奈良県立医科大学

2025 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 6 に答えよ．

A 動物は環境から得た情報に応じて，体を動かし反応することができる．環境からの刺激を受容するものが受容器であり，筋肉をはじめとする［ 1 ］が体を動かす．環境の刺激には光，音波，空気中の化学物質などいろいろな要素があり，それぞれの要素を刺激として効率よく受け止めるように特殊化した眼，耳，鼻などの受容器がある．その受容器が受容できる特定の刺激を［ 2 ］という．

ヒトは，光を受け取る視細胞が一層に並んだ網膜を持っている．光を屈折させる［ 3 ］を通った光を受け取った網膜での刺激のパターンが，中枢神経系での複雑な処理を経ることにより，ヒトは外界の物体の形や色を正確に認識することができる．網膜に並んだ視細胞には，2 種類の細胞があり，視物質を含む外節部と呼ばれる部分の形状の違いから，錐体細胞と桿体細胞に区別される(1)．ヒトの網膜上では，それぞれの視細胞が均一に分布しているのではない．視野の中央部に相当する［ 4 ］では錐体細胞の密度が非常に高く，視野の中心ほど細かな形を識別でき，色の違いを見分けることができる．またヒトの眼は，外界の明暗が変化すると，明順応や暗順応といった反応をすることで，明暗の変化に対応している(2)．光を受容した視細胞からの情報は，視神経を通して［ 5 ］脳の視覚の中枢へ伝えられて，視覚が生じる．視神経の繊維は束になって，網膜を内側から外側に向かって貫いている．この部分は［ 6 ］といい，視細胞が分布していないため，ここでは光を受容できない．

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，正しいものを以下の (ア)〜(オ) から全て選び，その記号を記せ．

(ア) 錐体細胞は色の識別に関わり，外節部は短い円錐状である．

(イ) ヒトの錐体細胞は 4 種類あり，それぞれの錐体細胞は特定の範囲の波長に最も反応する．

(ウ) 桿体細胞の外節部は短い円錐状で，フォトプシンという視物質をもつ．

(エ) 桿体細胞は錐体細胞に比べると非常に弱い光も吸収して反応できる．

(オ) 桿体細胞の吸収する光の波長は錐体細胞に比べると幅広く，色の認識には使われない．

問 3　下線部 (2) について，暗順応のしくみを，「ロドプシン」という語句を用いて簡潔に述べよ．

B 一般的にホルモンは，［ 7 ］とよばれる器官や組織の細胞でつくられ，血液中に分泌される．分泌され(3)

たホルモンは，血液循環によって全身をめぐり，特定の組織や器官に作用する．

血糖濃度の調整においてホルモンは重要な役割をはたしている．ヒトでは血糖濃度は，すい臓のランゲルハンス島にある内分泌細胞や，［ 8 ］脳の視床下部にある神経細胞によって常に監視されている．血糖濃度が低下すると，すい臓のランゲルハンス島の A 細胞が応答し，［ 9 ］の分泌量が増加する．血糖濃度が標準値の下限を下回ると，視床下部は交感神経を通して副腎髄質を刺激し，［ 10 ］を分泌させる．また，視床下部は脳下垂体前葉を刺激して副腎皮質刺激ホルモンの分泌を促し，副腎皮質から［ 11 ］を分泌させる．血糖濃度が上昇すると，すい臓のランゲルハンス島の B 細胞が感知し，［ 12 ］の分泌量を増加させる．［ 12 ］が不足するなどして血糖濃度を下げるしくみがはたらかないと，通常より血糖濃度が高く維持される．慢性的に高血糖となる代謝異常を糖尿病といい，Ⅰ型とⅡ型の 2 つのタイプに分けられる．(4)

問 4　文中の［ 7 ］～［ 12 ］に当てはまる適切な語句を記せ．

問 5　下線部 (3) について，(A) チロキシン，(B) バソプレシン，(C) パラトルモン，を分泌する器官の名称をそれぞれ記せ．

問 6　下線部 (4) について，Ⅰ型糖尿病の原因である細胞の変化を述べよ．

2 次の A，B の文を読み，問 1～問 10 に答えよ．

A　顕微鏡は，肉眼で見るには小さい物体などを観察するときに使われる実験器具であり，生物の研究には欠かせない．一般的に広く用いられている顕微鏡は光学顕微鏡である．光学顕微鏡では接眼レンズと対物レンズの 2 種類のレンズが使われる．接眼レンズはレンズを差しかえることによって倍率を変更し，対物レンズは［ 1 ］をまわしてレンズを切りかえることで倍率を変更する．観察を始めるときは，通常，対物レンズは［ 2 ］にし，試料を含む［ 3 ］を［ 4 ］にセットする．次に顕微鏡を横から見て［ 5 ］をまわしながら［ 4 ］を上げ，対物レンズの先端が接触しないように［ 3 ］の表面を対物レンズに近づける．そして，接眼レンズをのぞき［ 3 ］を対物レンズから遠ざけながらピントを合わせる．なお，顕微鏡によっては［ 4 ］が固定されていて［ 6 ］が上下に動くものもある．

光源としぼり，および試料が同一であるとき，4 倍の対物レンズのほうが 40 倍の対物レンズよりも視野の明るさは［ 7 ］，視野の範囲は［ 8 ］，焦点深度は［ 9 ］．

通常，可視光線を利用する光学顕微鏡の分解能は，およそ［ 10 ］である．一方，電子線を使用する電子顕微鏡の分解能はおよそ［ 11 ］である．そのため，電子顕微鏡を用いることにより，光学顕微鏡では存在を確認できない小さな試料を観察することができる．(1)

光学顕微鏡で試料の大きさを測定するには，ミクロメーターを用いる．接眼ミクロメーターの入った(2)

