。これを可変部といい、可変部以外の部分を定常部という。抗体は、可変部の立体構造の違いによって、特定の抗原と特異的に結合する。これを **ア** という。次の資料2は、ヒトの抗体の多様性について説明したものである。

資料2

ヒトの抗体は、数千万種類存在するといわれている。1つの成熟したB細胞は1種類の抗体しかつくれないので、1種類の抗体を産生するB細胞が数千万種類存在することになる。このような多様性は、抗体の可変部の多様性に起因しており、未分化のB細胞から成熟したB細胞が分化する際に、3種類の遺伝子(V遺伝子、D遺伝子、J遺伝子)が連結・再編成されることによって生じる。

未分化のB細胞にある免疫グロブリンのH鎖の遺伝子領域には、V遺伝子が40種類、D遺伝子が25種類、J遺伝子が6種類存在しているとすると、H鎖の可変部の遺伝子の組合せは、**イ**通りとなる。一方、L鎖の可変部は、H鎖とは異なる種類のV遺伝子とJ遺伝子から合成される。H鎖と同様に、L鎖の遺伝子領域には、V遺伝子が35種類、J遺伝子が6種類存在しているとすると、L鎖の可変部の遺伝子の組合せは、**ウ**通りとなる。以上より、H鎖とL鎖の可変部を合成する遺伝子の組合せは、**エ**万通りとなる。

このような抗体産生のしくみを解明した **オ** は、1987年にノーベル生理学・医学賞を受賞している。

- (1) 文中の空欄 **ア** ・ **オ** にあてはまる語句を記せ。なお、**オ** については空欄に当てはまる特定の人物名をフルネームで記入すること。
- (2) 文中の空欄 **イ** ～ **エ** にあてはまる数値を記せ。なお、解答は解答欄の所定の欄に整数値で記入すること。

問3 次の文を読み、下の(1)~(3)の問いに答えよ。

ヒトの体内では、呼吸基質として、炭水化物のほかに脂肪やタンパク質も用いられる。次の図1は、ヒトの体内において炭水化物、脂肪、タンパク質が使われたときの分解経路を模式的に示したものである。

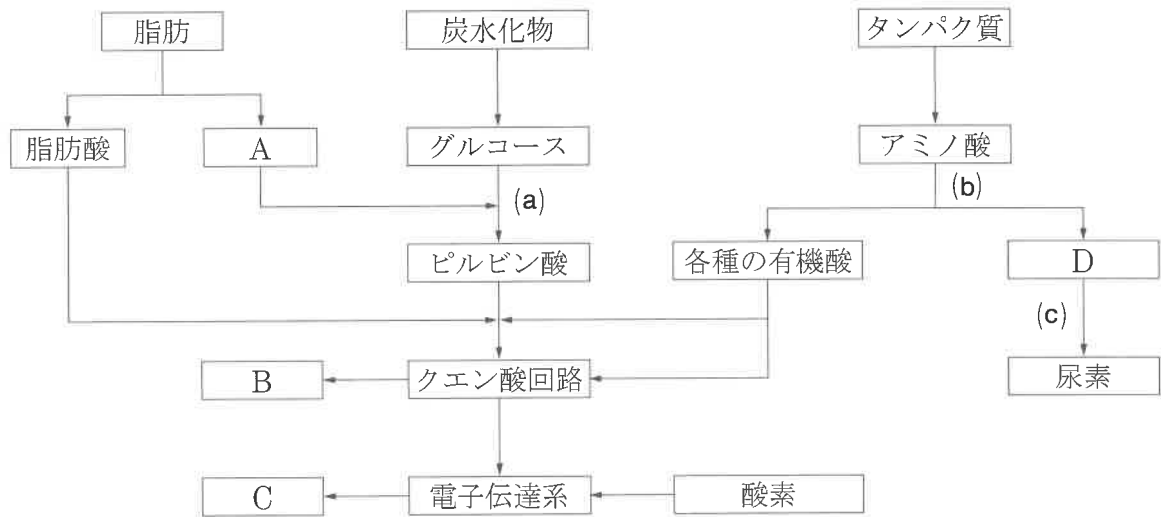


図1 呼吸基質の分解経路

(1) 図1中の空欄 **A** ~ **D** にあてはまる物質名の組合せとして最も適当なものはどれか。次の①~⑥のうちから1つ選べ。

	A	B	C	D
①	アンモニア	水	二酸化炭素	グリセリン
②	アンモニア	二酸化炭素	水	グリセリン
③	グリセリン	水	二酸化炭素	アンモニア
④	グリセリン	二酸化炭素	水	アンモニア

(2) 図1中の(a)・(b)にあてはまる反応過程の名称を記せ。

(3) 図1中の(c)の反応が起こる臓器の名称を記せ。

問4 次の文を読み、下の(1)、(2)の問いに答えよ。

次の資料3は、シュペーマンとヒルデ・マンゴルトが行った実験とその結果の概要を示したものである。シュペーマンらは、この実験結果から、「移植した原口背唇部が、未分化な胚の細胞にはたらきかけて、神経管、体節、その他の器官や組織をつくらせ、調和のとれた胚を形成させた」と結論づけた。

資料3

[実験]

クシイモリの初期原腸胚の原口の動物極側の部域を切りとり、スジイモリの初期原腸胚の腹側の予定表皮域に移植し、この胚を発生させた。

[結果]

移植を受けたスジイモリの胚は、正常胚と同様なタイミングで発生し、尾芽胚となったが、その腹側には、正常胚と比べてやや小型の尾芽胚(二次胚)が生じていた。二次胚を調べてみると、脊索、神経管の腹側・体節の一部が移植片から生じ、残りの部分は、移植を受けた胚から生じたことがわかった。

- (1) 下線部のはたらきをもつ領域の名称を記せ。
- (2) クシイモリの初期神経胚を用いて、神経板域の一部と予定表皮域の一部を互いに入れ換えて交換移植して、この胚の発生を進行させた。尾芽胚期にいたるこの胚の分化のようすを示した記述として適当なものを2つ選べ。
- ① 移植した予定表皮域の一部は、神経に分化し、二次胚を形成した。
 - ② 移植した予定表皮域の一部は、表皮に分化し、神経板からはがれ落ちた。
 - ③ 移植した神経板域の一部は、神経に分化した。
 - ④ 移植した神経板域の一部は、表皮に分化した。

問5 次の文を読み、下の(1)、(2)の問いに答えよ。

ある種の動物からニューロンを取り出して培養すると、体内にあったときの性質に応じてニューロン側のシナプスが形成されることがある。次の図2のように、培養したニューロンAとニューロンBの間、および、ニューロンBとニューロンCの間にシナプスが形成された。このとき、下の【実験1】と【実験2】を行った。なお、この培養したニューロンは、一般的なニューロンの性質にしたがうものとする。

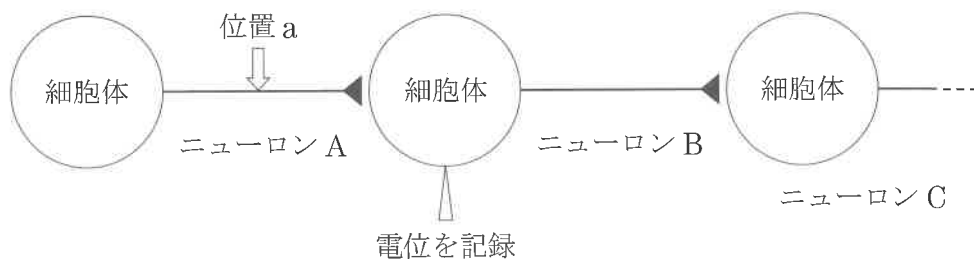


図2 培養したニューロンの概念図

【実験1】

ニューロンBの細胞体に記録電極を刺し入れ、膜電位を記録した。また、ニューロンAの軸索の位置aに刺激電極をあて、電気刺激を与えることにより、ニューロンを興奮させることができるようにした。この状態で、ニューロンAの軸索を位置aで1回だけ刺激すると、ニューロンBの細胞体からは興奮性シナプス後電位が記録された。

【実験2】

培養したニューロンを入れた培養液にカドミウムイオンを加え、ニューロンAの軸索を位置aで1回刺激すると、ニューロンBの細胞体には電位変化が現れなかった。さらに、カドミウムイオンを加えた状態で、ニューロンAの神経伝達物質をこの培養液に滴下したところ、ニューロンBの細胞体が興奮した。なお、カドミウムイオンは活動電位の発生を阻害しないことがわかっている。

(1) シナプス前細胞による神経伝達物質の放出の結果、興奮性シナプス後電位が生じるときに開くイオンチャネルとして最も適当なものを1つ選べ。

- ① カリウム (K) チャネル
- ② カルシウム (Ca) チャネル
- ③ クロライド (Cl) チャネル
- ④ ナトリウム (Na) チャネル

(2) 【実験1】および【実験2】の結果から導き出されるカドミウムイオンのはたらきに対する仮説として考えうるものを2つ選べ。

- ① ニューロン A のシナプス小胞のはたらきを阻害する。
- ② ニューロン B の受容体のはたらきを阻害する。
- ③ 電位依存性カルシウムチャネルのはたらきを阻害する。
- ④ 電位依存性ナトリウムチャネルのはたらきを阻害する。
- ⑤ ニューロンの不応期を延長する効果をもつ。
- ⑥ ニューロンの軸索における跳躍伝導を阻害する。

第2問

突然変異と遺伝子組換え技術に関する次の文章(A・B)を読み、下の各問いに答えよ。

A 生物がもつ遺伝情報の本体は、DNA(デオキシリボ核酸)という物質であることがわかっている。DNAのもつ遺伝情報は、その塩基配列によって伝えられるが、(a)さまざまな刺激などによって塩基配列に変化が生じることがある。これを突然変異という。

突然変異による塩基配列の変化には、置換、挿入、欠失などがある。1つの塩基の置換が生じて、その塩基を含むコドンが同じアミノ酸を指定している場合には、正常な遺伝子と同じタンパク質が合成され、形質には影響しない。一方、1つの塩基の置換によって指定するアミノ酸が変化する場合は形質に影響する場合があります。特に終止コドンが新たにできてしまうと、形質に大きな影響を与えることが多い。(b)1つの塩基が挿入されたり、失われたりすると、それ以降のアミノ酸配列が大きく変わる。

