奈良県立医科大学

2024 年度　後期日程　生物

（2 科目　180 分）

1 次の A，B の文を読み，問 1〜問 7 に答えよ．

A　動物は環境から得た情報に応じて，体を動かして反応することができる．環境から情報を集めるものが眼・耳・鼻などの受容器であり，筋肉をはじめとする効果器が体を動かす．受容器は刺激の種類ごとに決まった感覚細胞をもち，特定の刺激 (適刺激) だけに反応する．ヒトの聴覚器官である耳は，外耳，中耳，内耳の 3 つの部分からなり，音の感覚細胞は内耳のうずまき管に存在している (1)．外耳から入ってきた音波は［ 1 ］を振動させ，その振動は［ 2 ］によって増幅されてうずまき管に伝えられる．うずまき管は［ 3 ］で満たされており，［ 3 ］の振動は，うずまき管内の基底膜を振動させる．基底膜上にある［ 4 ］には感覚細胞である聴細胞があり，基底膜の振動により聴細胞の毛が動かされ，聴細胞が刺激を受ける．この情報が聴神経を経て大脳に伝わり，聴覚を生じる．耳は聴覚器官であるとともに，平衡覚の感覚器官でもあり，内耳には体の傾きに反応する［ 5 ］と，体の回転に反応する半規管と呼ばれる平衡感覚器がある (2)．

受容した刺激の情報は，中枢神経系で統合処理される．ヒトの中枢神経系は脳と［ 6 ］からなり，脳はさらに大脳，［ 7 ］，［ 8 ］，［ 9 ］，［ 10 ］などに分けられる．［ 7 ］は脳幹の後側にあり，体の平衡を制御している．［ 8 ］は視床と視床下部からなり，体温や血糖量の調節に関与している．［ 9 ］は眼球の運動や姿勢の維持に，［ 10 ］は呼吸運動や循環器官・消化器官のはたらきなどに関与している．神経系を構成する基本単位である神経細胞 (ニューロン) は，一般的には，核のある細胞体，細長く伸びた［ 11 ］，短い多数の［ 12 ］からなる．ニューロンは機能的に運動ニューロン，感覚ニューロン，介在ニューロンの 3 つに大別され，これらのニューロンを介して受容器から効果器へと情報が伝わる (3)．

問 1　文中の［ 1 ］〜［ 12 ］に当てはまる適切な語句を記せ．

問 2　下線部 (1) について，音の高低を識別するためのうずまき管の (A) 構造と，(B) しくみを述べよ．

問 3　下線部 (2) について，半規管が回転を識別するための構造を述べよ．

問 4　下線部 (3) について，以下の［ a ］〜［ c ］に当てはまる語の組み合わせとして最も適切なものを，以下の (ア)〜(カ) から選び，その記号を記せ．

受容器 → [a] ニューロン → [b] ニューロン → [c] ニューロン → 効果器

(ア) a 運 動　b 感 覚　c 介 在

(イ) a 運 動　b 介 在　c 感 覚

(ウ) a 感 覚　b 運 動　c 介 在

(エ) a 感 覚　b 介 在　c 運 動

(オ) a 介 在　b 運 動　c 感 覚

(カ) a 介 在　b 感 覚　c 運 動

B 骨格筋の収縮は，神経細胞から筋繊維 (筋細胞) への興奮の伝達によって起こる．軸索の末端 (神経終末) から分泌された神経伝達物質である [13] が筋細胞にある受容体に結合すると筋細胞に活動電位が発生する．神経終末と筋繊維がシナプスを形成している部分は，特に [14] と呼ばれる．筋細胞の中では，筋小胞体と呼ばれる袋状の構造が筋原繊維を取り囲むように分布している．筋原繊維は，明るく見える明帯と暗く見える暗帯が交互に配列しており，この模様から骨格筋は [15] と呼ばれる．図 1 のように筋原繊維内のサルコメアは細いアクチンフィラメントと太いミオシンフィラメントからなり，ミオシンフィラメントの中央には，ミオシン頭部は存在しない．筋収縮が生じるときには，ミオシンフィラメントの間にアクチンフィラメントが滑りこむことで，サルコメアの長さが短くなる．

図 2 は，カエルの骨格筋から 1 本の筋繊維を取り出し，張力の測定を行った結果であり，1 つのサルコメアの長さと相対的な張力の関係を示している．図 2 の a はアクチンフィラメントとミオシンフィラメントの重なりがなくなり，張力が 0 になる点である．また，収縮によってサルコメア内のアクチンフィラメントどうしがぶつかって重なると，張力が減衰することが知られている．