接眼レンズを使い，1 目盛りが 10 μm の対物ミクロメーターをステージにのせ，接眼レンズを通して見た像を図 1 に示す．この倍率でオオカナダモの葉の細胞を観察したところ，その長径は接眼ミクロメーターの目盛りにして 9 目盛りであった(3)．また，顆粒 X が細胞内を接眼ミクロメーターの目盛りを直角に横切って一方向に，一定の速度で移動する様子が確認された(4)．このとき，接眼ミクロメーターの 5 目盛り分を移動する時間は 8 秒であった．

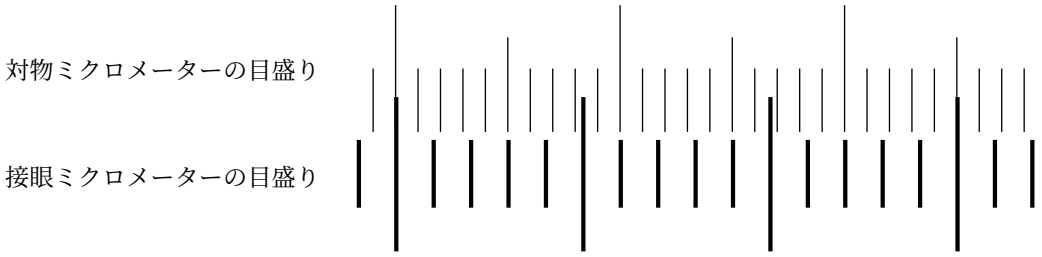


図 1

問 1　文中の［　1　］～［　11　］に当てはまる適切な語句を以下から選び記せ．

ステージ，プレパラート，反射鏡，高倍率，鏡台，鏡筒，低倍率，調節ねじ，しぼり，レボルバー，明るく，暗く，狭く，広く，深い，浅い，長い，短い，20 μm，2 μm，200 nm，20 nm，2 nm，0.2 nm，0.02 nm

問 2　下線部 (1) について，分解能から考えて電子顕微鏡でなければ存在を確認できないものを以下からすべて選び記せ．

(ア) スギの花粉　　(イ) ヒトの赤血球　　(ウ) インフルエンザウイルス

(エ) 大腸菌　　(オ) ATP 合成酵素　　(カ) ムラサキツユクサの気孔

問 3　下線部 (2) について，接眼ミクロメーターの 1 目盛りの示す長さ (μm) を，小数第二位を四捨五入して記せ．

問 4　下線部 (3) について，この長径 (μm) を小数第一位を四捨五入して記せ．

問 5　下線部 (4) について，顆粒 X の移動速度 (μm/秒) を小数第二位を四捨五入して記せ．

B　次の文は，高校生の奈摘と良平が生物の探究学習の課題について，先生と相談している様子である．

良　平「祖母が栽培しているカキの実が大きくならずに困っているそうです．地球温暖化のせいじゃない

か，といっているのですが，本当かどうか，探究学習の課題として調べたいと考えています.」

奈　摘「私の親戚も同じ品種のカキを栽培していますが，標高が高く涼しい地域のためか，そのような問題は起きていないわ.」

良　平「そこで気象庁のホームページで去年の 8 月の気温を調べたら，同じ N 市でも祖母のいる N 町と奈摘さんの親戚がいる H 町とでは，最高気温は最大で 4.6 ℃，最低気温は最大で 5.4 ℃も違っていました.」

先　生「なるほど．では，どのようにして探究学習を進めますか？」

良　平「探究学習では，疑問を持った課題について［ 12 ］を設定し，それが正しいかどうかを確かめるための実験を行い，結果を得て考察し検証を行う，という手順で進めればよいと習いました.」

奈　摘「カキの実の大きさと地球温暖化の関係について，どんな実験をすれば確かめられるのかしら.」

先　生「この前授業で取り上げた，光合成速度と温度との関係を思い出してごらん.」

奈　摘「はい，この前の授業では，表 1 の資料をいただきました.」

良　平「光の強さと二酸化炭素の吸収，排出量の関係を示す光合成曲線を模式的に描いた図 2 も配られました.」

先　生「これらの図表から，何を読み取ることができるかな？」

奈　摘「はい．表 1 からは，光合成速度の値は，［ A ］℃のときが一番高く，それより温度が高くても低くても，より小さな値を示しています．一方，呼吸速度は［ ア ］.」

良　平「例えば 30 ℃のときは，10 ℃のときに比べて光合成速度は 2 倍ですが，見かけの光合成速度は，［ B ］倍になっています.」

先　生「次に光合成産物について考えてみよう．葉中に蓄積される光合成産物がすべてグルコースであるとしたとき，表 1 によると，20 ℃で 12 時間の光合成によって蓄積されるグルコースの量は？」

奈　摘「はい，葉面積 100 cm^2 あたり［ C ］mg になります.」

先　生「その後も 20 ℃で，夜に相当する暗黒条件下に 12 時間おくと，1 日あたりのグルコースの蓄積量はどうなるかな？」

良　平「はい，葉面積 100 cm^2 あたり［ D ］mg になります.」

奈　摘「光合成産物の内の何 % が果実に運ばれていくのでしょうか？」

先　生「光合成の結果つくられた有機物は，通常は，一時的に［ 13 ］内に［ 14 ］として貯蔵される．その後［ 15 ］などに分解されて，維管束中の［ 16 ］を通って各組織や果実などの貯蔵器官に運ばれる．これを転流と呼ぶんだが，転流される有機物の量や割合を正確に知ることは，実は非常に難しい問題なんだよ.」

良　平「先生，ぼく気がつきました．［ イ ］．その結果，葉に蓄積される有機物量は 0 かマイナスになります．したがって貯蔵器官へ転流される有機物量もなくなり，果実も成長できなくなるのではないで