次の資料1は、このような塩基配列の変化のようすを把握するために用いられる「アラインメント」に関する説明である。

資料1

いま、TACGTという5つの塩基からなる塩基配列XがTCAAGCという6つの塩基からなる塩基配列Yへと変化したとする。もし、変化の過程で1つの塩基の挿入が1回だけ起こったと仮定すると、Xの各塩基間の4カ所および両端の2カ所の合計6カ所の可能性が考えられる。例えば、Xの両端に1つずつ塩基の挿入が起こった場合、XとYの関係は、次の図1のようなアラインメントによって表すことができる。なお、「↑」はXへの塩基の挿入、「↓」はXからの塩基の欠失、「○」は塩基の一致、「×」は塩基の不一致をそれぞれ示している。

塩基配列X	T A C G T
アラインメント	↑ × ○ × ↓ × ↑
塩基配列Y	T C A A G C

図1 塩基配列Xと塩基配列Yのアラインメント

問1 下線部(a)について、突然変異によるDNAの塩基配列の変化をもたらす具体的な要因を2つ挙げよ。なお、解答は解答欄の所定の欄(例1および例2)にそれぞれ15字~20字程度で記入すること。

問2 下線部(b)に関する次の(1), (2)の問いに答えよ。

(1) 下線部(b)の現象の名称として最も適当なものはどれか。次のうちから1つ選び, 記号で答えよ。

- ① スプライシング ② フレームシフト ③ 半保存的複製

(2) 下線部(b)のような現象によりアミノ酸配列が大きく変わるしくみを説明せよ。なお, 解答は解答欄の所定の欄に80字以内で記入すること。

問3 次の図2および図3は, 6つの塩基からなる塩基配列Xが6つの塩基からなる塩基配列Yへと変化したようすを示したものである。資料1を参考にして, 下の(1), (2)の問いに答えよ。

塩基配列X	A C G T G C
アラインメント	<input type="text" value="ア"/>
塩基配列Y	C A T C T T

図2

塩基配列X	A C G T G C
アラインメント	○×↓○↓×↑↑
塩基配列Y	<input type="text" value="イ"/>

図3

(1) 図2中の空欄 にあてはまるアラインメントを記せ。

(2) 図3中の空欄 にあてはまる可能性のある塩基配列Yは, 何種類が存在すると考えられるか。なお, 解答は解答欄の所定の欄に種類の数を数字で記入すること。

B ある生物の特定の遺伝子を取り出して、それを人工的に別の遺伝子の DNA に組み込む技術を、^(c)遺伝子組換え技術という。この技術を利用してさまざまな医薬品や農作物をはじめ、青いキクなどの園芸種も開発されている。

遺伝子の組換えを行うためには、まず、ターゲットとなる DNA の特定の塩基配列を識別しなければならない。次の資料 2 は、酵素を用いて DNA の塩基配列を決定するジデオキシ法について説明したものである。

資料 2

ジデオキシ法は、1970 年代の中ごろに開発された膨大な量の塩基配列を決定する方法である。この方法では、ヌクレオシド三リン酸のデオキシリボースをジデオキシリボースに置き換えたジデオキシリボヌクレオシド三リン酸を用いる。ジデオキシリボヌクレオシド三リン酸には、3'ヒドロキシ基が欠けており、これを取り込んだ DNA はそれ以上の長さには合成されない。このような性質をもつヌクレオチドを鎖停止ヌクレオチド(ターミネーター)という。

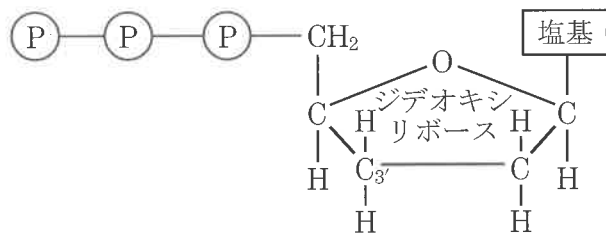


図 4 ジデオキシリボヌクレオシド三リン酸

以下に、ジデオキシ法の手順の概要を示す。なお、A、T、C、G の塩基を含む通常のヌクレオシド三リン酸を、それぞれ dATP、dTTP、dCTP、dGTP とし、A、T、C、G の塩基を含むジデオキシリボヌクレオシド三リン酸を、それぞれ ddATP、ddTTP、ddCTP、ddGTP とする。

- 手順 1 塩基配列を決定したい DNA の 1 本鎖分子(鋳型となる)、DNA ポリメラーゼ、合成に必要な短い DNA プライマー、十分な量の dATP、dTTP、dCTP、dGTP を含む混合液をつくる。
- 手順 2 手順 1 で作成した混合液を 4 本の試験管に分け、それぞれ少量の ddATP、ddTTP、ddCTP、ddGTP を別々に加え、DNA を合成させる。
- 手順 3 合成された DNA を 1 本鎖とし、^(d)電気泳動法を用いて、断片の長さを調べる。

現在では、基本的な原理は変わらないものの、4 種類のジデオキシリボヌクレオシド三リン酸のそれぞれに異なる蛍光色素を結合させて区別したり、ジデオキシ法と^(e)ポリメラーゼ連鎖反応法(PCR 法)を組み合わせるなどといった改良が行われ、塩基配列の決定はいまや完全に自動化されている。

問4 下線部(c)について、遺伝子組換え技術に関する記述として最も適当なものを、次のうちから1つ選び、記号で答えよ。

- ① 日本で治療に用いられるインスリンの多くは、特定のウイルスにヒトインスリン遺伝子を導入して生産されている。
- ② トランスジェニック植物における人為的に組み込んだ遺伝子による形質は、次の世代には受け継がれない。
- ③ ラギング鎖における複製によって生成された岡崎フラグメントは、最終的にDNAポリメラーゼのはたらきによって連結される。
- ④ プラスミドによる大腸菌への組換え遺伝子の導入は、形質転換の一種である。
- ⑤ 遺伝子の組換えは、人為的な遺伝子操作が行われないと起こらない。

問5 資料2の下線部(d)の電気泳動法によって、次の図5のような結果が得られた。最上部のddATPなどの記号は、それぞれのジデオキシリボヌクレオシド三リン酸を含む混合液のバンド構造であることを示している。また、左端のバンド構造は1塩基ごとに長さが異なるDNA断片の移動量の目安(マーカー)である。

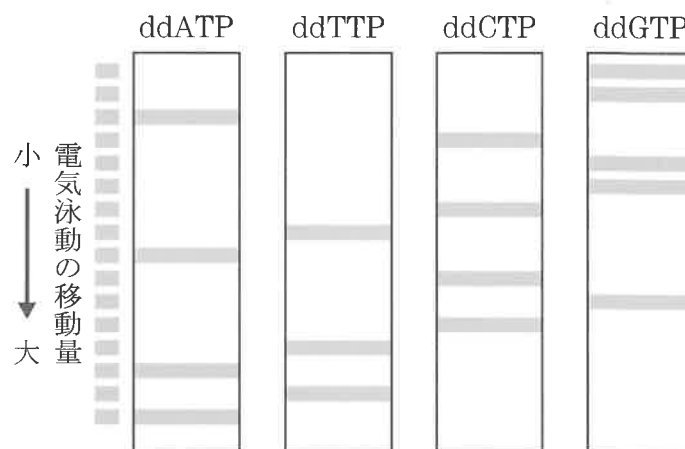


図5 電気泳動法で得られたバンド構造

なお、図5で示されたバンドのうち、分子量が最も小さいDNA断片に対応するバンドは、最初の塩基をもつジデオキシリボヌクレオシド三リン酸が直接プライマーの3'末端に結合したDNA断片によるものである。

図5のデータをもとにして、新たに合成されたDNA鎖について、最初の塩基から10番目の塩基までの塩基配列を求め、解答欄の所定の欄にA, T, C, Gの記号を用いて記入せよ。

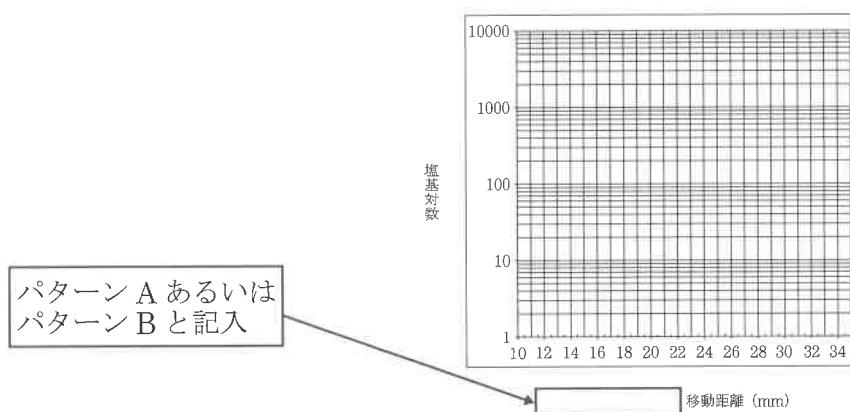
問6 塩基対数がわかっている複数のDNA断片をDNA分子量マーカーとして、調べたいDNAと同時に電気泳動法を用いると、調べたいDNAの塩基対数を推定することができる。次の表1は、DNA断片の塩基対数とそれぞれのバンドの移動距離(mm)をまとめたものである。表1を用いて、下の(1)、(2)の問いに答えよ。

ただし、表1で示したバンドの移動距離は「パターンA」と「パターンB」のいずれかが正しく、いずれかは誤りである。

表1

DNA断片に含まれる塩基対数	「パターンA」移動距離(mm)	「パターンB」移動距離(mm)
8000	30	11
4000	27	14
1000	21	20
800	20	21
200	14	27
100	11	30

(1) 表1の数値を、解答用紙の片対数グラフ上にプロットしてグラフを作成せよ。ただし、解答欄のグラフの横軸の空欄に、正しいと判断したパターンを、「パターンA」あるいは「パターンB」と記入すること。



(2) 作成したグラフを利用して、塩基対数500のDNA断片についてバンドの移動距離(mm)の推定値を求めよ。解答欄の所定の欄に数値で記入すること。

問7 下線部(e)の PCR 法では、目的とする部分の 2 本のヌクレオチド鎖の 3' 末端に結合するように人工的に合成した DNA プライマーを用いて DNA を複製（増幅）させる。次の資料 3 は、PCR 法を用いた実験の手順をまとめたものである。

資料 3 を参考にして、下の(1)~(3)の問いに答えよ。

資料 3

手順 1 もととなる DNA, DNA プライマー, 耐熱性の DNA ポリメラーゼ, DNA の合成に必要な 4 種類のヌクレオチドを十分に含む混合液をつくる。