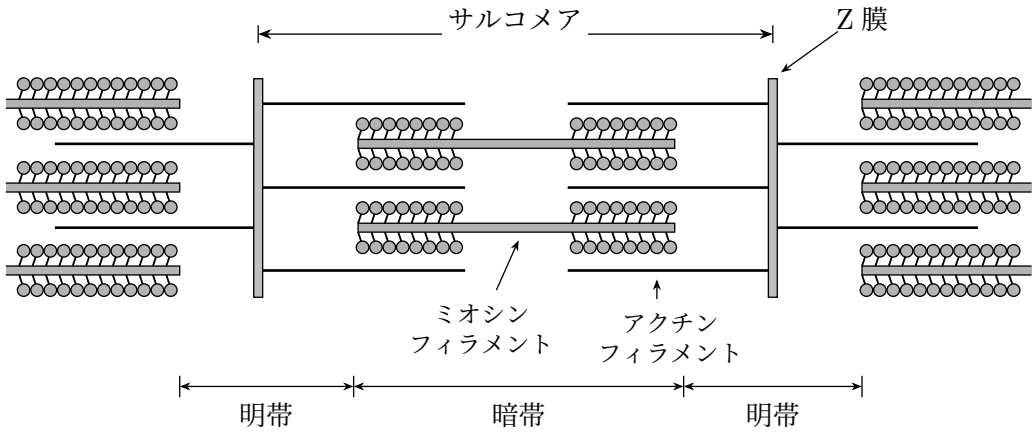


図 1　筋原繊維内のサルコメアの構造

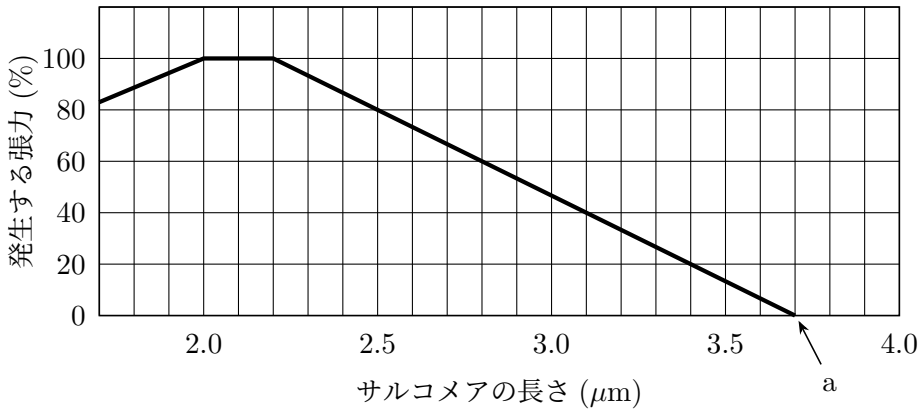


図 2　サルコメアの長さと張力の関係を調べたグラフ

問 5　文中の 13 ～ 15 に当てはまる適切な語句を記せ.

問 6　筋収縮のしくみの説明として正しいものをすべて選び，その記号を記せ.

(ア) 筋小胞体への刺激がなくなると，Ca^{2+} は筋小胞体内へ能動輸送される.

(イ) 筋繊維内には，ATP が豊富に含まれている.

(ウ) ミオシン頭部は ATP を ADP とリン酸に分解する.

(エ) トロポミオシンは Ca^{2+} を放出し，アクチンフィラメントを分解する.

(オ) ミオシンは，Ca^{2+} がないと収縮とは逆の方向へと力を出して，能動的に筋を伸張させる.

問 7　図 2 の測定結果をもとに，以下 (A)～(C) の長さを求めよ.

(A)　アクチンフィラメント 1 本の長さ.

(B)　ミオシンフィラメント 1 本の長さ.

(C)　張力が 40 % の時における，明帯の長さ.

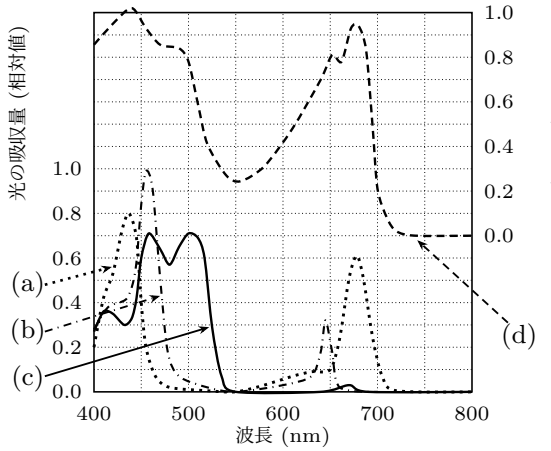
(なお，この時，すべてのサルコメアの長さは等しく，Z 膜の厚さは考慮しないものとする.)

2 次の文を読み，問 1〜問 5 に答えよ．

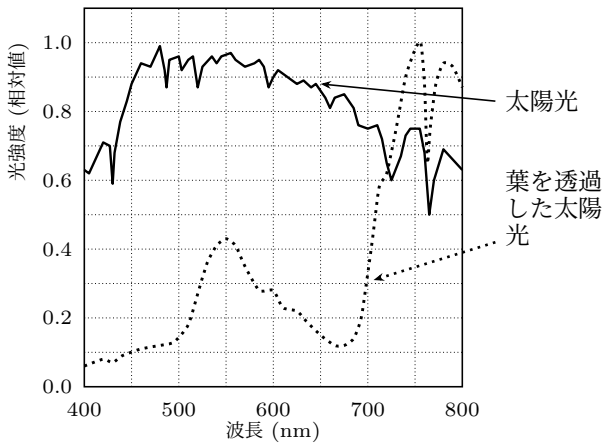
葉緑体は光合成を行う細胞小器官である．植物は進化の過程で葉緑体を獲得したと考えられている．(1)
図 1 は，光合成色素による光の波長ごとの吸収量 (a，b，c) とシロイヌナズナでの光の波長と光合成速度の関係 (d) を示した曲線である．(2) この図から，植物は光合成をするときに，各波長の光を同じように利用しているのではないことがわかる．

図 2 は，太陽光と葉を透過した太陽光について，波長ごとのエネルギー分布を示したものである．(3)
例えば，夏期のブナ林では，樹冠上部 (林冠部) に比べて林床部では光量は 5 % 程度になるが，図 2 からは，林床部では単に光の量が減少するだけでなく，波長ごとのエネルギー分布 (光の質) も変化していることがわかる．