しょうか．やはり温暖化が関係しているんだと思います．」

先　生「いい着眼点だね．しかし，前提条件としている昼夜の時間が等しくなるのは，年に 2 回だけだし，1 日の気温も一定ではないよ．夜間の気温は比較的一定だが，昼間の気温より低い．また，昼間の気温は 14 時頃の最高気温をピークに大きく変動する．現実の問題では，考えるべき条件が非常に複雑だが，手がかりはつかめたかな？」

奈　摘「温度が光合成や呼吸の速度を変化させることから，カキの実の成長率と気温の関係を明らかにする実験をすればよいと思います．」

良　平「毎日の気温は，気象庁のデータが使えるとして，光の強さはどのようにして調べればよいのでしょうか？」

先　生「例えば，気象庁のデータの日照時間を，図 2 の②以上の光の強さになる時間だと仮定してみてはどうだろう．」

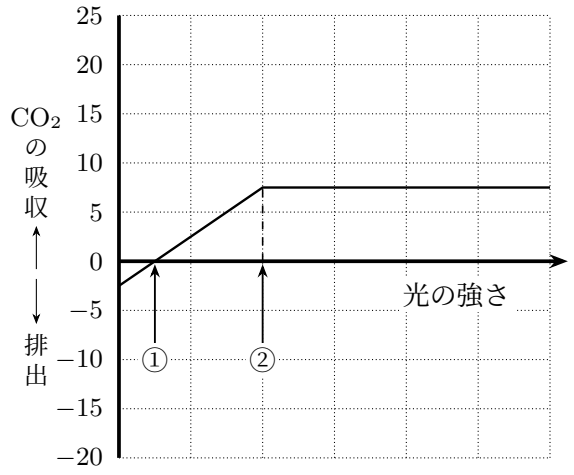
良　平「よーし，さっそく実験計画を立ててみます．」(5)

先　生「実験では，調べたい要因以外の条件を揃えることが必要だよ．調べたい要因以外の条件を揃えた［ 17 ］実験を取り入れることも大切ですね．」

【表 1】　ある植物の葉に十分な量の水と二酸化炭素 (CO_2)，ならびに十分な強さの光を与え，温度を 5 ℃から 40 ℃まで 5 ℃おきに変えたときの各温度における光合成速度と呼吸速度を測定した．結果は，葉面積 100 cm^2・1 時間あたりの CO_2 吸収量または排出量 (mg) で示した．

温　度	光合成速度	呼吸速度
5	7.5	2.0
10	10.0	2.5
15	16.0	3.5
20	20.0	5.0
25	20.5	7.0
30	20.0	10.0
35	18.0	13.0
40	15.0	16.0

【図 2】 温度が 10 ℃のときの，光の強さと葉面積 100 cm^2・1 時間あたりの CO_2 の吸収，排出量 (mg) の関係を模式的に示してある．



問 6 文中の［ 12 ］～［ 17 ］に当てはまる適切な語句を記せ．

問 7 文中の［ ア ］について，奈摘が読み取ったと考えられる内容を 30 字程度で述べよ．また，文中の［ イ ］について，良平が気づいたと考えられる内容を 60 字程度で述べよ．

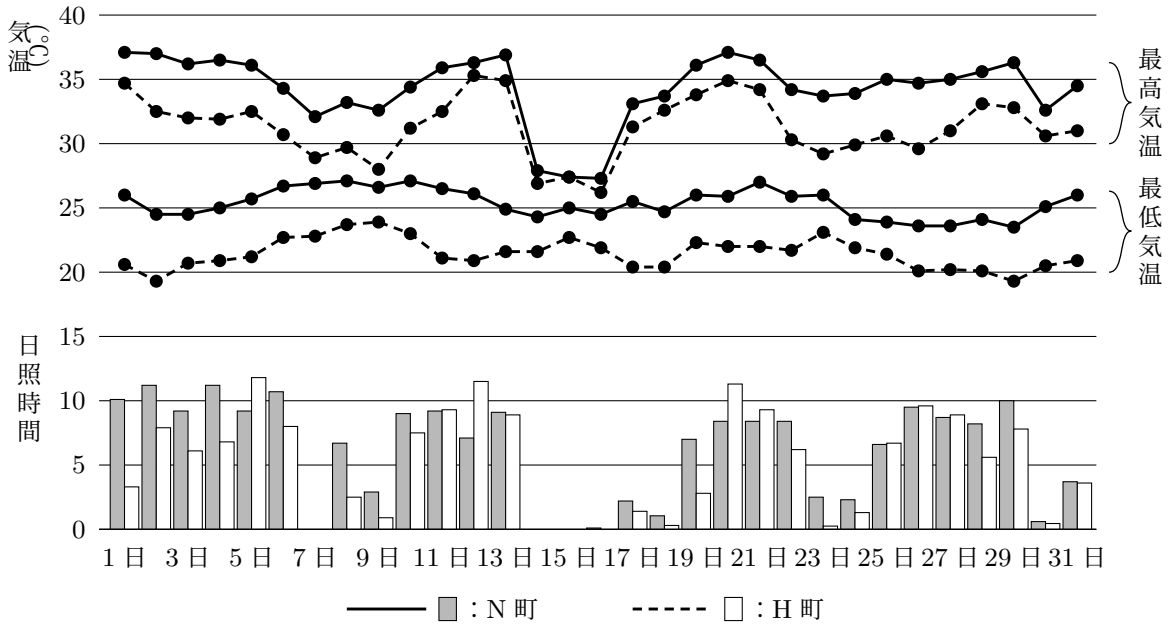
問 8 文中の［ A ］～［ D ］に当てはまる適切な数値を記せ．計算は，小数第 2 位を四捨五入せよ．ただし，原子量は H=1，C=12，O=16 とする．また，光の照射前から葉中に存在していたグルコースは考えず，呼吸には蓄積されたグルコースのみが用いられることとする．

問 9 図 2 について，(A) ①，②の点 (光の強さ) の名称を記せ．また，(B) 温度が 30 ℃のときの，光の強さと二酸化炭素の吸収，排出量の関係を表 1 に基づき，図 2 にならって，模式的に図示せよ．