手順 2 手順 1 で作成した混合液を約 °C に加熱する。これによって, DNA の 2 本鎖を形成している相補的な塩基どうしの弱い結合が切れ, 2 本のヌクレオチド鎖に分かれる。

手順 3 混合液の温度を約 °C に下げ, DNA プライマーをヌクレオチド鎖に結合させる。

手順 4 混合液を再び加熱して, しばらくの間, 温度を約 °C に保つ。

手順 5 上記の手順 1 ~ 手順 4 の過程を何回もくり返して, もととなる DNA と同一の DNA を多量に増幅させる。

(1) 資料 3 の文中の空欄 ~ にあてはまる数値として最も適当なものはどれか。次のうちからそれぞれ 1 つ選び, 記号で答えよ。

- ① 20~30 ② 50~60 ③ 72 ④ 84 ⑤ 95

(2) 資料 3 の手順 5 において, はじめに 1 本の 2 本鎖 DNA からスタートして, 100000 本以上の 2 本鎖 DNA を複製するためには, 手順 1~手順 4 の過程を何回以上繰り返す必要があるか。なお, 解答は, 必要最小限の回数を解答欄に数字で記入すること。

第3問

生物の光刺激に対する環境応答に関する次の文章(A・B)を読み、下の各問いに答えよ。

A 光合成を行う植物にとって、光環境の変化に対してさまざまな反応を示すことは極めて重要である。たとえば、(a)ある種子植物では種子の発芽に光刺激を必要とすることが知られている。通常、自然環境における光は、さまざまな波長の光が含まれているが、そのうち、どの波長の光が発芽誘導に重要であるかを調べるために、次の【実験】を行った。

【実験】

種子の発芽に光刺激を必要とするシロイヌナズナの種子に、波長 480 nm 付近の青色光(以下、単に青色光)と、波長 680 nm 付近の赤色光(以下、単に赤色光)を一定時間照射して発芽率の関係を調べた。次の図1は、照射する光の光量を変化させたときの、それぞれの波長における光量の相対値と発芽率の関係をグラフに示したものである。

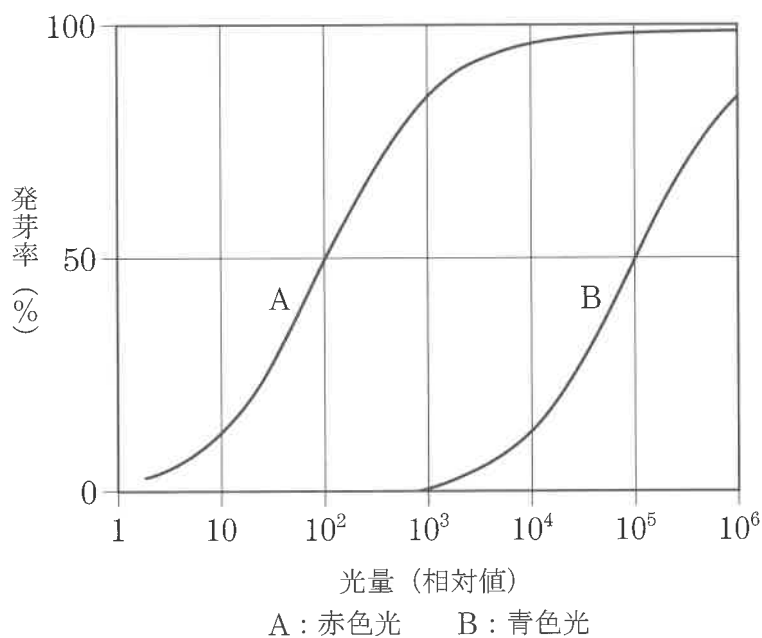


図1 波長別の光量と発芽率の関係

問1 下線部(a)に関して、次の(1)、(2)の各問いに答えよ。

- (1) このような種子を何というか。解答欄の所定の欄に記入すること。
- (2) このような種子は、林床などでは発芽しにくいことが知られている。その理由を次の語句を使用して説明せよ。使用する語句：遠赤色光、赤色光
なお、解答は解答欄の所定の欄に60字以内で記入すること。

問2 発芽率を50%とすると、青色光に対する赤色光の発芽効率を求めよ。なお、解答は解答欄の所定の欄に数値で記入すること。

問3 図2は、シロイヌナズナの種子に含まれている代表的な光受容色素(フィトクロム、クリプトクロム、フォトトロピン)の各波長に対する吸光度を表したグラフである。シロイヌナズナにおける発芽誘導に対して発芽効率の高い光合成色素として最も適当なものはどれか。なお、解答は解答欄の所定の欄に光受容色素の名称で記入すること。

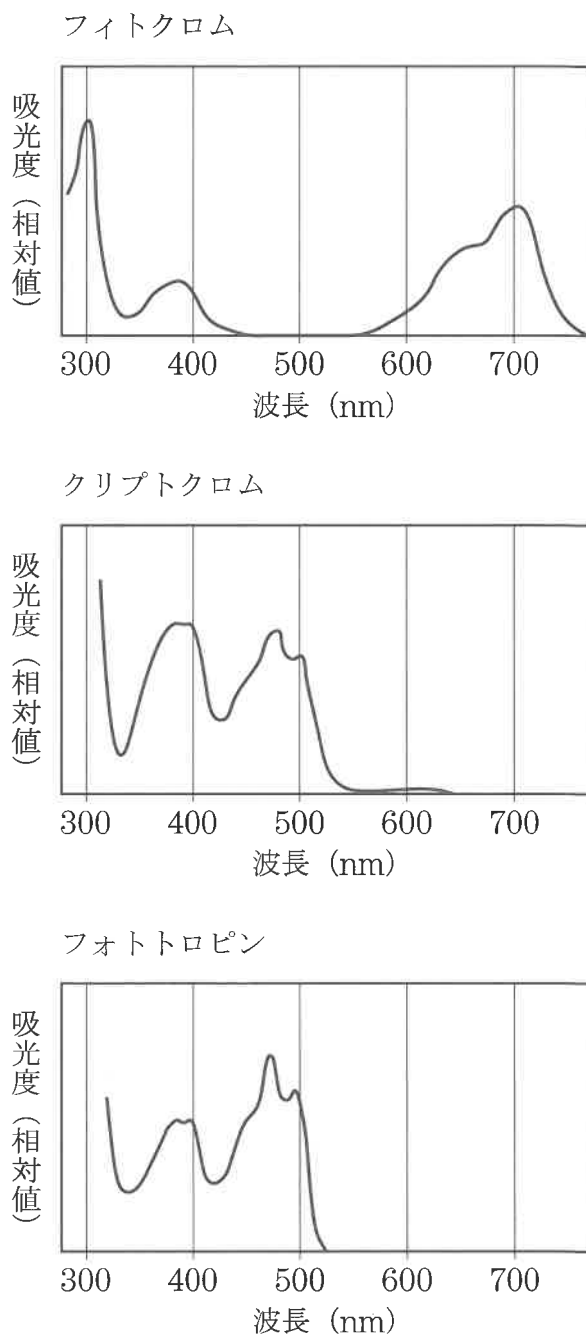


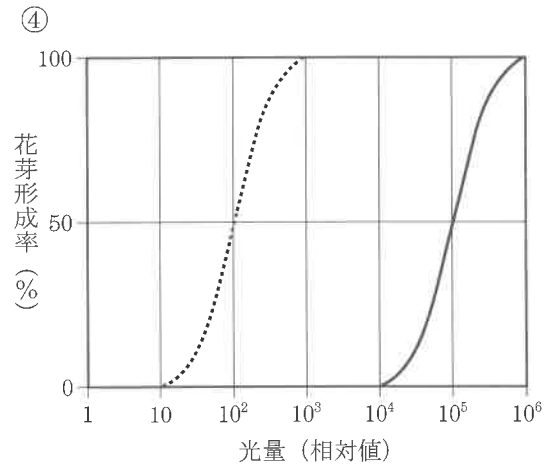
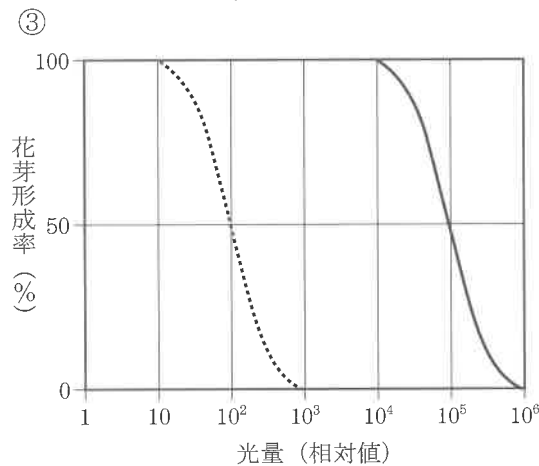
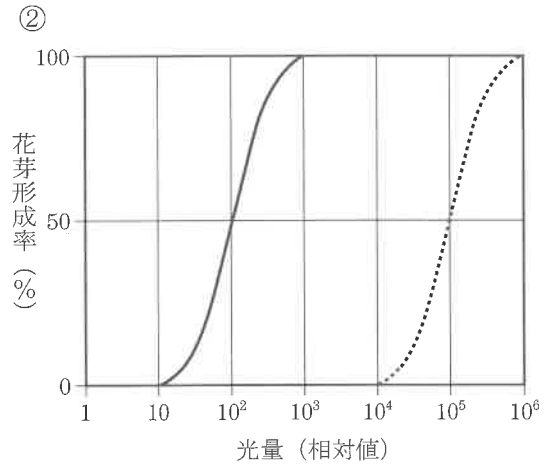
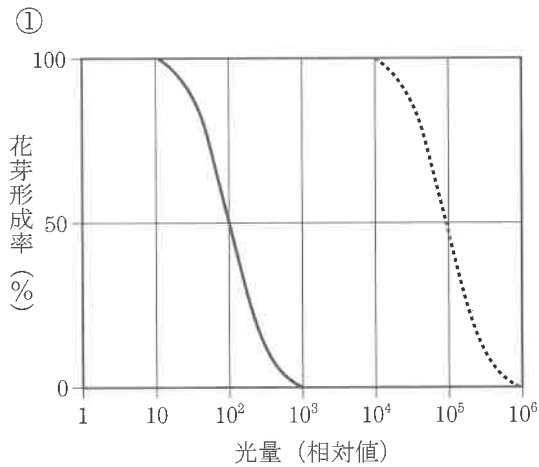
図2 波長に対する光受容色素の吸光度