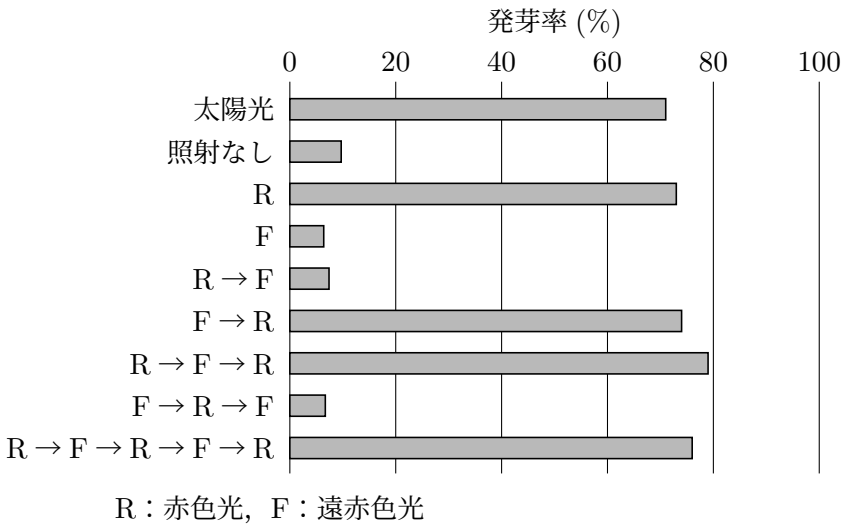
植物は光をエネルギー源としてだけではなく，環境変化を知るシグナルとしても利用している．シグナルとしてはたらく光の量は，光合成に必要な光の量と比べてごく少量でよい．植物の光シグナルに対する応答には，特定の波長に応答する機構がかかわっている．図 3 は，発芽における光条件を調べた実験結果である．(4) この実験では，レタスの種子を十分に吸水させた後，9 つのグループに分け，太陽光を 5 分間照射，照射なし，赤色光 (R：波長 660 nm) と遠赤色光 (F：波長 730 nm) を，それぞれ単独または図に示した順で，1 回あたり 5 分間照射し，その後 25 ℃に保った暗所で 1 週間培養して発芽率を測定した．ブナ林の林床においても，レタスと同様の機構をもった野生植物が生えているが，(5) それらの種子には小さなものが多く，夏期にはほとんど発芽しないことが知られている．



【図 1】 左側縦軸は (a)〜(c) の最大値を 1.0 とした相対値，右側縦軸は (d) の最大値を 1.0 とした相対値を示している．



【図 2】 太陽光と，葉を透過した太陽光のそれぞれの最大値を 1.0 とした相対値を示している．



【図 3】　光の照射とレタスの種子の発芽率

問 1　下線部 (1) について，(ア) 植物が葉緑体を獲得した方法として最も有力な説の名称，(イ) 同様の方法で獲得したと考えられている葉緑体以外の細胞小器官の名称を記せ．また，(ウ) これらの細胞小器官について，(ア) の説の根拠となる事象を 2 つ記せ．

問 2　下線部 (2) について，図 1 の (a)，(b) はそれぞれクロロフィル a，b を示している．(ア)(C) の曲線を示す光合成色素の名称を記せ．また，(イ) 光の波長と光合成速度の関係を表した曲線 (d) の名称を記せ．

問 3　下線部 (3) について，葉を透過した太陽光では，700〜800 nm の波長の光と比べて，400〜700 nm の波長の光の強度が低下している．その理由を述べよ．

問 4　下線部 (4) について，以下の (ア) と (イ) に答えよ．

(ア) レタスの種子の発芽に関して，正しい記述を以下からすべて選び，その記号を記せ．

(a)　レタスの種子は暗発芽種子である．

(b)　遠赤色光はレタスの種子の発芽を促進する．

(c)　赤色光は遠赤色光の発芽に対する効果を打ち消すことができる．

(d)　遠赤色光は赤色光の発芽に対する効果を打ち消すことができる．

(e)　レタスの種子の発芽には最初に照射した光の種類の効果が現れる．

(f)　レタスの種子の発芽には最後に照射した光の種類の効果が現れる．

(イ) この反応で光シグナルを受け取るタンパク質の名称を以下から 1 つ選び，その記号を記せ．

(a) クリプトクロム　(b) フォトトロピン　(c) シトクロム

(d) プロトロンビン　(e) フィトクロム　(f) ミオグロビン

問 5　下線部 (5) について，(ア) 発芽しない理由として考えられることを簡潔に述べよ．また，(イ) 小さな種子をつける林床植物が，このような機構を持つ利点について詳しく述べよ．

3 次の A，B，C の文を読み，問 1〜問 10 に答えよ．

A 動物の受精卵は，卵割によって細胞の数を増やすとともに(1)，やがて形とはたらきの異なる多種類の細胞に分化していく．一方，ES 細胞は，受精卵のように何にでも分化しうる能力(2)をもちながら，未分化な状態を保ったまま自己複製 (細胞分裂) を繰り返し，増殖することができる．多細胞生物の体細胞では，細胞分裂の過程で，DNA は正確に複製され，娘細胞に正確に分配される．したがって，私たちの体を構成する分化した体細胞は，基本的には受精卵と同一の遺伝情報 (ゲノム)(3)をもっていて，発生に必要なすべての遺伝情報を保持している．

分化した体細胞は，通常の発生過程では，他の細胞へと分化転換することはない．しかし，山中博士らは，ES 細胞に強く発現していた複数の遺伝子を，マウスの皮膚から採取した体細胞に人為的に導入することにより，ES 細胞のような形と性質をもつ細胞を作製することに成功し，この細胞を iPS 細胞と名付けた．ヒトへの応用を考えた場合，ヒト iPS 細胞は，ヒト ES 細胞に比べて優れていると考えられている(4)．