問 10 下線部 (5) について，奈摘と良平は計画どおり，N 町と H 町とで 8 月に毎日カキの実の大きさ (直径) を測定し，果実の成長率を調べた．検証に必要な考察を行うために N 町と H 町の果実の成長率を比較するのに，もっとも適切な期間を以下の (ア)～(エ) から 1 つ選び，その記号を記せ．また，その理由を 30 字程度で記せ．なお，実験を行った月の気象条件は図 3 を参照せよ．また，3 日間の比較で果実の成長率に有意な差が得られるものとする．

(ア) 2～4 日　　(イ) 14～16 日　　(ウ) 20～22 日　　(エ) 25～27 日

【図 3】 奈摘と良平が実験を行った 8 月の N 市内の N 町と H 町における最高気温，最低気温と日照時間．



3 次の A，B の文を読み，問 1〜問 8 に答えよ．

A 核酸 (DNA，RNA) はヌクレオチドが鎖状につながった生体高分子である．ヌクレオチドの［ 1 ］に含まれる 5 つの炭素には 1′ から 5′ までの番号が付けられており，リン酸は 5′ の炭素に，塩基は［ 2 ］′ の炭素に結合している．核酸は，3′ の炭素に結合しているヒドロキシ基が，5′ の炭素に結合しているリン酸と結合することによって重合していくため，方向性をもつ．細胞内において，DNA は互いに逆向きに配向した 2 本のヌクレオチド鎖が，相補的な塩基間の［ 3 ］結合によって安定した二重らせん構造を形成している．DNA 複製時には，この 2 本鎖 DNA が，［ 4 ］という酵素によってほどかれ，両方の鎖をそれぞれ鋳型として，［ 5 ］という酵素が鋳型鎖に相補的な塩基配列をもつ(1)DNA のヌクレオチド鎖を合成する．一方，DNA の塩基配列を RNA の塩基配列に写す (転写する) 場合は，2 本鎖 DNA の片方の鎖を鋳型として，［ 6 ］という酵素が鋳型鎖に相補的な塩基配列をもつ(2)RNA のヌクレオチド鎖を合成する．

問 1 文中の［ 1 ］〜［ 6 ］に当てはまる適切な語句または数字を記せ．

問 2 下線部 (1) と (2) について，DNA または RNA を合成する酵素が，鋳型となる DNA のヌクレオチド鎖上を進んでいく方向として，正しい組み合わせを，以下の (ア)〜(エ) から選び，その記号を記せ．

(ア) DNA：3′ から 5′　　RNA：3′ から 5′

(イ) DNA：3′ から 5′　　RNA：5′ から 3′

(ウ) DNA：5′ から 3′　　RNA：5′ から 3′

(エ) DNA：5′ から 3′　　RNA：3′ から 5′

問 3　図 1 は DNA の複製開始点付近の様子を模式的に描いている．細い実線はリーディング鎖，点線はラギング鎖を示しており，矢印は DNA のヌクレオチド鎖が合成される方向を示している．通常の複製の過程を示した最も適切な図を，以下の A〜H から選び，その記号を記せ．

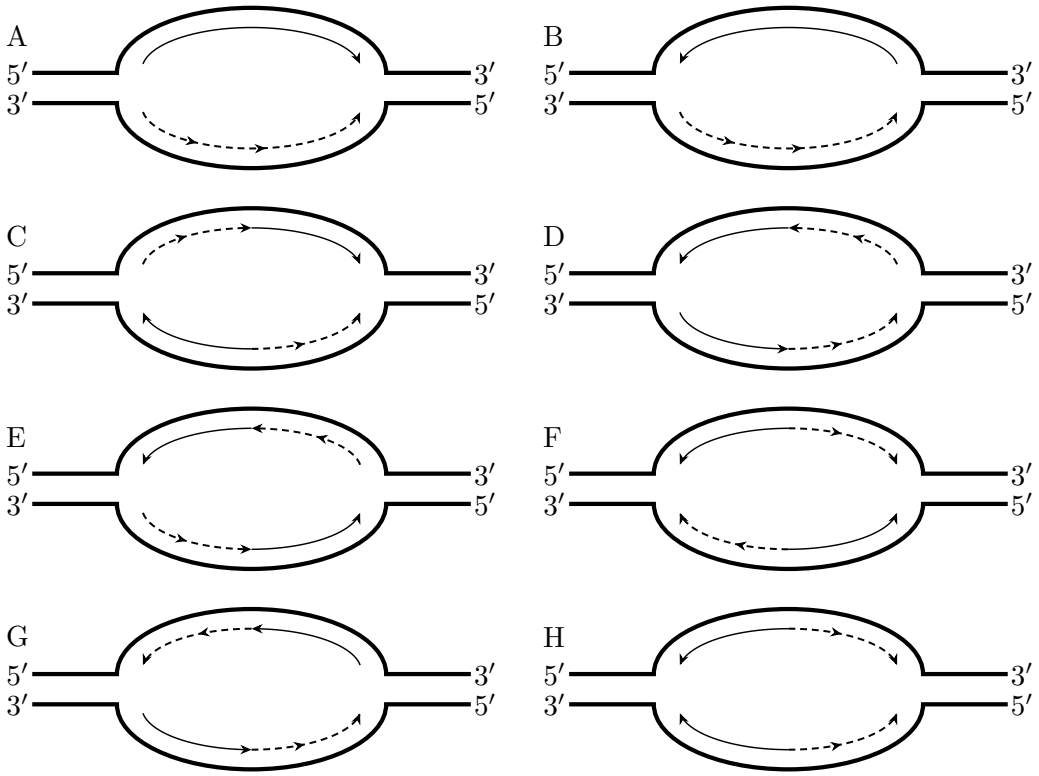


図 1

B　ある生物のゲノム DNA を鋳型に用いて，PCR 法により特定の領域を増幅する(3)実験を計画した．図 2 は，増幅したい領域 (目的領域) 付近のゲノム DNA の模式図であり，(ア)，(イ) はゲノム DNA のそれぞれの鎖を示している．PCR 法は，目的領域をはさんだ 1 組のプライマーを用いて行われる．今回の実験では，5 種類のプライマーを準備した．図中の矢印 1〜5 は示された位置でゲノム DNA に結合する 5 種類のプライマーであり，矢印の向きはプライマーの 5′ から 3′ の方向を示している．プライマー 1〜3 の中から 1 つ，4，5 の中からもう 1 つを選んで組み合わせると，どの組み合わせでも目的領域を含ん