問4 植物は日長条件の変化にも敏感に応答する。タバコのように、^(b)一定時間以上の暗期で花芽を形成する植物は広く知られているが、このような植物では暗期の途中で^(c)短時間の照射を行うと花芽形成が抑制されることも知られている。この現象に關与する光の波長と感受性も、文中で述べた光の波長と一致することが明らかとなった。これについて、次の(1)~(3)の各問いに答えよ。

(1) 下線部(b)のような植物を一般に何というか。

(2) 下線部(c)のような処理方法を何というか。

(3) このような現象について、波長 480nm 付近の青色光と、波長 680nm 付近の赤色光の効果を比較したところ、どのような結果が予想されるか。グラフの概形として考えられるもののうち最もふさわしいものを図の①~④から1つ選べ。(実線：青色光、破線：赤色光)



B 地球上では、24時間を周期とした明暗の周期が繰り返されており、それに応じて、自然状態では、多くの動物が約24時間を単位とする活動周期を示す。

たとえば、夜行性であるマウスは暗期に活動し、明期には活動を休止する。しかし、常に光を当てない条件（以下、恒暗条件という）においても、マウスはおよそ24時間（24時間ちょうどではない）の周期で行動するようになる。このように、動物や植物などに生得的に備わっている固有のリズムを概日リズムといい、一般に、これらの生物の活動周期を概日周期という。このしくみは、ヒトからショウジョウバエをはじめとする動物、植物、菌類や細菌にまで広く存在する。

そこで、マウスにおける概日リズムの形成と明暗周期に対する同調について調べるために、次の【実験1】～【実験3】を行った。

【実験1】

日光を遮断した照明付きの飼育箱にマウスを入れ、回し車の回転の有無を数日間自動的に記録した。図3のLD（Light-Dark）と示された時期には、明暗周期を12時間おきで周期的に変動させており、12時間の明期（6:00～18:00）と12時間の暗期（18:00～翌朝6:00）を繰り返し、人工的に日長条件を統一した。その後、DD（Dark-Dark）と示された時期に、マウスの飼育箱に光をまったく照射しないようにして恒暗条件（常に暗期）とした。

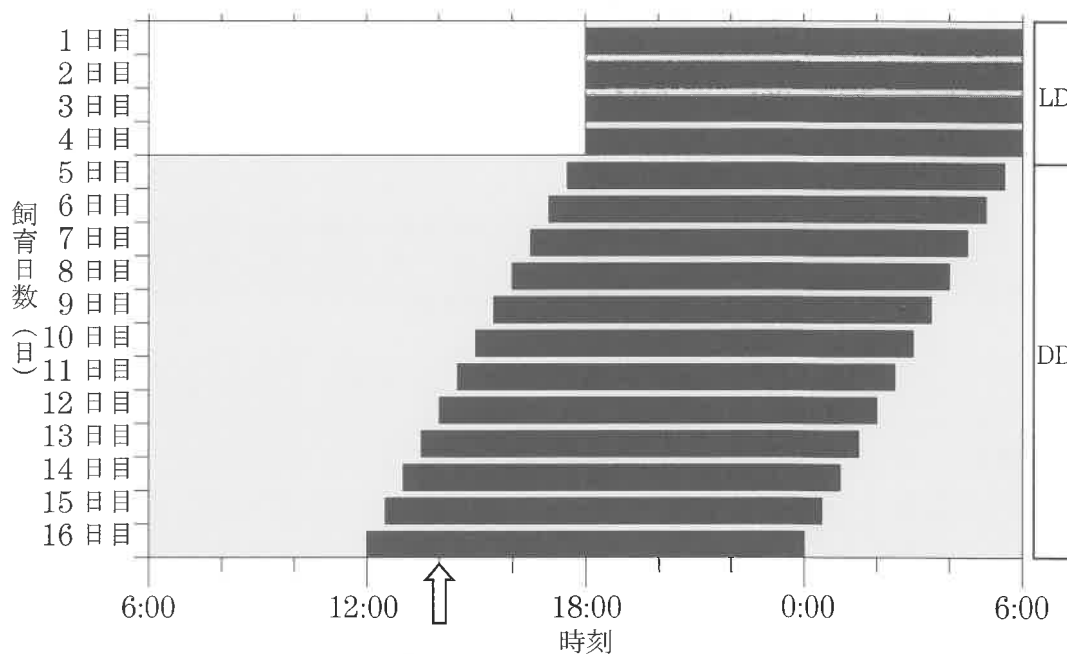


図3 マウスの活動グラフ
(黒で示された部分はマウスの活動期を表す。)

問5 【実験1】に関して、LDの時期に対してDDの時期のマウスの活動リズムはどのように変化したか。なお、解答は解答欄の所定の欄に、この実験で用いたマウスの概日周期を明確に示した上で、50字以内で記入すること。

[実験 2]

[実験 1] で得られた結果から、マウスは恒暗条件下では一定の活動周期を刻むことがわかった。恒暗条件下において一定の活動周期を示すようになったマウスに、さまざまな時間帯で短時間の光照射を行ったところ、マウスの活動周期は保たれたまま、次の周期の始まりが早まったり遅れたりする現象がみられた。この現象は、一般にフェーズシフト（位相変化）と呼ばれ、その度合いは「本来、次の周期（活動時間帯）が始まる時刻」より早くなっていればプラス+（前進）、遅れていけばマイナス-（後退）で表される。

図 4 の位相-反応曲線は、マウスにさまざまな時間帯に光照射を行ったときのマウスのフェーズシフトの度合いを計測し、時間ごとのフェーズシフトの度合いを記録したものである。横軸の数字は、マウスの活動開始時刻と光照射を行った時刻の差を示している。なお、正号（+）は活動開始時刻より後に、負号（-）は活動開始時刻より前に光照射を行ったことを示している。

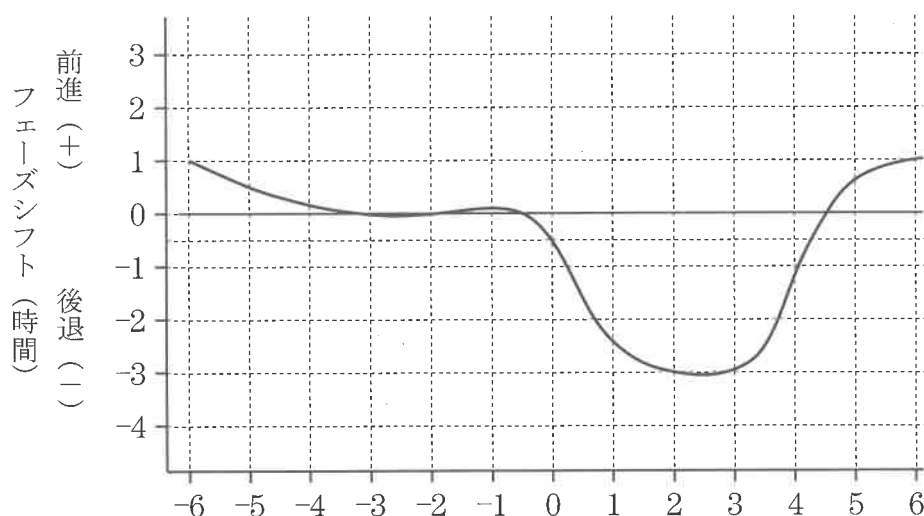


図 4 位相-反応曲線

問 6 [実験 2] で得られた結果を参考に、図 3 の飼育日数 16 日目に白矢印 (↑) で示す時刻（活動開始 2 時間後）に光照射を受けたマウスが、翌日の飼育日数 17 日目に活動を開始すると考えられる時刻を求め、その理由とともに記せ。なお、解答は解答欄の所定の欄に 60 字以内で記入すること。

[実験3]

図5に示すように、恒暗条件で一定周期を示すマウスに対し、飼育日数10日目を境に毎日定時に光照射（○で示す）を繰り返す条件下でマウスの飼育を行った。

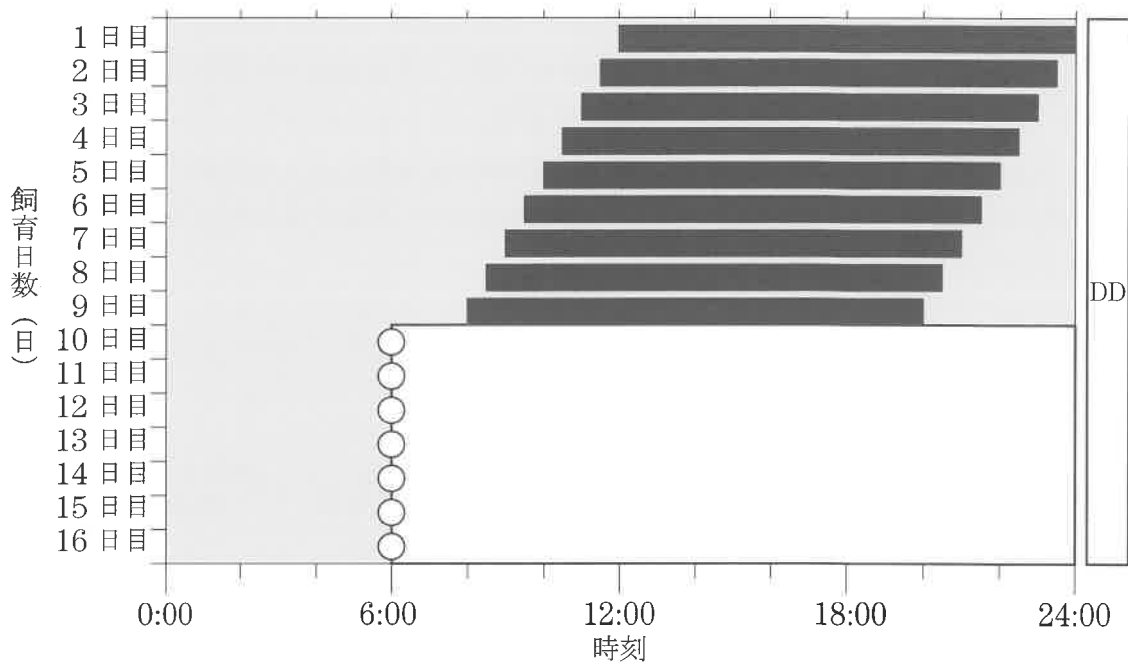


図5 定時光照射条件下におけるマウスの活動グラフ

問7 **[実験3]** に関して、図5の空欄に当てはまるマウスの活動グラフの続きを、図3にならって解答欄に記入せよ。

問8 恒暗条件で25時間の概日周期を示し、位相-反応曲線が図4と同じである生物を仮定する。また、この生物の活動時間は、概日周期の2分の1とする。活動開始が24時であったとし、**[実験3]**と同様に毎日定刻6時に光照射を繰り返す条件下で、この生物はどのような活動リズムを示すか。なお、解答は解答欄の所定の欄に、活動開始時刻を明確に示した上で、50字以内で記入すること。