問 1　下線部 (1) について，卵割の特徴を簡潔に述べよ．

問 2　下線部 (2) について，ES 細胞が示すこの能力の名称を記せ．

問 3　下線部 (3) に関して，このことを証明するために，ガードンが行った実験の内容とその結果を述べよ．

問 4　下線部 (4) に関して，ヒト iPS 細胞を用いる利点を 1 つ述べよ．

B 左右相称の動物の成体では，前後・背腹・左右が区別できる．前と後を結ぶ軸を前後軸といい，背腹軸，左右軸は前後軸に直行する方向に定義することができる．これらの軸をまとめて［ 1 ］という．

カエルやイモリでは受精の際，精子は卵の［ a ］半球から進入する．すると，卵の表層が，内部の細胞質に対して，約 30 度回転する．これを表層回転という．回転は精子の進入点から［ b ］極の方向に起き，反対側は［ c ］極に向かって回転することになる．［ d ］極側の表層は不透明で，

内部の細胞質には黒い色素が含まれている．表層の回転により，精子の進入点の反対側の表層が［ e ］極側に動くと，赤道付近の内部の細胞質が［ f ］極側の色素の少ない表層に覆われることになり，そこが三日月状の形に見える．この領域は［ 2 ］と呼ばれ，将来，成体の背側になる部分である．この領域で，［ g ］極側の表層が赤道付近の細胞質と相互作用することが，背側になるために重要である．

実際には，［ h ］極付近の卵の表層に［ 3 ］タンパク質があり，受精により表層が回転することで，そのタンパク質が赤道付近に移動する．移動したタンパク質は β カテニンタンパク質の分解を抑制する．その結果，卵の中に β カテニンタンパク質の濃度が高い領域ができる．(5) この領域が形成されることが，背腹軸の決定に重要である．

問 5　文中の［ 1 ］～［ 3 ］に当てはまる適切な語句を記せ．

問 6　文中の［ a ］～［ h ］には「植物」か「動物」の語句が当てはまる．「植物」の語句が当てはまる記号をすべて選び記せ．

問 7　下線部 (5) について，このように背腹軸が決定されるしくみを「調節タンパク質」，「分解」という語句を用いて説明せよ．

C　動物の発生において，細胞の分化を引き起こす初期要因の 1 つとして，卵の細胞質の不均一性が考えられている．例えば，(6) カエルやショウジョウバエなどでは，卵の細胞質の特定の場所に，胚の細胞の発生運命決定に関わる物質が存在することが知られている．

もう 1 つの要因としては，細胞と細胞の間のシグナルの受け渡しが重要であると考えられている．細胞間でのシグナルの受け渡しによる細胞分化の影響を調べるため，ニューコープの研究を参考にして，アフリカツメガエルの胚 (胞胚期) の領域 A と領域 B を用いて (図 1 左)，以下の実験 1～4 を行った (図 1 右)．その結果は (7) 予定内胚葉には予定外胚葉を中胚葉に分化させるはたらきがあることを示した．

実験 1

領域 A と領域 B をそれぞれ単独で培養した．その結果，領域 A からは外胚葉組織，領域 B からは内胚葉組織が分化していた．

実験 2

領域 A と領域 B を直接，接触させて培養した．その結果，実験 1 と同様，領域 A からは外胚葉組織，領域 B からは内胚葉組織が分化していたが，領域 A の中には中胚葉組織も分化していた．

実験 3

領域 A と領域 B を小さい穴を持つフィルターを挟んで，両方の細胞が直接には接触しない形で培養した．その結果，実験 2 と同じ結果になった．

実験 4

領域 A のみを，実験 3 で用いたものと同じ種類のフィルターに接触させて培養した．その結果，領域 A からは外胚葉組織が分化していた．

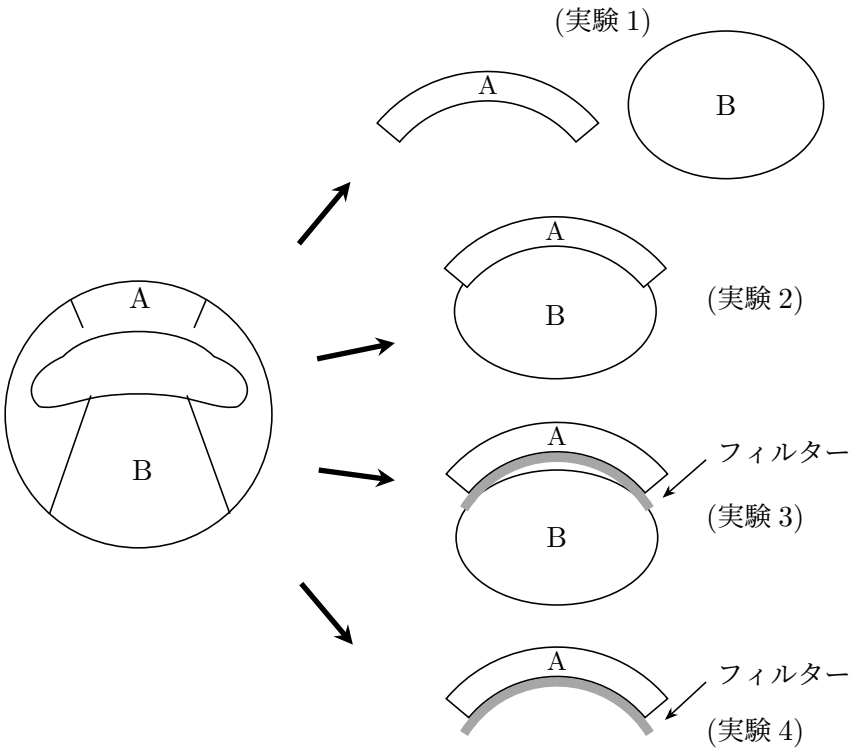


図 1

問 8　下線部 (6) について，ショウジョウバエの未受精卵の細胞質にみられる，前後軸形成に関わる物質の 1 つについて，(A) その名称，および (B) その局在部位を記せ．