だ DNA が増幅される．また，これら以外の組み合わせでは，DNA の増幅は見られない．

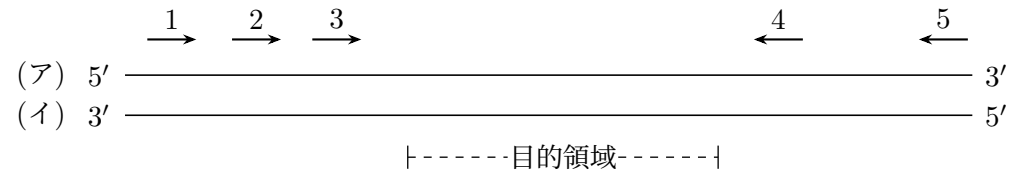


図 2

計画に従って，PCR を実施しようとしたところ，手違いにより，プライマー 3 の容器以外，どのプライマーが入っているのか不明になってしまった．そこで，容器にあらためて A〜E の記号を付け直し (プライマー 3 の容器には A の記号をつけた)，B〜E に入っているプライマーがどれなのかを実験によって調べることにした．

A〜E の容器から 2 つを選び，すべての組み合わせで PCR 反応を行い，各反応液を電気泳動法により調べたところ，DNA のバンドが見える場合と見えない場合があった．バンドが見えたものに関しては，おおよその 2 本鎖 DNA の長さ (bp) を決定した．バンドが見えたプライマー容器の組み合わせと，合成された 2 本鎖 DNA の長さをまとめたものが表 1 である．

	B	C
A	1700 bp	1200 bp
D	□ bp	1500 bp
E	1800 bp	1300 bp

表 1

問 4　下線部 (3) について，PCR 法で起こっている反応をすべて選び，1 サイクル内での反応の順に記号を記せ．

(あ) DNA を切断する．

(い) プライマーを合成する．

(う) プライマーを鋳型鎖 DNA に結合させる.

(え) 2 本鎖 DNA どうしを結合させる.

(お) DNA のヌクレオチド鎖を合成する.

(か) 2 本鎖 DNA を 1 本鎖に分ける.

(き) プライマーを取り除く.

問 5 プライマー 1〜5 の中で，図 2 の (ア) の DNA 鎖に結合するものをすべて選び，その番号を記せ.

問 6 プライマー 1 の塩基配列は，5′-TAAACTTCAGGG-3′ である．このプライマー配列と相補的な鋳型鎖 DNA の塩基配列を 5′ → 3′ の方向で記せ.

問 7 表 1 のデータから考えて，B〜E の容器に入っていると考えられるプライマーの番号をそれぞれ記せ.

問 8 表 1 の［　　］に当てはまる数値を記せ.

4 次の A，B の文を読み，問 1〜問 7 に答えよ.

A 分化した細胞では，細胞の種類に応じて発現する遺伝子が異なっており，特定の遺伝子の発現は細胞分化の目印となる．例えば，カエル後期原腸胚において，P 遺伝子は，将来，図 1 の斜線部となる予定［ 1 ］域に，Q 遺伝子は，点線部となる予定［ 2 ］域に特異的に発現する．その後，P 遺伝子と Q 遺伝子は，それぞれの胚の領域から発生する細胞 (器官) で発現し続け，分化した細胞の目印となる.

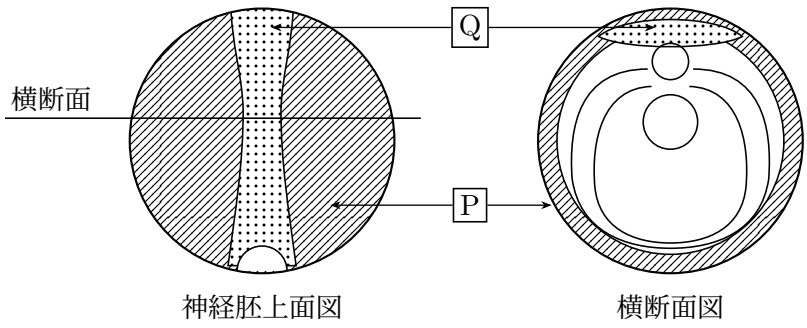


図 1

発生の過程で，このような細胞分化や遺伝子発現は，どのようなしくみで生じているのだろうか．これらに関する研究は，イモリを用いた移植実験にまでさかのぼることができる．1924 年，ドイツの生物学者シュペーマンとマンゴルドは，イモリ原腸胚の原口背唇部を別の原腸胚の［ 3 ］側赤道部に移植実

験を行った．その結果，本来，P 遺伝子が発現する組織や器官になる移植片周辺部に，新たに Q 遺伝子が発現する組織や器官が形成され，本来の胚とは別に，ほとんど完全な構造を持つ二次胚が生じた．二次胚がどの細胞に由来するのか調べたところ，脊索や［ 4 ］などの中胚葉性器官は移植片に，Q 遺伝子が発現する組織や器官と内胚葉の腸管などは，主に宿主に由来していた．これは，移植片が宿主の組織に影響を及ぼし，分化の方向性を決定する現象であり，シュペーマンらは［ 5 ］と呼んだ．そして，このような作用をもつ領域を［ 6 ］と命名した．同様の実験結果は，カエルを用いた移植実験でも確認されている．(1)