第4問

生物の個体数の変化となわばりに関する次の文章(A・B)を読み、下の各問いに答えよ。

A 日本では、シカの分布の拡大と個体数の増加による生態系の破壊が深刻化している。シカは増えやすく減りやすい動物であるため、生命表を作成し、個体密度の管理を行うことが必要とされている。次の表1は、シカのある個体群を観測した1年目と2年目の齢別個体数、個体あたりの1年後の生存率1年後、個体あたりの繁殖率(1年間にメス1頭あたりが産んだ子の数)を示した生命表である。なお、シカは、一夫多妻制で、妊娠したメスは年に1頭の子を産むものとする。

表1

観測年	年齢	オス		メス			全個体数
		個体数	個体あたりの生存率	個体数	個体あたりの生存率	個体あたりの繁殖率	
1年目	1才未満	160	0.5	160	0.5	0	1020
	1~2才未満	80	0.8	80	1.0	0.3	
	2才以上	240	0.9	300	1.0	0.9	
2年目	1才未満	ア		イ			1114
	1~2才未満	ウ		エ			
	2才以上	オ		カ			

問1 表1中の空欄ア~カにあてはまる最も適当な数値を記せ。ただし、オスとメスの出生比を「1:1」とする。

問2 個体数を抑制するため、観測1年目の個体群から、繁殖期よりも前に捕獲除去を計画した。X~Zの方法で捕獲除去を行った場合、2年目の全個体数が最大、または、最小となるものを、それぞれ次のX~Zのうちから1つ選び、それぞれの方法で予想される全個体数を答えよ。ただし、捕獲されなかった個体について、個体あたりの生存率および繁殖率は、表の値が維持されるものとする。

X: 2才以上のオス個体のうち、100個体を捕獲除去する。

Y: 1才未満のメス個体のうち、100個体を捕獲除去する。

Z: 2才以上のメス個体のうち、100個体を捕獲除去する。

次の資料 1 は、区画法による個体群の大きさの推定法に関する説明である。

資料 1

個体の分布が一様分布あるいはランダム分布の場合、個体群の大きさ (N_1) は、区画内の個体群密度 (n) に、個体群が存在する地域全体の面積 (A) と区画の面積 (B) の比 $\frac{A}{B}$ を乗じた値になる。

$$N_1 = n \times \frac{A}{B}$$

一方、集中分布の場合は、高密度の場所 C と低密度の場所 D における個体群密度 (n_C, n_D とする) は大きく異なり、これらの個体群密度と、区画の面積 (B) に対するそれぞれの場所の面積 (C, D とする) の比 $\left(\frac{C}{B}, \frac{D}{B}\right)$ との積の総和が個体群の大きさ (N_2) となる。

$$N_2 = n_C \times \frac{C}{B} + n_D \times \frac{D}{B}$$

問3 区画法を用いて、調査地 A (面積 100 m^2) と調査地 B (面積 200 m^2) である草本の個体群密度を調べた。なお、調査地 A における分布はランダム分布、調査地 B における分布は集中分布とする。調査地 A では 1 m^2 の区画を 9 個、調査地 B では 4 m^2 の区画を 9 個、それぞれの調査地内でほぼ均等に配置して設定した。各区画の個体群密度は、表 2 のようであった。以下、個体群密度が $5 \text{ 個体数} / \text{m}^2$ を超える場所を「高密度の場所」、個体群密度が $5 \text{ 個体数} / \text{m}^2$ を超えない場所を「低密度の場所」と定義する。また、高密度の場所と低密度の場所の調査地全体内での面積比は、区画での高密度と低密度の出現比と同じであるとしてよい。資料 1 を参考にして、それぞれの調査地における個体群の大きさを求め、その数値を記せ。解答欄の所定の欄に、小数点以下第 1 位を四捨五入した整数値で記入すること。

表 2

調査地 A		調査地 B	
区画	個体群密度 (個体数 / m^2)	区画	個体群密度 (個体数 / 4 m^2)
1	3	1	9
2	2	2	1
3	2	3	3
4	3	4	0
5	4	5	2
6	5	6	2
7	3	7	7
8	2	8	0
9	3	9	8

次の資料2は、生物多様性を評価するために用いられる多様度指数について説明したものである。

資料2

ある集団内における生物種の種類が i 種類存在するとき、次の式で与えられる値を多様度指数という。

$$\begin{aligned} \text{多様度指数} &= 1 - (P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + \dots + P_i^2) \\ &= 1 - \left\{ \left(\frac{n_1}{N} \right)^2 + \left(\frac{n_2}{N} \right)^2 + \left(\frac{n_3}{N} \right)^2 + \dots + \left(\frac{n_i}{N} \right)^2 \right\} \end{aligned}$$

P_i はある生物種の出現頻度、 n_i はその集団内のある生物種の個体数、 N はその集団内の生物の総個体数を表す。多様度指数は、多様性が高いほど1に近い値となる。

面積や水量などの環境条件が同じ6枚の水田を対象として、あぜの草刈頻度とあぜに出現する植物食の昆虫(植食性昆虫)の多様性との関係を調べた。それぞれの水田において、年間あたり、あぜの草刈を0回、1回、2回、3回、4回、5回のいずれかを行い、一定期間後にあぜに出現する6種(A~F)の植食性昆虫の出現個体数を記録した(表3)。

なお、それぞれの水田は、互いに離れた場所に位置しており、他の水田の草刈による影響は受けないものとする。

表3

水田 (番号)	草刈 (回数/年)	あぜの植食性昆虫6種の出現個体数(n)						総個体数
		A	B	C	D	E	F	
1	0	2000	0	0	0	0	0	2000
2	1	1050	150	0	150	150	0	1500
3	2	240	240	240	240	120	120	1200
4	3	80	80	80	80	400	80	800
5	4	0	0	50	100	350	0	500
6	5	0	0	0	0	300	0	300

問4 表3の結果から、あぜの植食性昆虫の多様度が最大となる水田の番号を1つ選び、その水田の多様度指数の値を求めよ。解答欄の所定の欄に、小数点以下第2位までの値で記入すること。

問5 多様度が最大になるための植食性昆虫の種構成に関する条件を2つ挙げよ。なお、解答は解答欄の所定の欄(条件1および条件2)に、それぞれ20字以内で記入すること。

B 一夫多妻制のつがい関係を結ぶ動物では、必ずしもオスどうしの間での力関係だけでその関係が決定するのではなく、多くの場合、メスがつがい相手のオスを選ぶことでも生じることが知られている。ある種の鳥類は繁殖期になると、オスがなわばりをつくり、そこにメスが訪れて繁殖する。メスが繁殖するつがいの相手のオスを選ぶ基準は、そのオスのもつなわばりから自分がどれだけ利益を得られるかで決まる。ここで、オスがメスに対してどれくらい利益を与えるかを示す量をなわばりの広さやなわばり内のエサの量などから算出し、その相対値をオスの「なわばりの質」と呼ぶことにする。

この鳥類の繁殖地を訪れたところ、表4のようにA～Eの5個体のオスがなわばりをつくっており、その「なわばりの質」にはオスどうしの間で差がみられた。また、すでに1個体のメスとつがい関係を持ち、繁殖を始めているオス(オスB, オスC)もいた。

その後、新たに5個体のメス(第1～第5訪問メス)が順に訪れて、つがい相手となるオス個体を選ぶようすが観察された。

表4

オス個体	オスの「なわばりの質」	なわばり内のメスの数
A	3.1	0
B	17.6	1
C	10.6	1
D	4.4	0
E	8.5	0

ここで、それぞれのメスは、下記の5つの条件のもと、つがい相手として最も利益が得られるオス個体を選ぶものとする。

〔条件1〕 オスの「なわばりの質」は、数値が大きいほど質が高い。

〔条件2〕 オスの「なわばりの質」は、繁殖期間中は常に変わらない。

〔条件3〕 オスの1個体が受け入れるメスは、2個体までである。

〔条件4〕 メスの利益は、なわばり内のメスどうしの間で均等に分配される。

〔条件5〕 それぞれのメスは、1個体あたりのオスの「なわばりの質」が高いほど高い利益を得る。

問6 表4および上記の5つの条件をもとに考えて、第1, 第3, 第5訪問メスが選んだオス個体として最も適当なものを記せ。解答は、それぞれA～Eの記号で記入すること。

ある河川に、種 N の魚類 (以下、種 N) が生息している。この種 N は、河川の流に乗って流下する水生昆虫をエサとして利用している。各個体は互いに排他的な生活空間であるなわばりを持ち、この中にとどまってエサをとる。このとき、各個体はそれぞれのなわばりの最も上流に位置して採食し、なわばり内のほかの個体を排除している。この河川に長さ 5 m の実験区間を設け、実験区間内および実験区間の前後から魚をすべて除去して以下の実験を行った。

[実験 1]

この実験区間にそれぞれ体のサイズが異なるように選んだ 10 個体の種 N を放したところ、8 個体 (表 6 の個体番号 1~8) が実験区間内になわばりをもった。一方、なわばりをもたなかった 2 個体 (個体番号 9 と 10) は実験区間外に出ていった。実験区間内に流れ込むエサの量は常に一定で 100 mg/分であるとする。このエサを魚が食べることによって、流下するエサの量が減少する。

各個体の採食量となわばりの大きさをそれぞれ表 6 に示す。ここで、採食量は個体が生存するのに必要な時間あたりのエサの量で表し、なわばりの大きさは水平方向の個体間の距離で表した (図 1 参照)。このとき、地点ごとのエサの供給量を図 2 に示す。この図を「エサ供給構造図」と呼ぶことにする。

表 5

個体番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
採食量 (mg/分)	20	20	10	10	10	5	5	5	4	4
なわばりの大きさ (cm)	75	75	50	50	50	50	25	25	-	-