問 9　下線部 (7) について，このはたらきの名称を記せ．

問 10　実験 1〜4 の結果から考えられる，領域 B が，領域 A を中胚葉へと分化させるしくみを説明せよ．

4 次の A，B の文を読み，問 1〜問 6 に答えよ．

A 遺伝子組換えでは，目的の遺伝子をベクターと呼ばれる遺伝子の運び手となる DNA につなぎ換えることが多い．ベクターとしてよく使われるのはプラスミドである．実際に，プラスミドに目的の遺伝子を導入するときには，制限酵素と(1)DNA リガーゼが使用される場合が多い．(2)制限酵素はもともと，細菌から見つかった酵素で，2 本鎖 DNA の特定の塩基配列 (認識配列) を認識し，DNA の 2 本鎖を切断する．図 1 は，あるプロモーターの下流に目的の遺伝子を組み込んだプラスミドを作製する場合の模式図である．まず，目的の遺伝子を含む DNA 配列の一方の末端を制限酵素 A，もう一方の末端を制限酵素 B で切断する．次にプラスミドも同じ組み合わせの制限酵素で切断する (図 1 左)．目的の遺伝子，およびプロモーターを含む制限酵素処理産物を混ぜ合わせ，DNA リガーゼにより連結する．このようにすると，プラスミドに目的の遺伝子の向きを定めて組み込むことができる (図 1 右)．ただし，DNA リガーゼは，切り口が同じであれば，たとえ異なる制限酵素によって切断された DNA でも連結することができる．(3)そのため，確実に目的の遺伝子の向きを定めてプラスミドに組み込むには，制限酵素 A と制限酵素 B の切り口は異なる必要がある．

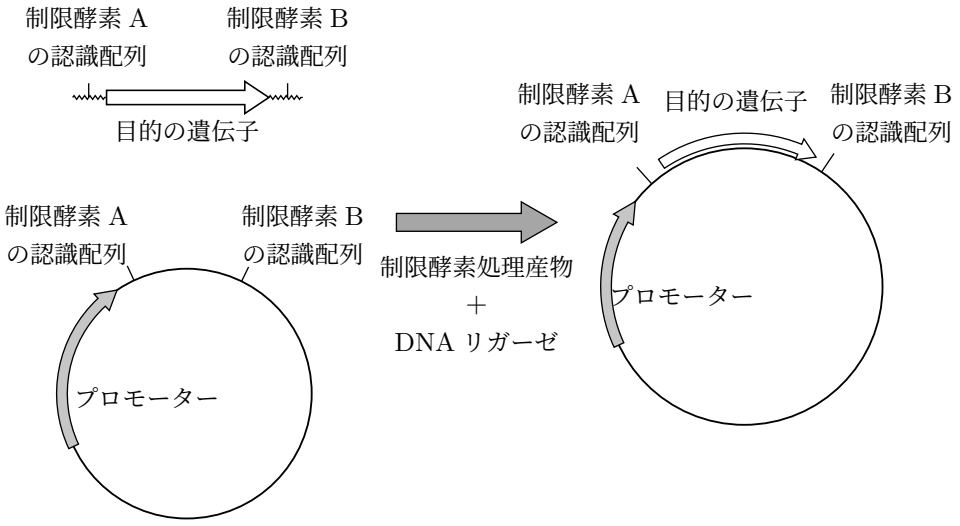


図 1

問 1　下線部 (1) について，DNA リガーゼが DNA 複製時に果たしている役割を簡潔に説明せよ．

問 2　下線部 (2) について，細菌における制限酵素のはたらきについて説明せよ．

問 3　下線部 (3) について，制限酵素 A，制限酵素 B の組み合わせとして用いることができないもの

を (ア)〜(カ) からすべて選び，その記号を記せ．なお，各制限酵素の認識配列と切断部分は以下の通りである．

(ア) BamH I と Nhe I　　(イ) BamH I と Pst I

(ウ) BamH I と Xba I　　(エ) Nhe I と Pst I

(オ) Nhe I と Xba I　　(カ) Pst I と Xba I

BamH I

5′- G|G A T C C -3′

3′- C C T A G|G -5′

Nhe I

5′- G|C T A G C -3′

3′- C G A T C|G -5′

Pst I

5′- C T G C A|G -3′

3′- G|A C G T C -5′

Xba I

5′- T|C T A G A -3′

3′- A G A T C|T -5′

B 遺伝子 P はプラスミド A のプロモーター α の下流に組み込まれている (図 2 左)．プラスミド A から遺伝子 P 全体を含む DNA 断片を制限酵素によって切り出し，図 2 右に示したプラスミド B のプロモーター β の下流に組み込む．このようにして作製したプラスミドをプラスミド C とする．このプラスミド C を作製するための具体的な手順を以下に示す．