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) に関して，カエルの形態形成について正しいものを，以下の (ア)～(オ) からすべて選び，その記号を記せ．

(ア) 受精時の精子進入点の情報をもとに，3 つの体軸が決められる．

(イ) 背側に消化管が作られる．

(ウ) 原口背唇部の細胞は，胚の内部へ巻き込まれる．

(エ) 予定外胚葉の発生運命は，原腸胚初期に決定される．

(オ) 原口が将来の口になる．

B　原口背唇部がもつ機能を担うシグナル分子は，長い間未解決のままであったが，1990 年代には，その分子実体がカエルを用いた研究から次々と明らかになった．二次胚の形成に関わる遺伝子を探索したところ，X 遺伝子と Y 遺伝子が同定された．その発現パターンを調べたところ，X 遺伝子がコードする X タンパク質は，胞胚期には胚全域に分布し，やがて P 遺伝子が発現する組織や器官で発現していた．一方，Y 遺伝子がコードする Y タンパク質は，原口背唇部に，その後，脊索で発現した．この Y 遺伝子を，8 細胞期胚の特定の割球に発現させると二次胚を形成した(2)．さらに，X タンパク質と Y タンパク質は，ともに分泌タンパク質で，相互に結合でき，Y タンパク質は X タンパク質を介して機能していることが明らかとなった．X 遺伝子と Y 遺伝子の機能を明らかにするために，胞胚期の動物極側の細胞 (アニマルキャップ) を用いた以下の実験が行われている．ただし，いずれも胞胚期のアニマルキャップを用い，後期原腸胚に相当する時期まで培養し，P 遺伝子と Q 遺伝子の発現を解析している．

実験 1

アニマルキャップを切り出し，そのまま培養すると，P 遺伝子のみが発現した．一方，アニマルキャップの細胞をバラバラに解離，洗浄し，シグナル分子の影響を除いた後，タンパク質を含まない基本培地中で数時間培養した．その後，再集合させ培養すると，P 遺伝子は発現せず，Q 遺伝子を発現するようになった．

実験 2

実験 1 で，解離し洗浄したアニマルキャップの細胞を，X タンパク質を加えた基本培地を用いて数時間培養すると，P 遺伝子のみを発現するようになった．

実験 3

8 細胞期胚の動物極側の 4 つの割球で，Y 遺伝子を発現させた胚から，胞胚期にアニマルキャップを切り出し，そのまま培養すると，Q 遺伝子のみが発現した．

問 3 実験 1 から，アニマルキャップの発生運命について考えられることを述べよ．

問 4 実験 2 から，原腸胚の細胞分化における X 遺伝子のはたらきについて考えられることを述べよ．

問 5 実験 3 から，原腸胚の細胞分化における Y 遺伝子のはたらきについて考えられることを述べよ．

問 6 下線部 (2) について，Y 遺伝子を発現させるべき 8 細胞期胚の割球として，最も適切なものを以下の (ア)〜(エ) から一つ選び，その記号を記せ．

(ア) 背側動物極割球　　(イ) 背側植物極割球

(ウ) 腹側動物極割球　　(エ) 腹側植物極割球

問 7 カエルの X タンパク質と Y タンパク質を以下の (ア)〜(ク) から選びその記号を記せ．

(ア) カテニン　(イ) コーディン　(ウ) ビコイド

(エ) ディシェベルド　(オ) BMP　(カ) FGF

(キ) ナノス　(ク) Shh

5 次の A，B の文を読み，問 1〜問 10 に答えよ．

A 植物の葉には，気孔と呼ばれる 2 個の孔辺細胞に挟まれた小さなすき間がある．植物は光合成を行うとき，気孔を通して二酸化炭素を大気から取り入れ，酸素を大気中に放出する．一方で，気孔が開いていると蒸散が起こり，水分が失われる．気孔の開きぐあいは光合成速度や蒸散速度に大きく影響するため，その開閉は環境に応じて調節されている．気孔の開閉は孔辺細胞の膨圧の変化によって起こる．葉に光があたると［ 1 ］色光受容体である［ 2 ］によって感知され，孔辺細胞の細胞膜ではいくつかの過程を経て，カリウムチャネルが開く．続いて，細胞内で一連の変化が起き(1)，孔辺細胞が湾曲して変形する(2)ことによって気孔が開き，光合成に必要な二酸化炭素が取り込まれる．一方，乾燥状態になると，植物ホルモンである［ 3 ］を介した調節が行われ，気孔が閉じて蒸散が抑えられる．

環境は気孔の開閉だけではなく，葉に形成される気孔の密度にも影響を与える．例えば，光や二酸化炭素濃度(3)も気孔の密度に影響を与える．

問 1　文中の［　1　］～［　3　］に当てはまる適切な語句を記せ.

問 2　下線部 (1) について，孔辺細胞における一連の変化を，「浸透圧」，「膨圧」，「水」という語句を用いて簡潔に述べよ.

問 3　下線部 (2) について，このような変形に関わる孔辺細胞の構造的な特徴を簡潔に述べよ.

問 4　下線部 (3) について，二酸化炭素濃度が高いときの密度の変化について，考えられる理由とともに簡潔に述べよ.

B　葉の表皮組織にある孔辺細胞は，未分化な細胞 (原表皮細胞) から段階的に形成される．孔辺細胞へと分化しなかった細胞は表皮細胞になる．まず，原表皮細胞の一部の細胞が孔辺細胞への分化を開始し，この細胞は大きさの異なる 2 つの細胞に分かれる非対称な細胞分裂を行う (図 1 ア)．2 つの細胞のうち，小さい細胞がメリステモイド細胞となる．メリステモイド細胞はさらに数回，非対称な細胞分裂を行い，その後，孔辺母細胞に分化する (図 1 イ)．孔辺母細胞は一度だけ細胞分裂し，大きさの等しい 2 つの孔辺細胞となる (図 1 ウ)．このように，気孔の形成の際には細胞分裂や細胞分化が制御されており，気孔が葉の一面に適切な密度で，均等に散在するパターンが見られるようになる (図 2).