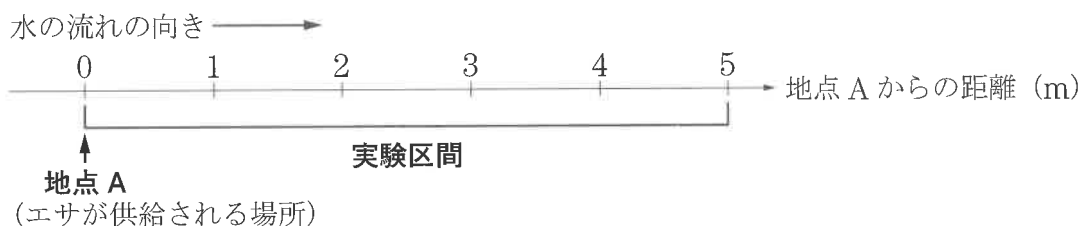


図 1

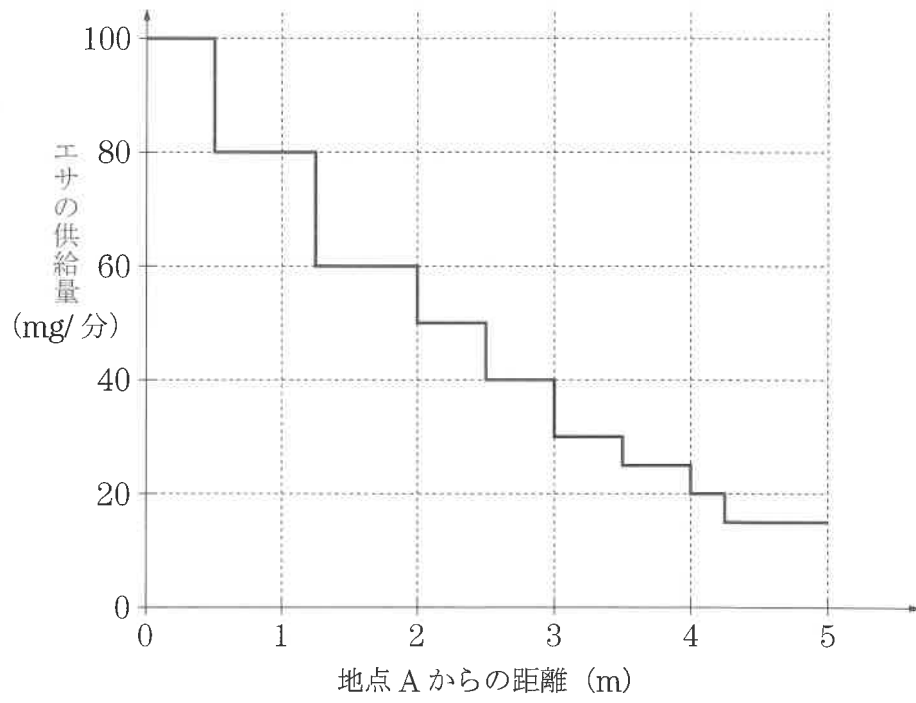


図2 種 N のエサ供給構造図

[実験 2]

実験区間から種 N を除去し、この河川に生息する種 I の魚類（以下、種 I）を新たに 5 個体放したところ、図 3 のようなエサ供給構造図（実線部分）が得られた。図 3 の破線部分は、比較のため、図 2 の種 N のエサ供給構造図を重ねて示したものである。ここで、地点 A から数えて 3 番目のなわばりの大きさは 75 cm であった。また、なわばりをもたなかった個体は実験区間外へ出ていった。

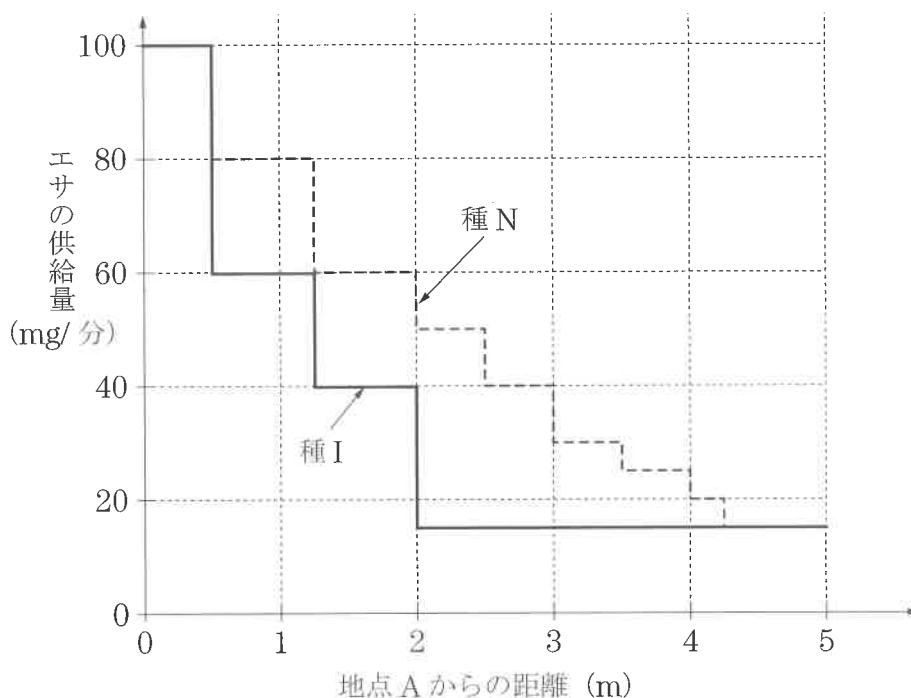


図 3 種 I のエサ供給構造図（破線は種 N）

[実験 3]

種 I を除去し、[実験 1] で用いた 10 個体の種 N と、[実験 2] で用いた 5 個体の種 I を実験区間に放した。種 I は攻撃性が強く、種 N をなわばりの中から排除するのが観察された。

問 7 種 I の個体の採食量となわばりの大きさについて、[実験 2] の結果からわかることを 40 字以内で述べよ。

問 8 [実験 3] の結果、実験区間内になわばりをもった個体は種 N、種 I それぞれ何個体であったかを推定せよ。また、このときのエサ供給構造図がどのようなになるか図に示せ。

平成 30 年度 次世代の科学技術を担う人材育成事業



高校生科学技術コンテスト
ファーストステージ

生物

解答解説

受験番号	
氏名	
所属校名	

福岡県教育委員会

第1問

【出題のねらい】

細胞膜の構造とはたらき、抗体の多様性、呼吸基質の分解経路、形成体による誘導に関する実験、培養したニューロンを用いた実験をテーマとして、さまざまな分野における基本的な内容の問題を中心に小問集合の形で出題した。問5(2)は、シナプスにおける物質移動に関する知識を前提とした、思考力を問う問題である。

【解答】

問1 (1) **ア：親水**, **イ：疎水**

ウ：チャネル

エ：ポンプ

(2) ④

問2 (1) **ア：抗原抗体反応**

オ：利根川進

(2) **イ：6000**, **ウ：210**, **エ：126**

問3 (1) ④

(2) (a) 解糖系

(b) 脱アミノ反応

(3) 肝臓

問4 (1) 形成体(オーガナイザー)

(2) ②, ③

問5 (1) ④

(2) ①, ③

【解説】

問1

(1) 細胞膜に含まれるリン脂質分子は、疎水性の部分どうしを内側に向け、親水性の部分を外側に向けるようにして、2層に並んで安定した構造をとっている。受動輸送を行う輸送タンパク質は、イオンチャネルであり、能動輸送を行う輸送タンパク質はイオンポンプである。

(2) 資料1はナトリウムポンプの機能を説明したものである。ナトリウム-カリウム ATP

アーゼが ATP を分解すると、そのときに取り出されたエネルギーを用い、濃度勾配に逆らって細胞外へ Na^+ を排出し、細胞内へ K^+ を取り込んでいる。このとき、 Na^+ の濃度は、細胞外よりも細胞内の方が低くなっているため、能動輸送が必要となる。

問2

(1) 抗体が特定の抗原と結合する反応を、抗原抗体反応という。空欄オには、1987年に「抗体の多様性に関する遺伝的原理の発見」によりノーベル生理学・医学賞を受賞した「利根川進」があてはまる。

(2) 空欄イ：V 遺伝子が 40 種類、D 遺伝子が 25 種類、J 遺伝子が 6 種類であるから、
 $40 \times 25 \times 6 = 6000$ (通り)

空欄ウ：V 遺伝子が 35 種類、J 遺伝子が 6 種類であるから、

$35 \times 6 = 210$ (通り)

空欄エ：空欄イと空欄ウの結果より、

$6000 \times 210 = 126$ 万 (通り)

問3

(1) 脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解され、アミノ酸はアンモニアと各種の有機酸に分解される。クエン酸回路で発生するのは二酸化炭素、電子伝達系では酸素が消費され、水が生じる。したがって、④が正しい。

(2) グルコースからピルビン酸が生成される反応過程は解糖系、アンモニアから尿素が合成される反応過程は脱アミノ反応と呼ばれる。

(3) アンモニアから尿素を合成する臓器は肝臓である。

問4

(1) 下線部のはたらきをもつ領域は「形成体」あるいは「オーガナイザー」と呼ばれる。

(2) 初期神経胚では予定運命がすでに決まっているため、移植した予定表皮域の一部は、表皮に分化し、神経板からはがれ落ちる。

また、移植した神経板域の一部は、神経に分化する。したがって、②と③が正しい。

問5

- (1) シナプス前細胞による神経伝達物質が放出されると、シナプス後細胞に膜電位が生じ、このときに生じる膜電位の変化をシナプス後電位という。また、ナトリウム (Na) チャネルが開いて生じる脱分極性のシナプス後電位を興奮性シナプス後電位、クロライド (Cl) チャネルが開いて生じる過分極性のシナプス後電位を抑制性シナプス後電位という。したがって、④が正しい。
- (2) 活動電位がシナプス前細胞の神経終末内部まで伝導すると、電位依存性カルシウムチャネルが開いて、Ca⁺が神経終末内部に流入する。その後、シナプス小胞がシナプス前細胞のシナプス間隙と接する膜(シナプス前膜)と融合し、神経伝達物質がシナプス間隙に放出され、シナプス後細胞のシナプス間隙と接する膜(シナプス後膜)で受容される。

【実験1】において、ニューロンAの軸索を位置aで刺激したとき、ニューロンBの細胞体で興奮性シナプス後電位が記録されたことから、ニューロンAとニューロンBとの間にあるシナプス間隙では正常に興奮が伝わっていることがわかる。