まず，プラスミド B を BamH I と［ あ ］を同時に用いて完全に切断した．(4)この制限酵素処理産物を電気泳動後，観察されたバンドから，プロモーター β を含む DNA 断片を抽出した (DNA 断片 Q)．次にプラスミド A を［ い ］で完全に切断した．(5)この制限酵素処理産物を電気泳動後，観察されたバンドから，遺伝子 P 全体を含む DNA 断片を抽出した．その DNA 断片を，［ う ］で完全に切断した．(6)この制限酵素処理産物を電気泳動後，観察されたバンドから遺伝子 P 全体を含む DNA 断片を抽出した (DNA 断片 R)．(7)DNA 断片 Q と DNA 断片 R を混合し，DNA リガーゼを用いて結合させ，プラスミド C を作成した．なお，プラスミドにおける塩基の数え方は図 2 の▼を 1 番目として時計回りに数えるものとする．このとき遺伝子 P の配列は，4500 番目〜6000 番目となる．また，図 2 における制限酵素名の前の数字はその認識配列の 1 番目の塩基の番号を示している．図 3 上は各制限酵素の認識配列と切断部分をまとめたもの，および図 3 下はプラスミド A の 6139 番〜6151 番目までの塩基配列を示したものである．

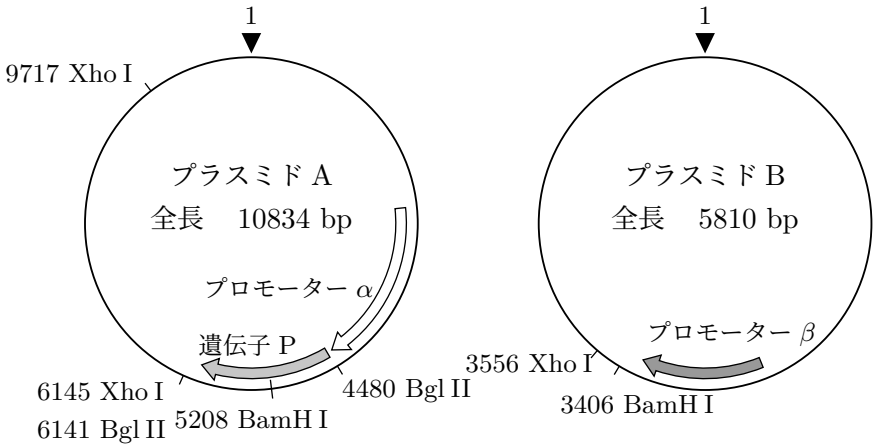


図 2

BamH I，Bgl II，Xho I について，すべての認識配列部位を記載している．

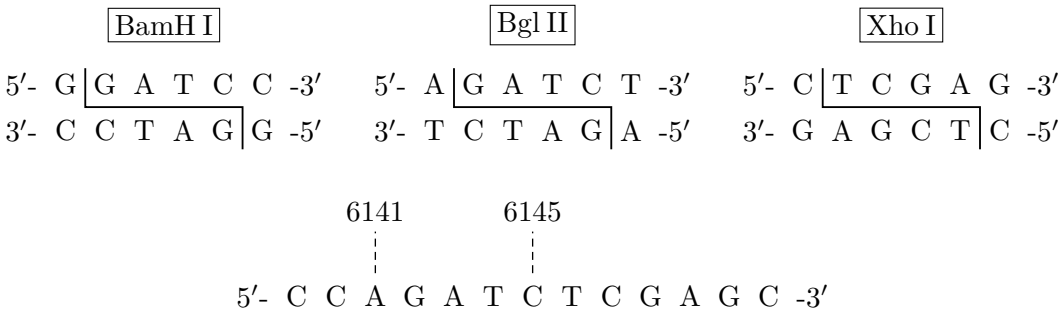
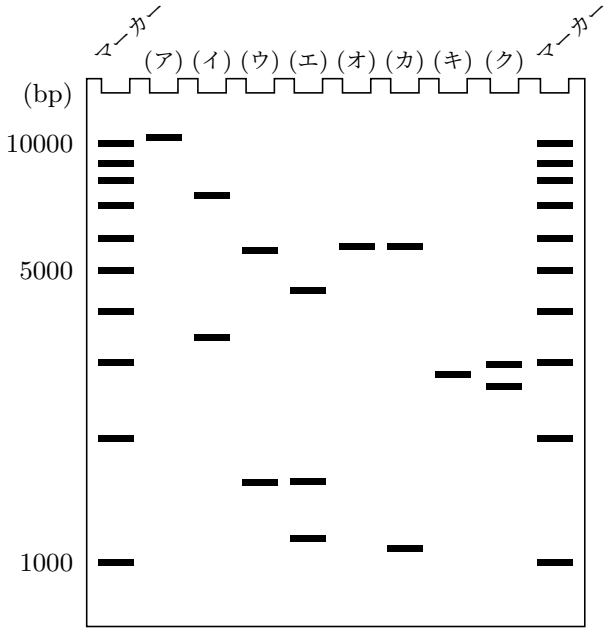


図 3

問 4　文中の［あ］～［う］に当てはまる適切な制限酵素名を記せ．ただし，同じ制限酵素名を複数回使用してもよい．

問 5　下線部 (4)〜(6) について，(A) それぞれの電気泳動の結果として最も適切なものを右の模式図のレーン (ア)〜(ク) よりそれぞれ 1 つ選べ．また (B)DNA を抽出したバンドについて，上から何番目のバンドか，その数字を記せ．そのレーンにバンドが 1 つしかない場合は，1 と答えよ．なお，マーカーは 1000 塩基対 (bp) から 10000 bp まで，1000 bp 毎にバンドが存在している．また，この模式図では 500 bp 以下のバンドは省略してある．



問 6　下線部 (7) について，(A) プラスミド C の全長 (bp) に最も近いものを以下の数字から 1 つ選び記せ．また，(B) プラスミド C を 2 つの制限酵素 BamH I と Xho I を同時に用いて，完全に切断し，制限酵素処理産物の電気泳動を行ったときに観察される各バンドの塩基対の数 (bp) について，最も近いものを以下の数字よりすべて選び記せ．