モデル植物であるシロイヌナズナの変異体(4)を用いた解析などから，気孔の形成に関わる遺伝子が明らかとなっており，転写調節因子をコードする S 遺伝子や M 遺伝子も気孔形成に関わる．S(5)遺伝子を発現しない変異体の表皮組織では大きな表皮細胞のみが観察される．M(6)遺伝子を発現しない変異体ではメリステモイド細胞が非対称な分裂を何度も繰り返すが，孔辺母細胞は見られない．分泌性のペプチドや膜タンパク質が気孔の形成に関与することや，表皮組織だけではなく，光合成が行われる内部組織が気孔の形成に関わることもわかってきている.

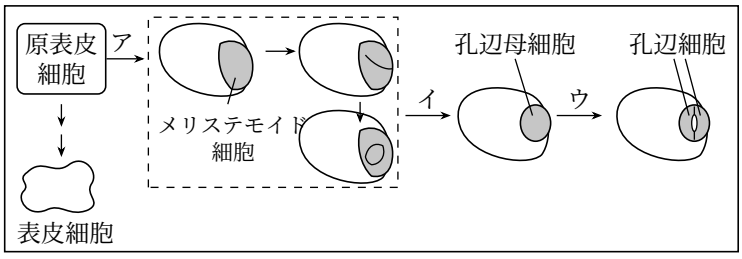


図 1

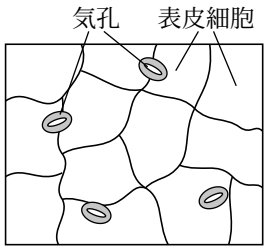


図 2

以上のことに関連して，主にメリステモイド細胞から分泌されるペプチド 1 と，内部組織から分泌されるペプチド 2，膜タンパク質 E を用いて次の実験 1～5 を行った.

（実験 1）　ペプチド 1 を発現しない変異体を作製したところ，気孔が過剰に形成され，ペプチド 1 を若い個体の表皮組織全体に散布すると，ほぼすべての細胞が表皮細胞となった．このとき，S 遺伝子の発現量を測定すると，正常な表皮組織の場合とは異なっていた．

（実験 2）　膜タンパク質 E を発現しない変異体を作製したところ，気孔が過剰に形成された．この変異体の若い個体の表皮組織全体にペプチド 1 を散布すると，気孔は同様に過剰に形成された．

（実験 3）　ペプチド 2 を発現しない変異体を作製したところ，気孔の数が減り，過剰量のペプチド 2 を若い個体の表皮組織全体に散布すると，気孔が過剰に形成された．続いて，ペプチド 2 と膜タンパク質 E の両方を発現しない二重変異体を作製したところ，気孔が過剰に形成された．

（実験 4）　膜タンパク質 E との結合実験を行ったところ，ペプチド 1 も 2 も膜タンパク質 E と結合した．次に，一定量のペプチド 1 に，濃度を変えてペプチド 2 を混合し，膜タンパク質 E との結合実験を行ったところ，ペプチド 2 の濃度が高くなると，膜タンパク質 E と結合するペプチド 1 の分子数が減少した．同様のペプチドの混合液を，若い個体の表皮組織全体に散布したところ，ペプチド 2 の濃度が高くなると気孔が過剰に形成された．

（実験 5）　葉に光を照射し，ペプチド 2 の mRNA の発現量を測定したところ，照射しなかったものより発現量は高かった．

問 5　下線部 (4) に関連して，一般的に，人為的に DNA に変異を引き起こす方法を 2 つ記せ．

問 6　下線部 (5) について，S 遺伝子が関わると考えられる孔辺細胞形成のステップを，図 1 のア〜ウから 1 つ選び，記せ．

問 7　下線部 (6) について，M 遺伝子のはたらきとして考えられることを，「分裂」，「分化」という語句を用いて簡潔に述べよ．

問 8　実験 1 より考えられるペプチド 1 の気孔形成におけるはたらきについて，「メリステモイド細胞」，「S 遺伝子」という語句を用いて，述べよ．

問 9　実験 2〜4 より考えられるペプチド 1，2，及び膜タンパク質 E のはたらきや関係性について，正しいものを以下の (あ)〜(こ) よりすべて選び，記せ．