【実験2】において、カドミウムイオンを加え、ニューロンAの軸索を位置aで刺激したとき、ニューロンBの細胞体に電位の変化が現れず、神経伝達物質を直接加えたときに、ニューロンBの細胞体が興奮したことから、「ニューロンAのシナプス小胞のはたらき」あるいは「電位依存性カルシウムチャネルのはたらき」が阻害されている可能性が高いと考えられる。

以上より、カドミウムイオンのはたらきに対する仮説として考えうるのは、①と③である。

第2問

【出題のねらい】

突然変異と遺伝子組換え技術をテーマとして、塩基配列を決定するジデオキシ法やDNAの増幅法であるPCR法などに関する思考力・判断力を問う問題を出題した。

【解答】

問1 例1：ある種の化学物質によるDNAの損傷 など

例2：放射線や熱の影響によるDNAの損傷 など

問2 (1) ②

(2) 1つのアミノ酸は3つの塩基が1組となって指定されるため、1つの塩基の挿入や欠失により、それ以降の組合せがすべてずれてしまい、アミノ酸の種類が変わってしまうため。

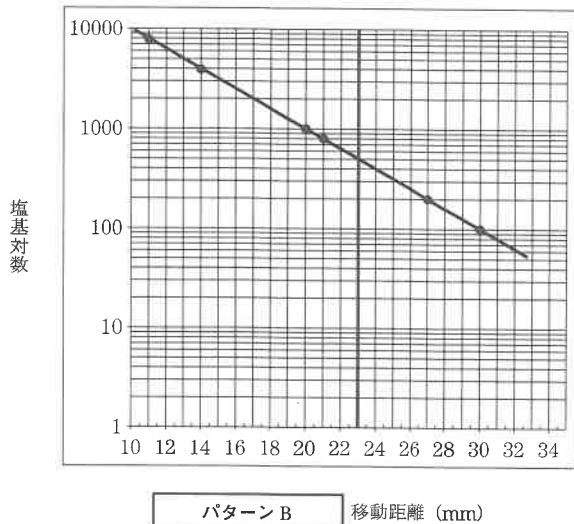
問3 (1) ↓○×○×↓↑↑

(2) 144種類

問4 ④

問5 A T A T C G C A T C

問6 (1) 下図参照 (2) 約23 mm



問7 (1) ウ：⑤, エ：②, オ：③

(2) 17回以上

[解説]

問1 突然変異による塩基配列の変化は、ある種の化学物質によるDNAの損傷、放射線や熱の影響によるDNAの損傷などによって起こる。なお、核・ミトコンドリア・葉緑体において、DNAあるいはRNA上の塩基配列に物理的変化が生じることを遺伝子突然変異といい、染色体の数や構造に変化が生じることを染色体突然変異という。本問においては、前者を「突然変異」としている。

問2

- (1) スプライシングとは、mRNA前駆体からmRNAが生成する際に遺伝情報に含まないイントロンが切り捨てられる工程のことである。また、もとの1本のヌクレオチド鎖と新たに作成された1本のヌクレオチド鎖からなる2本鎖DNAが複製されるしくみを半保存的複製という。下線部(b)のような現象は「フレームシフト」という。
- (2) 1つの塩基の置換では、その部分のコードンによって指定されるアミノ酸の種類が変わる(ただし、置換後のコードンの指定するアミノ酸の種類が置換前と同じこともある)。1つのアミノ酸は3つの塩基を1組とするコードンによって指定されるため、1つの塩基の挿入や欠失が起こると、それ以降のコードンの組合せがすべて1つずつずれてしまい、指定されるアミノ酸の種類が変わってしまう。

問3

- (1) 塩基配列X「ACGTGC□□」(□は塩基が挿入される場所)に対して塩基配列Yは「■CATC■TT」(■は塩基が欠失した場所)であるから、□の部分は「↑」、■の部分は「↓」、左から2番目のCと4番目のTは共通しているので「○」、それ以外は塩基の種類が変わっているため「×」があてはまる。

- (2) 塩基が置換している左から2番目と6番目には、それぞれもとの塩基以外の3種類の塩基があてはまる可能性がある。また、塩基が挿入された「↑」の2カ所の部分には、それぞれ4種類の塩基のいずれかがあてはまる可能性がある。したがって、塩基配列Yにあてはまる可能性のある塩基配列は、

$$3 \times 3 \times 4 \times 4 = 144 \text{ (種類)}$$

となる。

問4

- ① 日本で治療に用いられているインスリンの多くは、ウイルスではなく、大腸菌や酵母菌などの細菌にヒトインスリン遺伝子を導入して生産されている。(誤)
- ② トランスジェニック植物をはじめとするトランスジェニック生物には、外部の遺伝子が受精卵の核のDNAに組み込まれるため、生殖細胞を含むすべての細胞に外部の遺伝子が導入され、次の世代にも受け継がれる。(誤)
- ③ 隣どうしの岡崎フラグメントを最終的に連結させるはたらきをもつ酵素は、DNAポリメラーゼではなく、DNAリガーゼである。(誤)
- ④ プラスミドによる大腸菌への組換え遺伝子の導入は、形質転換の一種である。(正)
- ⑤ 遺伝子の組換えは、人為的な遺伝子操作だけでなく、交配時の染色体どうしの交さや突然変異などにより、自然界でも頻繁に起こっている。(誤)

問5 DNA断片の分子量が小さいほど、電気泳動の移動量は大きくなるので、左端のマーカーのバンドのうち、最も下にあるバンドがDNAプライマーに1つのヌクレオチドが結合したヌクレオチド鎖によるものである。4つのバンド構造の中で、最も下にあるバンドはddATPを含む混合液のバンドであることから、下から順に、「DNAプライマー+塩

基 A], 「DNA プライマー+塩基 A+塩基 T], 「DNA プライマー+塩基 A+塩基 T+塩基 A」などと考えていけばよい。下から 10 番目まで考えると, 「DNA プライマー+A+T+A+T+C+G+C+A+T+C」となる。

問6

- (1) DNA 断片に含まれる塩基対数が多いほど DNA 断片の分子量が大きくなることから, 塩基対数が多いものほど移動距離は小さくなるはずである。よって, 移動距離のデータのうち, 正しいデータは「パターン B」である。そこで, 表 1 のデータを「塩基対数 8000 のとき, パターン B の移動距離 11 mm」となる位置にプロットし, 以下同様に, 塩基対数 100 までプロットすればよい。次の設問でグラフを使用したことを明らかにするため, プロットした点を結ぶ傾きが負の直線(ほぼ一直線となる)も描いておく。
- (2) (1)で描いたグラフの直線上で, 塩基対数 500 に対応する移動距離を読み取ると, 約 23 mm であることがわかる。

問7

- (1) 空欄ウにあてはまる温度は約 95℃, 空欄エにあてはまる温度は約 50~60℃, 空欄オにあてはまる温度は約 72℃である。
- (2) 2本鎖 DNA は手順 1~4 の過程について 1 回の操作を行うと 2 倍となるため, 1 本の 2 本鎖 DNA に対して n 回の操作を行うと, 2 の n 乗本となる。そこで,
- $$2^{16} = 65536, \quad 2^{17} = 131072$$
- であるから, 100000 本以上とするには少なくとも 17 回の操作を行う必要がある。

第3問

【出題のねらい】

植物と動物における, 光刺激や光環境の変化に関する実験・考察問題を通じ, 思考力・判断力を問う出題とした。A では光発芽種子と花芽形成における光刺激応答について, B では 2017 年のノーベル医学・生理学賞の受賞テーマである概日リズム(サーカディアンリズム)について出題した。

【解答】

問1 (1) 光発芽種子

- (2) 森林では, 葉が赤色光を吸収して遠赤色光を透過するので, 林床に届く光は主に遠赤色光となり, 種子の発芽が抑制される。

問2 1000

問3 フィトクロム

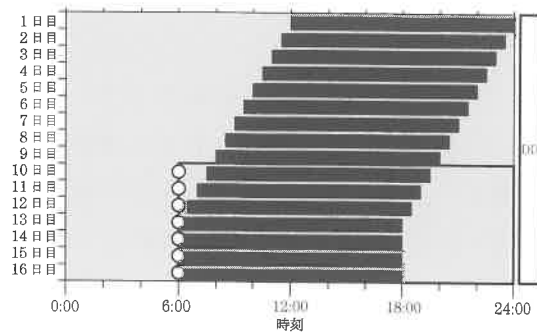
問4 (1) 短日植物 (2) 光中断

(3) ③

問5 このマウスの恒暗条件での概日周期は 23 時間半なので, 活動リズムが 24 時間から 23 時間半へと変化した。

問6 光照射は活動開始時刻から 2 時間後に行われ, それにより位相が 3 時間後退することから, 14:30 に開始すると考えられる。

問7 下図参照



問8 フェーズシフトによって, 活動開始時刻が常に 24 時となり, 概日周期が 24 時間に調整される。

[解説]

問 1

- (1) 植物によっては、光が発芽を調節する重要な環境要因となっている。種子の発芽に光刺激を必要とする種子植物を光発芽種子という。
- (2) 屋外の直射日光に含まれる赤色光は、遠赤色光の約 1.15 倍であり、赤色光が優位となる。一方、植物を透過した光のうち、赤色光は植物に吸収されるため、赤色光は遠赤色光の半分以下の量となる。このような光条件の違いを検知し、他の植物に覆われていない（自身に入射する光を妨げる競争相手がいない）状況で初めて発芽することができる。

問 2 特定の同じ発芽率を保つために必要な光量の逆数の比の値を求めることによって、それぞれの光による発芽の効率を比較することができる。発芽率が 50 % になるときの光量（なお、これを R_{50} と呼ぶ）の値を読み取ると、赤色光の光量の逆数が $1/10^2$ 、青色光が $1/10^5$ であることがわかる。よって、発芽効率は、 $(1/10^2) \div (1/10^5) = 1000$ と求まる。

問 3 問 2 から、赤色光で発芽誘導が効率よく促進されることがわかる。図より、3 つの光受容色素のうち、赤色光に相当する 680 nm 付近で吸光度が大きいフィトクロムが最も適当である。

問 4

- (1) 連続暗期（連続した暗期の長さ）が一定の時間（限界暗期）よりも長い植物（アサガオ、オナモミ、ダイズ、キク、タバコなど）を短日植物という。一般的に、夏から秋にかけて咲く一年生の草本類が中心となる。
- (2) 短日植物では暗期の途中で光を短時間照射すると、暗期を短縮した場合と同じ結果となる。このようにして、限界暗期を中断