10800，10500，10200，7300，7000，6700，6400，6100，5700，5400

5100，2900，2600，2300，2000，1700，1500，1300，1100，900，700

5 次の A，B の文を読み，問 1〜問 8 に答えよ．

A ヒトの体細胞には［ 1 ］本の染色体がある．このうち男女に共通して見られる染色体を［ 2 ］染色体という．男女で構成の異なる染色体を性染色体といい，女性では 2 本の X 染色体があり，男性では X 染色体と Y 染色体が 1 本ずつある．X 染色体には性決定とは無関係の遺伝子が多数含まれている．これらの遺伝子による形質は性別と関連して遺伝する．ある形質が X 染色体上に存在する劣性 (潜性) 遺伝子を原因として引き起こされる場合，(1)この形質をもつヒトは女性より男性に多い．一方，Y 染色体は X 染色体と比べると大きさが小さく，その中に含まれる遺伝子の数も少数であるが，性決定に関わる遺伝子が含まれる．

ニホンメダカ (以下，メダカと呼ぶ) でも野生型の雌は X 染色体を 2 本，野生型の雄は X 染色体と Y 染色体を 1 本ずつもつ．ヒトと同様に精原細胞から生じた［ 3 ］細胞では，減数分裂の［ 4 ］分裂の［ 5 ］期には X 染色体と Y 染色体が対合する．ただし，ヒトとは異なり，メダカでは Y 染色体は大きさ，含まれる遺伝子の数や配置が X 染色体とほぼ同じである．そのため，メダカでは X 染色体と Y 染色体の間で乗換えが起こる．

問 1　［ 1 ］〜［ 5 ］に当てはまる適切な数字または語句を記せ．

問 2　下線部 (1) について，その理由を詳しく述べよ．

B メダカでは Y 染色体上に存在する D 遺伝子が性決定遺伝子である．X 染色体では D 遺伝子が欠失していたり，塩基置換により機能が失われたりしている．D 遺伝子が性決定遺伝子であることは，X 染色体を 2 本もつ雌に D 遺伝子を導入した個体が雄の形質を示したことなどから明らかとなった．D 遺伝子がはたらくと雄の形質が現れ (精子が形成され)，はたらかないと雌の形質が現れる (卵が形成される)．メダカでは(2)ステロイドホルモンである性ホルモン E や T を稚魚へ投与することなどで性転換が起こることも知られている．(3)性ホルモン E の投与で X 染色体と Y 染色体を 1 本ずつもつ個体 (XY 個体) からも卵が，また，性ホルモン T の投与で X 染色体を 2 本もつ個体 (XX 個体) からも精子が形成される．このような卵や精子からも，受精により正常な個体が誕生する．また，メダカの体色に関わる遺伝子として，XY の両方の性染色体上にある R 遺伝子と，それ以外の染色体上にある B 遺伝子が知られている．R と B の両方の遺伝子がはたらく場合，体色は黒色となる．R 遺伝子だけが劣性ホモ接合の個体は体色が青色，B 遺伝子だけが劣性ホモ接合の個体は緋色，両遺伝子の劣性ホモ接合の個体は白色となる．

メダカを用いて以下の実験 1〜3 を行った．なお，遺伝子型は大文字を優性 (顕性)，小文字を劣性 (潜性) とし，B 遺伝子に関しては BB，Bb，bb のように記載し，R 遺伝子に関しては染色体も含めて X^RX^r，X^rY^R のように記載すること．

(実験 1)　交配により得た卵を，性ホルモンを投与せずに育てたところ，すべて雌となった．

(実験 2)　体色が緋色の雌 (XX 個体) と白色の雄 (XY 個体) を交配した．この交配により得た卵を育てたところ，雌も雄も白色と緋色の個体が 1：1 の比率で現れた．この実験 2 では性ホルモンは用いていない．

(実験 3)　実験 2 の交配により得た雌の白色個体と雄の緋色個体を交配した．この交配により得た卵を育てたところ，表現型と個体数は次のようになった．緋色の雌 2743 匹，白色の雌 5 匹，緋色の雄 6 匹，白色の雄 2746 匹．この実験 3 では性ホルモンは用いていない．

問 3　下線部 (2) に関して，ヒトのステロイドホルモンとして知られる (あ) 鉱質コルチコイドと，(い) 糖質コルチコイドについて，(a) ホルモンを分泌する内分泌腺の名称を記し，(b) ホルモンのはたらきを簡潔に説明せよ．

問 4　下線部 (3) について，性ホルモン E の作用として考えられることを，「遺伝子 D」という語句を用いて簡潔に述べよ．

問 5　実験 1 の交配で用いたと考えられる 2 種類の個体について説明せよ．

問 6　実験 2 の交配に用いた (a) 雌と，(b) 雄の遺伝子型を記せ．

問 7　実験 2 で得られた (a) 雌の白色個体と，(b) 雄の緋色個体の遺伝子型を記せ．

問 8　実験 3 の結果から，(a) 遺伝子間で組み換えが起こったと考えられる 2 つの遺伝子の名称を記せ．また，(b) その組換え価 (%) を求めよ．

6 次の A，B の文を読み，問 1〜問 12 に答えよ．

A 炭素と窒素は生物のからだをつくっている有機化合物の主要な元素で，生態系では生物群集と非生物的環境の間を循環している．空中の窒素はアゾトバクターやマメ科の根に共生する［ 1 ］などによりアンモニウムイオンになる．これを窒素固定という．さらに，このようにしてつくられた外界の無機窒素化合物などを生物のからだに必要な有機窒素化合物につくり変えるはたらきは［ 2 ］という．