(あ) 膜タンパク質 E がペプチド 1 と結合しなかった表皮組織の細胞は表皮細胞へと分化する．

(い) 膜タンパク質 E がペプチド 1 と結合しなかった表皮組織の細胞は孔辺細胞へと分化する．

(う) ペプチド 2 は表皮細胞の形成を促進する．

(え) ペプチド 2 は気孔の形成を促進する．

(お) ペプチド 2 は気孔の形成を抑制する．

(か) ペプチド 2 は，ペプチド 1 と膜タンパク質 E の結合を促進する．

(き) ペプチド 2 は，ペプチド 1 と膜タンパク質 E の結合を抑制する．

(く) ペプチド 2 は，ペプチド 1 と膜タンパク質 E の結合に影響を及ぼさない．

(け) ペプチド 2 の気孔形成へのはたらきには，膜タンパク質 E が必要である．

(こ) ペプチド 2 の気孔形成へのはたらきは，膜タンパク質 E とは独立である．

問 10 実験 5 より考えられる，光量と気孔密度との関係性について簡潔に述べよ．

6 次の A，B の会話文を読み，問 1〜問 10 に答えよ．

A

生　徒：先生，必要な酵素とイオン濃度を調整して，グルコースを加えれば，(1)解糖系を試験管の中で再現してピルビン酸を継続的に合成することができますか？

先　生：残念ながら，それだけでは，足りないですね．

生　徒：あ，そうか．(2)始めに消費される ATP も少し必要ですね．

先　生：はい，そうですね．でも，それだけではまだ，足りないですね．解糖系ではピルビン酸以外に何ができますか？

生　徒：あ，そうか．(3)NADH ができるので，NAD^+ が必要ですね．それと，ATP ができるので，ADP も必要ですね．

先　生：はい，ピルビン酸や NADH，ATP が反応を阻害しなければ原理的にはできそうですね．ところで，通常の細胞では NAD^+ はどうやって供給されますか？

生　徒：NAD^+ は，呼吸によって NADH から再合成されます．

先　生：(4)激しい運動中の筋肉では，呼吸以外でも NAD^+ が再合成されますよ．

生　徒：へー，筋肉では呼吸以外にも ATP を合成し続ける機構があるのですね．

先　生：はい．ただし，それだけではまだ，ATP が不足することが多いので，(5)筋肉には，迅速に ATP を合成することができるしくみが，もう一つ別にあるんですよ．

生　徒：うーん，生物って複雑ですね．

問 1　下線部 (1) について，(A) ピルビン酸由来の炭素数 2 個の化合物をクエン酸回路に引き渡すために，この炭素数 2 個の化合物が補酵素と結合した物質の名称，(B) この炭素数 2 個の化合物と結合しクエン酸になる物質の名称，を記せ．

問 2　下線部 (2) について，加える ATP の量が少なくても良い理由を述べよ．

問 3　下線部 (3) について，NAD^+ が NADH になるときの変化を，「H^+」，「e^-」，「高エネルギー」という語句を用いて，説明せよ．

問 4　下線部 (4) について，(A) このしくみの名称と，(B)NAD^+ の再合成の過程で結果として生じる物質の名称を記せ．

問 5　下線部 (5) について，この合成経路で使われる，筋肉に蓄えられている高エネルギーリン酸結合をもつ物質の名称を記せ．

B

生　徒：先生，電子伝達系の複合体と ATP 合成酵素が用意できれば，酸化的リン酸化による継続的な ATP 合成を試験管の中で再現できますか？

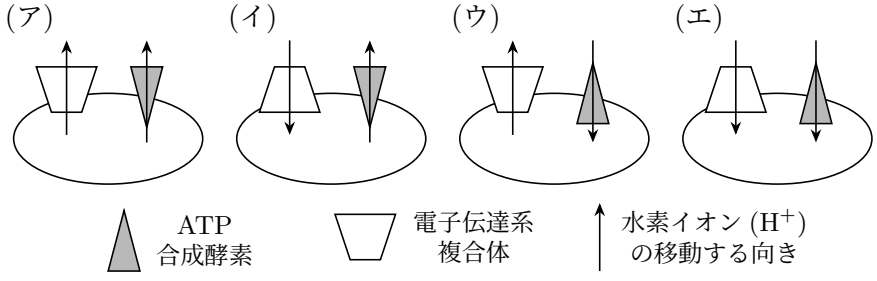
先　生：うーん，電子伝達系複合体と ATP 合成酵素がはたらいている場所を考えると，原理的に難しいですね．

生　徒：あ，ミトコンドリアの内膜と同じ袋状の膜が必要ですね．

先　生：はい．その上でまず，袋状の膜に電子伝達系複合体と ATP 合成酵素を埋めこまなければなりません．

生　徒：あ，そのとき，電子伝達系複合体と ATP 合成酵素の向きも大事ですね．

先　生：はい．その向きを考えてもらうために作った模式図があります．この模式図は，電子伝達系複合体や ATP 合成酵素が埋めこまれている膜を楕円，電子伝達系複合体を台形，ATP 合成酵素を三角で模式的に示したものです．矢印は，ATP が合成される過程で，水素イオン (H^+) の移動する向きを示しています．この模式図の中で，ミトコンドリア内膜の模式図がどれかわかりますか (6)．



模式図

生　徒：はい．クリステのひだが省略されていて驚きましたが，水素イオンの移動する向きをみると

わかります．この中にはチラコイド膜の模式図もあるように思います．(7)

先　生：チラコイド膜によく気がつきましたね．さて，再現実験に話を戻すと，ミトコンドリア内膜と同じ向きに電子伝達系複合体と ATP 合成酵素を埋めこんだ場合，NADH や $FADH_2$，(8) ADP を袋状の膜の外側から内側に輸送する必要があります．

生　徒：うーん，確かに，実現不可能な気がしてきました．

先　生：ところで，同じように膜を使った機構として，活動電位もありますよ．

生　徒：ナトリウムポンプ(9)が電子伝達系複合体に対応しているのですか？

先　生：実は少し違って，電子伝達系複合体は水素イオン (H^+) のみを輸送するので，それ自体が，大きな膜電位を生み出すのです．

生　徒：ミトコンドリア内膜のマトリックス側が負になる膜電位が発生するんですね．

先　生：はい．高校の教科書には書いていませんが，ミトコンドリア内膜には水素イオン (H^+) が通れる場所は基本的には ATP 合成酵素しかない(10)ので，この内膜の膜電位が ATP 合成に大きく寄与しています．

生　徒：うーん，生物って複雑ですね．

問 6　下線部 (6) について，ミトコンドリア内膜の模式図と思われるものを一つ選び，その記号を記せ．

問 7　下線部 (7) について，チラコイド膜の模式図と思われるものを一つ選び，その記号を記せ．

問 8　下線部 (8) について，細胞では基本的には $FADH_2$ の膜を横切る輸送は必要ない．その理由を述べよ．

問 9　下線部 (9) について，ナトリウムポンプが輸送する 2 種類のイオンについて，その名称と輸送される向き (細胞内から細胞外，または，細胞外から細胞内) を述べよ．

問 10　下線部 (10) について，この膜電位が ATP の合成に果たす役割について考えられることを述べよ．