させる効果をもつ光処理を光中断という。

- (3) 花芽形成を抑制する効果は、光量が大きいほど大きくなる。そのため花芽形成率は光量が大きいほど小さくなる（右下がりのグラフになる）。題意より、この場合も発芽誘導と同じ光の波長と感受性を示すため、赤色光で中断したほうが青色光の 1000 倍「抑制効率」は高いはずだから、花芽形成率が 50 % になる点を考慮して解答を得る。

問 5 1 日目から 4 日目までは、活動開始時刻が 18 時であり、18 時を境にして明期と暗期が切り替わっている。グラフから、この条件では、このマウスの概日周期は、24 時間であることがわかる。一方、5 日目以降の棒グラフでは、4 日間で 2 時間ずれており、活動開始時刻が 1 日あたり 30 分早まっていることから、恒暗条件におけるこのマウスの概日周期は、23 時間 30 分であることがわかる。

問 6 図 4 の位相-反応曲線をみて、グラフの意味が理解できるかどうかのポイントである。活動開始時刻（横軸の値が 0 のとき）に光照射を行う場合、フェーズシフトは -0.5 であるから、翌日の活動開始時刻が 30 分後にずれる。また、活動開始時刻の 2 時間後（横軸の値が 2 のとき）に光照射を行う場合、フェーズシフトが -3 であるから、翌日の活動開始時刻が 3 時間後にずれることがわかる。したがって、飼育日数 17 日目には、光照射がなければ、活動開始時刻が 11:30 となるはずであるが、16 日目の活動開始時刻から 2 時間後の光照射なので 3 時間後にずれて、活動開始時刻は 14:30 となる。

問 7 飼育日数 10 日目～12 日目までは、活動開始時刻の 1.5 時間前～0.5 時間前までに光照射を行うため、図 4 より、フェーズシフトはほぼ 0 となり、活動開始時刻は毎日 30 分ずつ前倒しになる。飼育日数 13 日目

以降は、光照射の時刻と活動開始時刻が一致し、図4の横軸の値が0のときのフェーズシフトが-0.5とわかるので、光照射がなければ30分前にずれるはずの活動開始時刻が30分遅れ、結果として、常時、光照射の時刻と活動開始時刻が一致して、概日周期は24時間に調整される

問8 恒暗条件で概日周期が25時間であるから、恒暗条件でのこの生物の活動開始時刻は、毎日1時間遅れていき、活動開始時刻を24時とすると、翌日は25時となる。そこで、翌朝6時つまり活動開始時刻の6時間後のフェーズシフトは+1であるから、活動開始時刻は、1時間前倒しとなって24時となる。この結果、活動開始時刻は常に24時となり、活動リズムは24時間周期に調整されることがわかる。

第4問

【出題のねらい】

生物の個体数の変化と生物のなわばりをテーマとして、個体群の推定法・多様度指数・エサ供給構造図などに関する計算力・思考力・判断力を問う問題を出題した。

【解答】

問1 ア：147, イ：147, ウ：80

エ：80, オ：280, カ：380

問2 最大にする方法：Y

このときの個体数：1064

最小にする方法：Z

このときの個体数：884

問3 調査地A：300, 調査地B：133

問4 水田：3, 多様度指数：0.82

問5 条件1, 条件2：

- ・各構成種の出現頻度がほぼ均等である
- ・構成する種の数が多い など。

問6 第1訪問メス：B

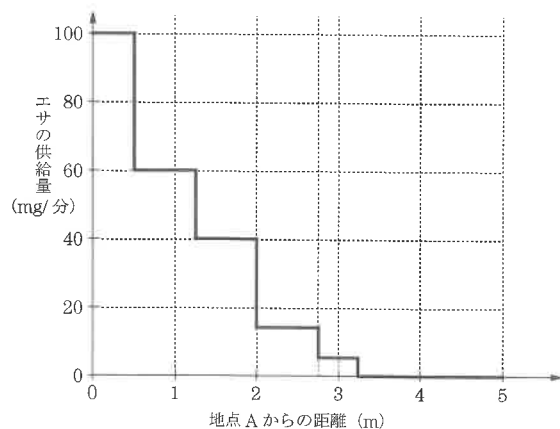
第3訪問メス：C

第5訪問メス：E

問7 種Iは種Nと比べるとなわばりの大きさはほぼ同じだが、個体の採食量が多い。

問8 種N：2個体, 種I：3個体

エサ供給構造図：下図参照



[解説]

問1

ア・イ：1年目の、1~2才未満のメスの個体数と個体あたりの繁殖率の積と、2才以上のメスの個体数と個体あたりの繁殖率の積との和から、2年目の1才未満の個体数の合計を求めると、 $80 \times 0.3 + 300 \times 0.9 = 294$ となる。この値の半数が2年目の1才未満のオスとメスの個体数であるから、ア：147、イ：147となる。

ウ・エ：2年目の1~2才未満の個体数は、1年目の、1才未満の個体数と個体あたりの生存率の積で求めることができる。よって、ウ・エともに、 $160 \times 0.5 = 80$ となる。

オ・カ：2年目の2才以上の個体数は、1年目の、1~2才未満の個体数と個体あたりの生存率の積と、2才以上の個体数と個体あたりの生存率の積との和から求めることができる。よって、オは、 $80 \times 0.8 + 240 \times 0.9 = 280$ となり、カは、 $80 \times 1.0 + 300 \times 1.0 = 380$ となる。

問2

X：2年目の2才以上のオスの個体数のみ、 $280 \rightarrow 190$ と変化する。よって、総個体数は1024となる。

Y：2年目の1~2才未満のメスの個体数のみ、 $80 \rightarrow 30$ と変化する。よって、総個体数は1064となる。

Z：図中のア・イ・カに影響する。2年目の1才未満の個体数の合計を求めると、 $80 \times 0.3 + 200 \times 0.9 = 204$ となる。この値の半数が2年目の1才未満のオスとメスの個体数であるから、ア：102、イ：102となる。また、カは、 $80 \times 1.0 + 200 \times 1.0 = 280$ となる。よって、総個体数は884となる。

以上より、最大にする方法はYで、このときの個体数は1064となる。また、最小にする方法はZで、このときの個体数は884となる。

問3 調査地Aはランダム分布、調査地Bは集中分布であるから、調査地Aでは、区画1~9の個体群密度の平均値を用いて、

$$N_1 = 3 \times 100 \text{ (m}^2\text{)} \div 1 \text{ (m}^2\text{)} = 300$$

一方、調査地Bでは、定義により、区画1、区画7、区画9が高密度の場所に該当し、その他の区画が低密度の場所に該当する。高密度の場所の個体群密度の平均値は、

$$(9 + 7 + 8) \div 3 = 8$$

となり、低密度の場所の個体群密度の平均値は、

$$(1 + 3 + 0 + 2 + 2 + 0) \div 6 = 4/3$$

となる。高密度の場所の面積：低密度の場所の面積=3カ所：6カ所=1：2であるから、高密度の場所の面積=200×1/3、低密度の場所の面積=200×2/3となる。

以上より、求める個体群の大きさは、

$$N_2 = 8 \times (200 \times 1/3) \div 4 +$$

$$4/3 \times (200 \times 2/3) \div 4 \div 4 = 133$$

問4 表3の値を用いて、それぞれの水田の多様度指数を求めると、

水田1：0、水田2：0.48

水田3：0.82、水田4：0.7

水田5：0.46、水田6：0

となる。

問5 資料2の多様度指数の定義の式から、 $N = 10$ でそれぞれの個体数がすべて1であるとき、多様度指数=0.9となり、 $N = 100$ でそれぞれの個体数がすべて1であるとき、多様度指数=0.99となる。このように、多様度指数は、それぞれの生物種の出現頻度が均等に分散していればいるほど、また、構成する生物種が多いほど大きくなることがわかる。

問6 第1訪問メスは、Bと一夫多妻制をとったときに得られるなわばりの質が8.8と最大になるのでBを選ぶ。第2訪問メスは、Eとつがいになれば、なわばりの質が8.5と最大になるのでEを選ぶ。第3訪問メスは、

Cと一夫多妻制をとったときに得られるなわばりの質が5.3と最大になるのでCを選ぶ。第4訪問メスは、なわばりの質4.4のDを選ぶ。最後に、第5訪問メスは、AとつがいになるよりもEと一夫多妻制をとる方がなわばりの質は4.25と大きくなるのでEを選ぶ。

問7 地点A~0.5 mまでの範囲ではエサの供給量が減っていないため、種Iの個体はいない。0.5 m~1.25 mの範囲には、なわばりの大きさが75 cmの種Iの個体が存在し、エサの摂取量が40 mg/分となっている。1.25 m~2.0 mの範囲には、なわばりの大きさが75 cmの種Iの個体が存在し、エサの摂取量が20 mg/分となっている。「地点Aから数えて3番目のなわばりの大きさは75 cmであった」とあるので、2.0 m~2.75 mの範囲にも、エサの摂取量が22.5 mg/分で、なわばりの大きさが75 cmの種Iの個体が存在しているはずである。

その下流では、エサの供給量が減少していないことから、この流域における種Iの個体は、以上の3個体であり、残りの個体はこの流域から外に出たと考えられる。以上より、種Iの個体は、種Nの個体と比べて、なわばりの大きさはほぼ同じだが、個体の採食量が多いことがわかる。

問8 地点A~0.5 mまでの範囲ではエサの供給量が減っていないため、種Nの個体も種Iの個体もない。「種Iは攻撃性が強く、種Nをなわばりの中から排除する」とあるので、0.5 m~1.25 mの範囲には、なわばりの大きさが75 cmの種Iの個体のみが存在する。1.25 m~2.0 mの範囲にも、なわばりの大きさが75 cmの種Iの個体のみが存在する。2.0 m~2.75 mの範囲にも、なわばりの大きさが75 cmの種Iの個体のみが存在している。この下流には、種Iはいないので、種Nの個体が残りのエサの供給量を

利用することができる。残りのエサの供給量は15 mg/分なので、まず、2.75m~3.25 mの範囲に個体番号3の種Nの個体がなわばりをつくり、残りのエサの供給量は5 mg/分となるので、3.25m~3.75 mの範囲に個体番号6の種Nの個体がなわばりをつくることになる。その下流では、エサの供給量が0となるので、それ以外の種Nの個体はなわばりをつくることができない。以上より、この実験区画内になわばりをもつ種Iの個体は3個体、種Nの個体は2個体であることがわかる。