有機化合物は多種類存在するが，骨格となる炭素原子の数が n の場合 Cn 化合物と表す．植物は光合成により外界から二酸化炭素 (CO_2) を取りこみ，デンプンなどの有機化合物を合成する(1)．実際には，6 個の CO_2 が 6 個の C_5 化合物に加わることで，［ 3 ］回路の反応に組み入れられる．CO_2 が加わってできた 6 個の C_6 化合物はそれぞれ，すぐさま二分され，12 個の C_3 化合物になる(2)．この C_3 化合物は ATP を用いてリン酸化されたのち，NADPH によって還元され，解糖系の中間産物でもある C_3 化合物となる(3)．この C_3 化合物のうち 2 個が回路から離れ，C_6 化合物の原料として使われる(4)．残りの 10 個の C_3 化合物は，非常に複雑な反応を経て，6 個の C_5 化合物となる．この C_5 化合物が ATP を用いてリン酸化されることにより，CO_2 の取り込みに用いられた 6 個の C_5 化合物が再合成される(5)．このようにして回路の反応が循環する．この過程で消費される ATP と NADPH は，光のエネルギーを用いた反応により再合成される．この反応には，葉緑体内の扁平で袋状の構造をもつ［ 4 ］の膜に存在する 2 種類の反応系が主要な役割を果たす．このうちの［ 5 ］と呼ばれる反応系では，光エネルギーにより活性化した反応中心クロロフィルが電子 (e^-) を放出した後，水が分解されて生じた e^- をうけとり，反応中心クロロフィルはもとの状態にもどる(6)．このとき，水が分解された結果，e^- 以外に，酸素 (O_2) と H^+ が生じる．この H^+ は ATP の再合成に利用される(7)．一方，放出された e^- は最終的には［ 6 ］を還元し NADPH を再合成させる．このようにして，いろいろな物質が消費と再合成を繰り返すことにより，反応系が継続して動き続けることができる．

問 1　文中の［ 1 ］〜［ 6 ］に当てはまる適切な語句を記せ．

問 2　下線部 (1) について，光合成を含め，CO_2 を取り込んで有機化合物を合成するはたらきの名称を記せ．

問 3　下線部 (2) について，12 個の C_3 化合物のうち，直前に取り込まれた CO_2 由来の炭素を含んでいる C_3 化合物の個数を記せ．

問 4　下線部 (3) について，(A) リン酸化される前の C_3 化合物の名称，(B) 還元された後の C_3 化合

物の名称を，それぞれ記せ．

問 5　下線部 (4) について，この C_6 化合物に含まれる炭素のなかで，回路に組み入れられた 6 個の CO_2 に由来すると考えられる炭素の個数として，最も適切と考えられるものを以下の (ア)〜(コ) から 1 つ選び，その記号を記せ．

(ア) 0 個　(イ) 1 個　(ウ) 2 個　(エ) 3 個　(オ) 6 個

(カ) 1 個または 2 個　(キ) 1 個または 3 個　(ク) 3 個または 6 個

(ケ) 0 個，1 個または 2 個　(コ) 1 個，3 個または 6 個

問 6　下線部 (5) について，再合成された C_5 化合物の名称を記せ．

問 7　下線部 (6) について，この反応を「酸化」，「還元」の語句を用いて簡潔に説明せよ．

問 8　下線部 (7) について，(A) このように葉緑体において ATP が合成される反応の名称，(B) このとき H^+ が流れる向きを，それぞれを記せ．

B　光合成によって取り込まれた CO_2 は，グルコースなど C_6 化合物の形で呼吸に使われ，再び CO_2 に戻る．グルコースは解糖系により，［あ］化合物であるピルビン酸まで分解される．この過程で ATP と NADH が生成する．ピルビン酸はアセチル CoA を経由して，クエン酸回路の反応に組み入れられる．この回路では［い］化合物とみなせるアセチル CoA のアセチル基が，［う］化合物であるオキサロ酢酸に結合しクエン酸になることにより，回路の反応に組み入れられる．［え］化合物であるクエン酸がいくつかの［お］化合物，［か］化合物を順に経由し，オキサロ酢酸が再合成されることで，回路の反応が循環する．ここまでの過程で，グルコースに含まれていた炭素と同数の CO_2 が放出される．クエン酸回路では，NAD^+ と FAD が消費され NADH と $FADH_2$ が生成する．NADH と $FADH_2$ は電子伝達系において e^- の供与体として利用されるが，電子伝達系で e^- が伝達され続けるには O_2 が必要である．(8) O_2 がない場合には，電子伝達系での e^- の伝達は行われなくなり，結果としてクエン酸回路の反応も円滑に循環することができない．(9) 嫌気的条件で生存する生物の中には，乳酸発酵やアルコール発酵という手段で，O_2 を用いず解糖系だけで，生存に必要な ATP を継続的に合成するものもある．(10)

問 9　文中の［あ］〜［か］に，C_1〜C_6 の中から適切なものを選んで記せ．ただし，同じものを複数回使用してもよい．

問 10　下線部 (8) について，このとき，O_2 の変化を「還元」という語句を用いて，簡潔に説明せよ．

問 11　下線部 (9) について，クエン酸回路の反応が円滑に循環できない理由を「再合成」という語句

を用いて，簡潔に説明せよ．

問 12　下線部 (10) について，乳酸発酵において，ATP を継続的に合成できる理由を，「再合成」，「ピルビン酸」，「酸化」という語句を用いて，簡潔に説明せよ．